



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**AUTOMATIZACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN DE
TERMOFORMADO PARA LA FABRICACIÓN DE VALVAS DE
FÉRULAS ANTEBRAQUIALES**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTORES:

DENNYS RICARDO POVEDA ORTEGA

LUIS DAVID SOLORZANO MARTINEZ

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**AUTOMATIZACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN DE
TERMOFORMADO PARA LA FABRICACIÓN DE VALVAS DE
FÉRULAS ANTEBRAQUIALES**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTORES: DENNYS RICARDO POVEDA ORTEGA

LUIS DAVID SOLORZANO MARTINEZ

DIRECTOR: ING. EDUARDO FRANCISCO GARCÍA CABEZAS

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, **Dennys Ricardo Poveda Ortega & Luis David Solórzano Martínez**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Dennys Ricardo Poveda Ortega y Luis David Solórzano Martínez declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes que están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 21 de junio 2024



Dennys Ricardo Poveda Ortega

230042275-1



Luis David Solórzano Martínez

172363450-5

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Propuesta Tecnológica, **AUTOMATIZACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN DE TERMOFORMADO PARA LA FABRICACIÓN DE VALVAS DE FÉRULAS ANTEBRAQUIALES**, realizado por el señor: **DENNYS RICARDO POVEDA ORTEGA** y el señor **LUIS DAVID SOLORZANO MARTINEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Jaime Iván Acosta Velarde
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



2024-06-21

Ing. Eduardo Francisco García Cabezas
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2024-06-21

Ing. Carlos José Santillán Mariño
ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2024-06-21

DEDICATORIA

A mi familia, quienes me brindaron su apoyo y cariño en todo momento, en especial a mi madre, abuela y figura paterna, este éxito académico es resultado del arduo esfuerzo y sacrificios que han invertido para brindarme una buena educación. A mis amigos que me acompañaron en este largo camino, con los que compartí momentos inolvidables de los cuales quedaron las mejores anécdotas y experiencias de mi vida, sobre todo con Braulio, Diana y Adriana.

Dennys

A Dios, familia y amigos que me acompañaron en este trayecto. Esencialmente a mis padres y hermano, este trabajo es tributo a la colaboración, paciencia, esfuerzo y comprensión que me han brindado a lo largo de mi formación profesional.

Luis

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestras familias y amigos por habernos apoyado incondicionalmente a lo largo de este trayecto, por brindarnos la mano en todo momento sin dudarlos. Agradecemos a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, especialmente a la Escuela de Ingeniería Industrial, por habernos recibido y formado como profesionales, así como a todos los docentes que compartieron sus conocimientos con nosotros, en particular, a los ingenieros Eduardo García y Carlos Santillán, quienes pudieron guiarnos en el desarrollo de este proyecto de titulación.

Dennys y Luis

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xviii
RESUMEN	xix
SUMMARY / ABSTRACT	xx
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	2
1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
CAPÍTULO II	6
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. El termoformado	6
2.1.1. Introducción del termoformado.....	6
2.1.2. Historia.....	6
2.2. Materia prima para el termoformado	7
2.2.1. Polímeros	7
2.2.2. Termoplásticos	7
2.2.3. Termofijos	8
2.2.4. Elastómeros	8
2.3. Polímeros adecuados para el termoformado	8
2.4. Equipo para termoformado	10
2.4.1. Calefacción.....	10

2.4.1.1.	Clasificación de la transferencia de calor	10
2.4.1.2.	Medios de transmisión de calor	11
2.4.1.3.	Elementos de transmisión de calor	12
2.4.2.	Estación de conformado	13
2.4.2.1.	Métodos de conformado	13
2.4.2.1.1.	Termoformado al vacío	13
2.4.2.1.2.	Termoformado de presión	14
2.4.2.1.3.	Termoformado Mecánico	14
2.5.	Variables del termoformado.....	15
2.6.	Aplicaciones del termoformado	16
2.7.	Automatización en la industria.....	16
2.7.1.	Tipos de automatización	17
2.7.2.	Sistemas de control automático.....	17
2.7.2.1.	Definición	17
2.7.2.2.	Tipos de sistema de control	18
2.7.2.2.1.	Considerando la influencia del estado de la salida en la acción de control	18
2.7.2.2.2.	Según las tecnologías en operación	19
2.7.2.2.3.	Procesamiento de datos	19
2.7.3.	Elementos de un sistema de control	20
2.8.	Férula Antebraquial.....	28
2.8.1.	Ortopedia Moderna	28
2.8.2.	Férula Antebraquial Pediátrica.....	29
CAPÍTULO III.....		31
3.	MARCO METODOLÓGICO	31
3.1.	Tipo de estudio.....	31
3.2.	Tipo de investigación	31
3.2.1.	Investigación Documental.....	31
3.2.2.	Investigación Descriptiva.....	31
3.3.	Metodología	31

3.3.1.	Metodología Deductiva.....	31
3.3.2.	Técnicas de procesamiento de datos	32
3.4.	Diseño de desarrollo e implementación del prototipo.....	32
3.5.	Parámetros de diseño del sistema.....	34
3.5.1.	Requerimientos del prototipo	34
3.5.1.1.	Tipo de termoformado	34
3.5.1.2.	Estructura.....	34
3.5.1.3.	Etapa 1: Materia prima	34
3.5.1.4.	Etapa 2: Termoformado.....	35
3.5.1.5.	Etapa 3: Producto Terminado	35
3.5.1.6.	Módulo de desarrollo.....	35
3.5.1.7.	Interfaz gráfica.....	35
3.5.2.	Método de formado	36
3.5.2.1.	Funcionamiento	36
3.5.3.	Arquitectura del prototipo	37
3.5.4.	Descripción del funcionamiento esperado del prototipo	40
3.6.	Modelado CAD de la estructura del prototipo	41
3.6.1.	Primera fase.....	41
3.6.1.1.	Sistema estructural.....	41
3.6.2.	Segunda fase.....	42
3.6.2.1.	Sistema de transporte.....	42
3.6.2.2.	Caja de almacenamiento.....	43
3.6.2.3.	Sujeción por ventosa neumática	43
3.6.3.	Tercera fase	44
3.6.3.1.	Sistema de sujeción	44
3.6.3.2.	Cámara de vacío	45
3.6.3.3.	Sistema de calentamiento	45
3.6.4.	Fase final de diseño.....	46
3.7.	Diseño del proceso	47

3.7.1.	Análisis de estructura	47
3.7.1.1.	Cálculo de Vigas.....	47
3.7.1.2.	Cálculo de Columnas.....	55
3.7.1.3.	Análisis estático estructural	61
3.7.2.	Materia prima	63
3.7.2.1.	Datos técnicos del polipropileno (PP)	63
3.7.3.	Bodega de almacenamiento.....	65
3.7.4.	Sistema de Transporte	67
3.7.4.1.	Selección del motor	69
3.7.5.	Sistema de alimentación por ventosa	70
3.7.5.1.	Generador de vacío.....	71
3.7.5.2.	Electroválvula.....	72
3.7.6.	Área de sujeción.....	72
3.7.6.1.	Sistema de sujeción	74
3.7.6.2.	Selección del motor	75
3.7.7.	Área de calentamiento.....	76
3.7.7.1.	Método de Calentamiento.....	76
3.7.7.2.	Tiempo de calentamiento.....	78
3.7.7.3.	Calor transferido.....	79
3.7.7.4.	Armazón del módulo de calor	85
3.7.7.5.	Desplazamiento del módulo de calor.....	85
3.7.7.5.1.	Cálculo de ejes.....	86
3.7.7.5.2.	Selección de rodamiento.....	88
3.7.7.6.	Selección de componentes neumáticos.....	89
3.7.7.6.1.	Selección del compresor	89
3.7.7.6.2.	Selección de electroválvulas y actuadores.....	90
3.7.8.	Cámara de vacío.....	100
3.7.8.1.	Elementos de formado al vacío	100
3.7.8.2.	Aspiradora	103

3.7.8.3.	Tiempo de vacío	105
3.7.9.	Sistema de Control	105
3.7.10.	Selección del Hardware.....	105
3.7.10.1.	Módulo de procesamiento	105
3.7.10.2.	Tarjeta interfaz módulo de procesamiento de datos	107
3.7.10.3.	Sensores del prototipo	108
3.7.10.3.1.	Sensores de posición del sistema de transporte	108
3.7.10.3.2.	Controlador de temperatura	109
3.7.10.4.	Módulos de Relé.....	110
3.7.10.5.	Fuente de energía.....	111
3.7.10.6.	Visualización del entorno grafico.....	112
3.8.	Construcción de máquina de termoformado	112
3.8.1.	Construcción de Estructura	112
3.8.2.	Construcción de Bodega de almacenamiento.....	113
3.8.3.	Construcción del sistema de transporte	113
3.8.4.	Construcción del módulo de calentamiento	114
3.8.5.	Construcción del sistema de sujeción.....	115
3.8.6.	Construcción del sistema de vacío	115
3.8.7.	Construcción del sistema de cableado.....	116
3.8.8.	Conexión de los componentes hardware.....	116
3.9.	Conexión del hardware del prototipo	117
3.9.1.	Esquema de conexión del prototipo	117
3.9.1.1.	Conexión de equipos a 110V AC	117
3.9.1.2.	Conexión de Drives y motores.	119
3.9.1.3.	Conexión de Sensores.....	121
3.9.1.4.	Conexión de electroválvulas.....	122
3.9.1.5.	Conexiones de botones y pulsadores.	123
3.9.1.6.	Conexión del módulo de procesamiento con la tarjeta gráfica.....	124
3.10.	Desarrollo de la programación	125

3.10.1.	Interfaz Gráfica	125
3.10.2.	Algoritmo de Etapa 1 - Materia prima	126
3.10.3.	Algoritmo de Etapa 2 - Termoformado.....	127
3.10.4.	Algoritmo de Etapa 3 – Producto terminado.....	128
3.10.5.	Programación en Arduino	129
CAPÍTULO IV.....		130
4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	130
4.1.	Estación de termoformado para la elaboración de valvas de férulas antebraquiales. 130	
4.2.	Parámetros de Funcionamiento	132
4.3.	Estudio de tiempos del proceso.....	135
4.3.1.	Tiempos de transporte y despacho de lámina de polipropileno	135
4.3.1.1.	Transporte de lámina de Polipropileno al área de termoformado.....	136
4.3.1.2.	Despacho de lámina termoformada	137
4.3.2.	Tiempos de sujeción de la lámina de Polipropileno al área de termoformado.....	138
4.3.3.	Tiempo total del proceso.....	139
4.4.	Consumo de energía.....	140
4.5.	Manual de operación y mantenimiento	141
CAPÍTULO V		142
5.	GestiÓN del proyecto	142
5.1.	Cronograma.....	142
5.2.	Costos de propuesta tecnológica	143
5.2.1.	Costos directos	143
5.2.2.	Costos Indirectos.....	143
5.2.3.	Costos totales	144
CONCLUSIONES		145
RECOMENDACIONES		147
BIBLIOGRAFÍA		148

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Polímeros comunes usados para el termoformado y sus temperaturas de formado	9
Tabla 2-2: Dispositivos de transferencia de calor	12
Tabla 2-3: Sensores para determinar posición.	21
Tabla 2-4: Tipos de actuadores eléctricos.	22
Tabla 2-5: Tipos de actuadores lineales	23
Tabla 2-6: Tipos de Raspberry Pi	25
Tabla 2-7: Tallas de férulas antebraquiales.....	30
Tabla 3-1: Selección del método de formado	36
Tabla 3-2: Propiedades del polipropileno	64
Tabla 3-3: Características del Resorte.....	67
Tabla 3-4: Nema 17.....	69
Tabla 3-5: Ventosa de Sujeción	70
Tabla 3-6: Generador de Vacío - Ventosa.....	72
Tabla 3-7: Características del Nema 23 y MicrostepDriver.....	75
Tabla 3-8: Selección del método de calentamiento.....	78
Tabla 3-9: Tiempo de calentamiento.....	78
Tabla 3-10: Factor de carga de acuerdo con la aplicación requerida	92
Tabla 3-11: Diámetro del cilindro.....	93
Tabla 3-12: Diámetro del cilindro.....	95
Tabla 3-13: Selección del método de succión.....	102
Tabla 3-14: Muestras satisfactorias en función de la potencia de aspiradoras.....	104
Tabla 3-15: Raspberry PI 4	106
Tabla 3-16: Arduino MEGA	107
Tabla 3-17: Final de carrera	108
Tabla 3-18: Termocupla tipo K.....	109
Tabla 3-19: Características técnicas de información.....	111
Tabla 3-20: Monitor	112
Tabla 3-21: Pines de conexión del módulo de 4 relés.....	118
Tabla 3-22: Pines de conexión de los drivers con el controlador.....	120
Tabla 3-23: Pines de conexión de los drivers con los motores	121
Tabla 3-24: Pines de conexión de los drivers con los motores	121
Tabla 3-25: Pines de conexión de los sensores.	122
Tabla 3-26: Pines de conexión del módulo de relé.	123
Tabla 3-27: Pines de conexión del módulo de relé.	124

Tabla 4-1: Prueba 1	132
Tabla 4-2: Prueba 2	132
Tabla 4-3: Prueba 3	132
Tabla 4-4: Prueba 4	133
Tabla 4-5: Prueba 5	133
Tabla 4-6: Prueba 6	133
Tabla 4-7: Prueba 7	134
Tabla 4-8: Prueba 8	134
Tabla 4-9: Prueba 9	134
Tabla 4-10: Prueba 10	135
Tabla 4-11: Parámetros de Funcionamiento	135
Tabla 4-12: Posición y distancia de desplazamiento de transporte de lamina	137
Tabla 4-13: Tiempos registrados del transporte	137
Tabla 4-14: Posición y distancia del despacho de lamina	138
Tabla 4-15: Registro de datos de tiempo del despacho	138
Tabla 4-16: Posición y ángulo de desplazamiento de compuertas	139
Tabla 4-17: Tiempos registrados de las compuertas	139
Tabla 4-18: Tiempos registrados de las compuertas	139
Tabla 4-19: Consumo de energía	140
Tabla 5-1: Cronograma de actividades para la realizar del trabajo de titulación.	142
Tabla 5-2: Costos directos de la máquina de termoformado.....	143
Tabla 5-3: Costos indirectos de la máquina de termoformado.....	143
Tabla 5-4: Costo total de la máquina de termoformado	144

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Cuadro informativo sobre los polímeros	7
Ilustración 2-2: Termoformado por vacío (1) Calentamiento de la lámina (2) Colocación de la lámina (3) generación del vacío (4) despegue de la lámina	13
Ilustración 2-3: Termoformado por presión. Secuencia similar a la ilustración 2-2, se diferencia por el proceso: (2) Colocación de la lámina (3) Presión positiva sobre la lámina	14
Ilustración 2-4: Termoformado mecánico: (1) Colocación de la lámina (2) Acción del mecanismo para el termoformado	15
Ilustración 2-5: Diagrama de bloques lazo abierto.....	18
Ilustración 2-6: Diagrama de bloques lazo abierto.....	19
Ilustración 2-7: Componentes básicos de un sistema de control.....	20
Ilustración 2-8: Sensor	20
Ilustración 2-9: Tarjeta Raspberry Pi.....	26
Ilustración 2-10: Tarjeta Orange Pi.....	26
Ilustración 2-11: Modelo de tarjeta Arduino.....	27
Ilustración 2-12: Esquema general de un sistema de control.....	28
Ilustración 2-13: Férula Antebraquial	29
Ilustración 2-14: Dimensiones de modelos	30
Ilustración 3-1: Diseño de implementación del prototipo	33
Ilustración 3-2: Pasos para el proceso de conformado al vacío	37
Ilustración 3-3: Arquitectura del Prototipo	38
Ilustración 3-4: Primera fase de diseño	41
Ilustración 3-5: Sistema de transporte.....	42
Ilustración 3-6: Caja de almacenamiento	43
Ilustración 3-7: Sujeción por Ventosa.....	44
Ilustración 3-8: Sistema de sujeción.	44
Ilustración 3-9: Cámara de vacío	45
Ilustración 3-10: Sistema de calentamiento.	46
Ilustración 3-11: Prediseño de máquina de termoformado.	46
Ilustración 3-12: Diseño de Estructura.....	47
Ilustración 3-13: Vista lateral alámbrica estructural para cálculo de vigas.....	48
Ilustración 3-14: Marco principal ABCD	48
Ilustración 3-15: Momento de extremo fijo.	49
Ilustración 3-16: Equilibrio de momentos en juntas	50
Ilustración 3-17: Diagrama de fuerzas de viga BC	51

Ilustración 3-18: Diagrama de vigas BC - kg.....	52
Ilustración 3-19: Diagrama de momentos en la viga BC - kg cm.....	52
Ilustración 3-20: Sección transversal de tubo cuadrado hueco	54
Ilustración 3-21: Columna CD	55
Ilustración 3-22: Valores k para obtener longitud efectiva	56
Ilustración 3-23: Resultante de desplazamiento estático de la estructura.	62
Ilustración 3-24: Resultante del factor de seguridad del análisis estático.....	62
Ilustración 3-25: Bodega de Almacenamiento	66
Ilustración 3-26: Sistema de Transporte	68
Ilustración 3-27: Efecto Venturi.....	71
Ilustración 3-28: Electroválvula solenoide.....	72
Ilustración 3-29: Bastidor.....	73
Ilustración 3-30: Dimensiones del bastidor.....	73
Ilustración 3-31: Sujeción de los bastidores.....	74
Ilustración 3-32: Acople de placas móviles	74
Ilustración 3-33: Método de Calentamiento.....	77
Ilustración 3-34: Dimensionamiento de la resistencia tubular	81
Ilustración 3-35: Sección de calor ubicado en la máquina.....	85
Ilustración 3-36: Rodamientos del módulo calefactor	86
Ilustración 3-37: Ejes del panel de calefactor	86
Ilustración 3-38: Componentes y dimensiones del compresor Pretul.	90
Ilustración 3-39: Compresor Porten de 3 Litros.....	90
Ilustración 3-40: Cilindro 1 para desplazamiento de módulo de calentamiento	91
Ilustración 3-41: Cilindro 2 y 3 para desplazamiento del sistema de sujeción	91
Ilustración 3-42: Cilindro 4 para desplazamiento de la ventosa	91
Ilustración 3-43: Pandeo de lámina de polipropileno.....	94
Ilustración 3-44: Cilindros utilizados.....	94
Ilustración 3-45: Electroválvulas seleccionadas	95
Ilustración 3-46: Fase 0, condiciones iniciales	96
Ilustración 3-47: Fase 1 y Fase 2.....	97
Ilustración 3-48: Fase 3.....	98
Ilustración 3-49: Fase 4.....	99
Ilustración 3-50: Fase 5.....	100
Ilustración 3-51: Bomba al vacío	101
Ilustración 3-52: Generador de vacío	101
Ilustración 3-53: Motor de Aspiradora.....	102

Ilustración 3-54: Cámara de vacío modelo CAD	103
Ilustración 3-55: ASPIRADORA 3GL 3HP P' SECO/HUMEDO STANL.....	104
Ilustración 3-56: Diagrama de entradas y salidas del sistema.....	105
Ilustración 3-57: Controlador de temperatura REX-C700 y contactor T02BN13	110
Ilustración 3-58: Módulos de Relé.....	111
Ilustración 3-59: Fuentes de Energía.....	111
Ilustración 3-60: Construcción de estructura	113
Ilustración 3-61: Construcción de la estructura.....	113
Ilustración 3-62: Construcción del sistema de transporte	114
Ilustración 3-63: Construcción de módulo de calentamiento.....	115
Ilustración 3-64: Construcción del sistema de sujeción.....	115
Ilustración 3-65: Construcción de sistema de vacío.....	116
Ilustración 3-66: Construcción del sistema de cableado	116
Ilustración 3-67: Componentes del hardware	117
Ilustración 3-68: Equipos a 110V AC.....	118
Ilustración 3-69: Equipos a 110V AC mediante módulo de relé	118
Ilustración 3-70: Conexiones del controlador de temperatura, contactor, termocupla y resistencias.	119
Ilustración 3-71: Conexión de Drivers y Motores Nema	119
Ilustración 3-72: Conexión de Drivers y Motores Nema	120
Ilustración 3-73: Conexión de sensores	122
Ilustración 3-74: Conexión de electroválvulas.....	123
Ilustración 3-75: Conexión de botones y pulsadores	124
Ilustración 3-76: Conexión de módulo de procesamiento con la tarjeta gráfica.....	124
Ilustración 3-77: Algoritmo de elaboración de interfaz grafica	125
Ilustración 3-78: Algoritmo de Etapa 1 - Materia prima.....	126
Ilustración 3-79: Algoritmo de Etapa 2 - Termoformado	127
Ilustración 3-80: Algoritmo de Etapa 3 – Producto terminado	128
Ilustración 4-1: Prototipo de estación de termoformado	130
Ilustración 4-2: Interfaz gráfica.....	131
Ilustración 4-3: Caja de control.....	131
Ilustración 4-4: Toma de datos.....	136

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: DIMENSIONES ESTÁNDAR DE TUBERÍAS (EN PULGADAS).

ANEXO B: PROPIEDADES FÍSICAS DE MATERIALES DE INGENIERÍA.

ANEXO C: FUERZA DEL CILINDRO EN EL LADO DE EXTENSIÓN Y CONTRACCIÓN.

ANEXO D: DATOS PARA SELECCIONAR RODAMIENTOS DE UNA HILERA DE BOLAS Y RANURA PROFUNDA.

ANEXO E: ESPECIFICACIONES CILINDRO FVB-32X400-S.

ANEXO F: ESPECIFICACIONES DEL COMPRESOR PRETUL 20L LUBRICADO

ANEXO H: RESORTE DE PLÁSTICO.

ANEXO I: PROPIEDADES DE LA ATMÓSFERA A GRAN ALTITUD

ANEXO J: PROPIEDADES DE LA ATMÓSFERA A GRAN ALTITUD

ANEXO K: MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA DE TERMOFORMADO PARA LA ELABORACIÓN DE VALVAS DE FÉRULAS ANTEBRAQUIALES.

ANEXO L: DESARROLLO DE LA PROGRAMACIÓN.

ANEXO M: LISTA DE COMPONENTES DEL PROTOTIPO.

ANEXO N: PLANOS DE CONSTRUCCION.

RESUMEN

En Ecuador, la adquisición de una estación automatizada de termoformado representa una inversión importante para las empresas de ortopedia, dando lugar desafíos en costos, tecnología, accesibilidad y calidad para fabricación de férulas antebraquiales, por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue implementar prototipo de estación automatizada de termoformado para la fabricación de valvas de férulas antebraquiales. El diseño del prototipo inició definiendo el tipo de estudio, investigación y metodología. A continuación, se estableció el diseño de desarrollo e implementación y los parámetros del sistema. Se describió el funcionamiento esperado de la máquina y su diseño de desarrollo e implementación. El modelado de la estructura del prototipo se realizó en cuatro fases utilizando el programa de diseño asistido por computadora *SOLIDWORKS*. Para el diseño del proceso se consideró los siguientes puntos: método de formado, análisis de estructura, materia prima, bodega de almacenamiento, sistema de transporte, sistema de alimentación por ventosa, área de sujeción, área de calentamiento y la cámara de vacío. Las conexiones del software al prototipo se hicieron en el programa en *Fritzing* y *Power Point* y por último se realizó la construcción de la máquina de termoformado físicamente. En este contexto se obtuvo como resultado en base al estudio de tiempos del proceso, que el tiempo para elaborar una valva de férula antebraquial es de 603,3 segundos y un consumo energético total de 52,86 kilovatio-hora. Se concluye que el desarrollo del prototipo de estación automatizada de termoformado cumple con el objetivo de fabricar valvas de férulas antebraquiales de una manera continua, teniendo la máquina tres etapas: materia prima, termoformado y producto final. Se recomienda a futuros estudiantes planificación un mantenimiento frecuente y realizar revisiones de funcionamiento a los equipos para extender su tiempo de vida y mantener un buen desempeño en el proceso.

Palabras clave: <PROCESO DE TERMOFORMADO> <AUTOMATIZACIÓN>
<PROTOTIPO> <FÉRULA ANTEBRAQUIAL> <MANUAL DE MANTENIMIENTO>
<MANUAL DE OPERACIÓN> <DISEÑO ESTRUCTURAL> <ROBOT CARTESIANO>

1015-DBRA-UPT-2024

SUMMARY

In Ecuador, the acquisition of an automated thermoforming station constitutes an important investment for orthopedic companies, giving rise to challenges in costs, technology, accessibility and quality for the manufacture of antebrachial splints; consequently, the objective of this research was to implement a prototype of an automated thermoforming station for the manufacture of antebrachial splint valves. The prototype established the type of study, research and methodology. After that, the development and implementation design and system parameters were established. The expected operation of the machine and its development and implementation design were described. The modeling of the prototype structure was completed in four phases through the use of the SOLIDWORKS computer-aided design program. The following items were considered for the process design: forming method, structure analysis, raw material, storage warehouse, conveying system, suction cup feeding system, clamping area, heating area and the vacuum chamber. The software connections to the prototype were developed in the Fritzing and Power Point programs and finally the thermoforming machine was physically built. In this context, it was obtained as a result that the time to produce one antebrachial splint valve is 603.3 seconds and a total energy consumption of 52.86 kilowatt-hours, based on the time study of the process. It is concluded that the development of the automated thermoforming station prototype satisfies the objective of manufacturing antebrachial splint valves in a continuous way, with three stages in the machine: raw material, thermoforming and final product. It is recommended to future students to plan a frequent maintenance and to carry out operation checks to the equipment in order to extend its life time and to maintain a good performance in the process.

Keywords: <THERMOFORMING PROCESS>, <AUTOMATION>, <PROTOTYPE>, <ANTEBRAQUIAL FORMING FORMULA>, <MAINTENANCE MANUAL>, <OPERATION MANUAL>, <STRUCTURAL DESIGN>, <CARTESIAN ROBOT>.



Mgs. Mónica Paulina Castillo Niama
C.I. 060311780-5

INTRODUCCIÓN

El avance en el desarrollo de dispositivos médicos es crucial para cubrir la creciente demanda debido a lesiones y fracturas óseas. Calle (2017, pág. 14) menciona que, en el Instituto de Medicina del Deporte y Ortopedia (IMDO) de la Ciudad de Guayaquil, con una muestra de 193 pacientes deportistas de alto rendimiento, el 100% presentan lesiones causadas por el deporte. Dentro de esta categoría, las férulas juegan un papel fundamental en el tratamiento de fracturas, sin embargo, su uso es limitado, debido a la escasa oferta de fabricación. En consecuencia, se recurre a métodos tradicionales de estabilización, como el uso de yeso, que a menudo, genera complicaciones en la mayoría de los casos.

Este proyecto, implementa una metodología para diseñar un sistema de fabricación de una férula antebraquial a partir del proceso de termoformado, mediante la automatización, con el fin de garantizar la calidad del producto final.

Inicialmente, se realizó un análisis exhaustivo del estado actual del termoformado al vacío, para identificar los requisitos de construcción de una máquina precisa y eficiente. Se seleccionó materiales termoplásticos y se desarrolló un sistema de control automatizado con una interfaz gráfica, para garantizar la calidad y consistencia en la fabricación, adaptándose a diferentes especificaciones.

Además, realizaron pruebas y experimentos para evaluar el rendimiento de la máquina, en función de los tiempos de respuesta en cada etapa del proceso. Se ajustó y perfeccionó el prototipo, asegurando su eficacia en entornos reales de producción. Por último, se elaboró la documentación completa sobre el diseño, construcción y funcionamiento de la máquina, incluyendo manuales de usuario y mantenimiento, para facilitar su implementación en entornos industriales.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Actualmente, existe un deficiente avance tecnológico, en relación con la creciente demanda en la industria de fabricación de férulas en Ecuador, debido a lesiones deportivas, fracturas y diversas condiciones ortopédicas.

La investigación desarrollada por Miranda y Zacasari (2023), tuvo como objetivo diseñar una máquina de termoformado para la elaboración de piezas de plástico, con el fin de solventar la ausencia de esta máquina, en la Universidad Salesiana. El proyecto se desarrolló en tres etapas: establecimiento de parámetros iniciales, diseño de la máquina y simulaciones.

En la primera etapa se identificaron los parámetros mecánicos, como son el dimensionamiento y los materiales de la máquina; luego los parámetros electrónicos, como: la fuente de calor, sensor de temperatura, control de temperatura, movimiento de porta lámina, guía de movimiento, fuente de alimentación, microcontrolador y *driver*; a continuación, los parámetros de vacío; luego, los parámetros ergonómicos (para diversos tipos de tareas) y, finalmente, los parámetros de seguridad. Para el diseño, realizaron análisis del sistema de calentamiento, del sistema de vacío, del sistema estructural, del sistema electrónico y del sistema motriz. En la etapa de simulaciones, se utilizó el *software Ansys*, iniciando con un mallado de sistema para luego establecer los parámetros para la simulación: materiales y calor interno generado. Como resultados, se diseñó una máquina termoformadora para polímeros, con un marco porta lámina, una fuente de calor, una cámara de vacío, sensores, actuadores y controladores (págs. 31-81).

El proyecto realizado por Molina y Pito (2008) en la Escuela Politécnica Nacional de Quito, Ecuador, tuvo como objetivo desarrollar una termoformadora de envases plásticos a partir de un rollo de polipropileno. El diseño del prototipo inició con la identificación de componentes. A continuación, se analizó el sistema de presión, el sistema funcional de resortes y el sistema motriz. El diseño se llevó a cabo utilizando el *software SAP 2000*, mientras que el sistema de control se basó en un PLC Logo, que activa las resistencias de calentamiento y la bomba de vacío mediante el uso de contactores, pulsadores y variadores de frecuencia. Para el sistema de calentamiento, se implementó un horno compuesto por radiadores térmicos, planchas de acero y el controlador de temperatura WATLOW serie SD31. Se realizó la construcción, montaje y pruebas de campo y

finalmente, el análisis de costos. Se logró un diseño que cumple con los requerimientos de una empresa en cuanto a la capacidad de realizar cualquier tipo de envases a partir de polipropileno (págs. 65-139).

El estudio de Gonzales (2023), realiza el diseño de una férula para extremidades superiores, utilizando el método de deposición fundida. Para ello, se establecieron los parámetros morfológicos del antebrazo, realizando mediciones por secciones en diferentes movimientos del brazo y en personas de diferentes edades. Luego, se realizó un listado de requerimientos en cuanto a la función principal, geometría, fuerzas, material, cinemática, fabricación, seguridad, montaje, mantenimiento y costo. Se realizan bocetos y tres proyectos preliminares, para la selección del prototipo final y las simulaciones correspondientes. El resultado es el diseño de una férula estándar para hombre de edad entre 18 y 30 años, validado para una densidad de impresión al 50%, la configuración geométrica estuvo dentro de los rangos aceptables, así como los valores de esfuerzos, desplazamientos y factor de seguridad. Además, la producción de la férula en 3D, permite la reducción de tiempo de producción, es de fácil mantenimiento, liviana y de menor costo que el yeso convencional (págs. 17-90).

Estas investigaciones, aportan al desarrollo del presente proyecto, en el diseño, tanto de la máquina, como de los materiales y requerimientos del producto. Así, la identificación de los diferentes parámetros para iniciar el proceso metodológico constituye un apoyo básico para las consideraciones a nivel técnico, morfológico y de costos.

Sin embargo, estos autores no llegan a la implementación física de las máquinas. Por lo tanto, el aporte de la presente investigación es la automatización del prototipo de estación de termoformado. Es decir, desde la concepción de la idea, pasando por un bocetaje, el diseño y hasta la creación física de la máquina.

1.2. Planteamiento del problema

La adquisición e implementación de una estación automatizada de termoformado puede ser una inversión significativa para las empresas ecuatorianas, especialmente para aquellas de menor tamaño dedicadas en el campo de la ortopedia.

La fabricación de férulas antebraquiales es fundamental para proporcionar soporte y rehabilitación efectivos a pacientes con lesiones o condiciones en el antebrazo. Sin embargo, el proceso de producción manual de estas férulas enfrenta desafíos en términos de costos y

tecnología, lo que impacta tanto en la accesibilidad a estas soluciones médicas como en la calidad y precisión de los productos fabricados.

En Ecuador, de acuerdo con información de Guthemberg et al., se anunció que las ortesis más comúnmente diseñadas se destinan a las extremidades superiores, específicamente en la sección radio distal. Estas ortesis son necesarias principalmente debido a incidentes laborales, como accidentes en la manufactura o la construcción, así como accidentes de tráfico o de carácter deportivo.

Considerando esta necesidad, se desarrollará un modelo inicial de una estación de termoformado para abordar la situación actual, automatizando la fabricación de las valvas de férulas antebraquiales. Este enfoque busca mejorar la eficiencia del proceso productivo, simplificar las tareas laborales y reducir los gastos asociados.

1.3. Justificación

En la actualidad, la industria ecuatoriana se encuentra en un proceso de transición de sustituir la manufactura manual por sistemas automatizados y semiautomatizados más eficientes, pese a esto, la implementación de estos sistemas resulta costoso, ya que requiere servicio técnico especializado, por ende, este tipo de máquinas normalmente son importadas. Actualmente, la producción manual de férulas puede ser un proceso laborioso y propenso a errores, lo que puede afectar la calidad del producto final, en base a esto la implementación de un prototipo de estación automatizada de termoformado, busca optimizar el proceso de elaboración, reduciendo los tiempos de fabricación, garantizando una mayor uniformidad en la forma y tamaño de las férulas.

Es necesario considerar otros aspectos además de la economía al adoptar la tecnología para la creación de férulas. Es fundamental tener en cuenta la funcionalidad y la adecuación a diferentes patologías, como en el caso el esguince de muñeca. Según Chávez (2023, pág. 7), en Ecuador, la oferta de este tipo de productos es limitada, ya que se encuentran dispositivos sobredimensionados en el mercado o se utilizan dispositivos rudimentarios a base de yeso en los centros de salud, lo cual genera incomodidades para los usuarios.

Por lo tanto, es esencial adoptar esta tecnología para mejorar la calidad de vida de los pacientes al proporcionarles férulas antebraquiales más apropiadas y cómodas, al mismo tiempo que se contribuye a la preservación del medio ambiente mediante el uso de materiales y procesos más sostenibles.

Asimismo, la automatización contribuirá a una mayor competitividad de las empresas ecuatorianas al ofrecer productos de alta calidad y a precios competitivos en el mercado local. Sobremanera, el proyecto fomentará la adopción de tecnología y la innovación en la industria de elaboración de férulas en el país, impulsando el desarrollo tecnológico y la generación de empleo especializado.

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo general*

Desarrollar un prototipo de estación automatizada de termoformado para la fabricación de valvas de férulas antebraquiales.

1.4.2. *Objetivos específicos*

- Definir los requerimientos para la construcción de una máquina de termoformado al vacío, mediante un estudio del estado del arte, para la fabricación.
- Estudiar las propiedades mecánicas de los materiales termoplásticos disponibles en el mercado, mediante revisión documental, para la selección de los polímeros adecuados para la fabricación de valvas de férulas antebraquiales.
- Fabricar la máquina de termoformado, mediante principios de manufactura, para su posterior automatización.
- Construir el sistema de control automatizado vinculado a una interfaz gráfica para la ejecución del proceso.
- Realizar pruebas y experimentos de evaluación del rendimiento de la máquina, aplicando registros de tiempos, para la medición de respuesta del proceso.
- Elaborar la documentación del diseño, construcción, operación y mantenimiento de la máquina, mediante la adaptación de formatos, para su implementación en entornos industriales

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El termoformado

2.1.1. *Introducción del termoformado*

El termoformado es una técnica de procesamiento de plástico ampliamente utilizada en diferentes industrias alrededor del mundo. Esta técnica involucra la aplicación de calor y vacío. Durante el proceso las láminas o películas de plástico se calienta hasta una temperatura apropiada hasta que el material que se vuelva flexible, luego se da forma al material utilizando el vacío y un molde o matriz.

2.1.2. *Historia*

El termoformado ha emergido como una técnica de procesamiento de materiales que ha dejado una huella significativa en la industria de la manufactura. PLASTIGLAS (2020, pág. 3), nos indica que el inicio del termoformado se remonta al siglo XX, cuando se empleaban diversas técnicas para dar forma a una variedad de ellos tales como metales y vidrio.

Sin embargo, posterior a la Segunda Guerra Mundial, los avances en el ámbito de los termoplásticos y la comercialización de este crecieron exponencialmente, dando lugar a la modernización de los procesos de manufactura. Esta evolución marcó el inicio de lo que hoy en día se conoce como el termoformado.

La década de 1950 fue testigo el aumento significativo en la producción de materiales termoplásticos, sin embargo, fue en las décadas de los 60's y 90's cuando la industria del termoformado empezó a consolidarse. Este aumento en la demanda de productos termoformados generó una presión para la eficiencia, esto llevo a la necesidad de fabricar máquinas eficientes y versátiles para su fabricación.

Desde la década de los 80's hasta la actualidad, el proceso de termoformado ha experimentado mejoras notables. Se han establecido líneas de producción altamente especializadas, donde la eficiencia, precisión es significativa, permitiendo así la calidad y reducción de costos.

2.2. Materia prima para el termoformado

Los polímeros son la materia prima apropiada para el proceso de termoformado, debido a que cumplen con criterios esenciales para el proceso de moldeo gracias a sus características y propiedades.

2.2.1. Polímeros

Un polímero, desde su origen etimológico, se compone de la unión de dos términos: "poly," que significa "muchos," y "meros," que se traduce como "partes." Es decir, se refiere a una estructura que consiste en múltiples fragmentos, ya que está compuesta por una secuencia repetitiva de diversas moléculas. Básicamente, un material plástico o polímero se encuentra compuesto por elementos tales como carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre. (Contreras et al., 2018, pág. 121).

En la ilustración 2-1 se puede apreciar un cuadro informativo sobre los polímeros.

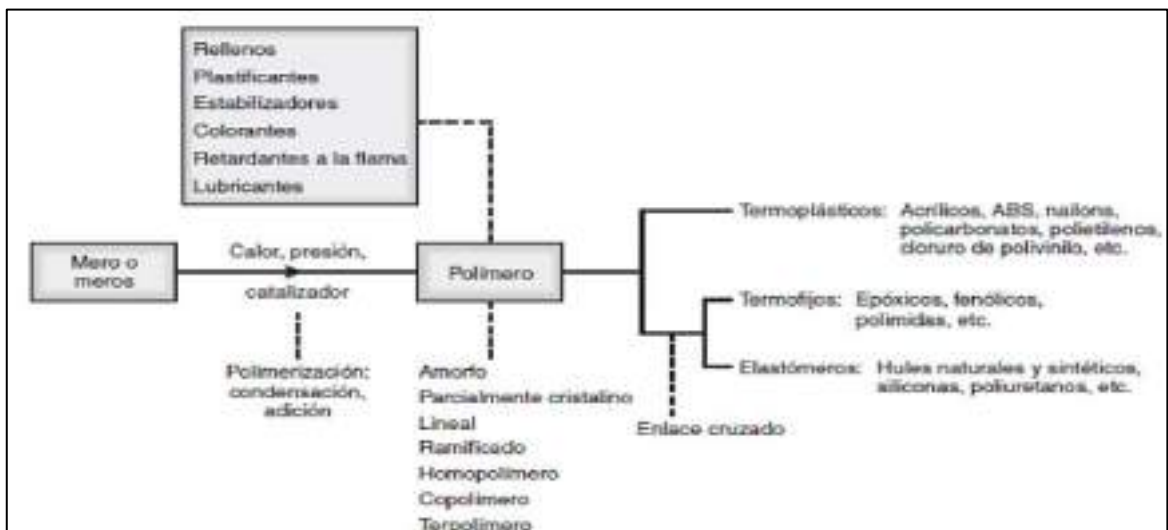


Ilustración 2-1: Cuadro informativo sobre los polímeros

Fuente: (Kalpakjian y Schmid, 2008, pág. 193)

2.2.2. Termoplásticos

Los polímeros termoplásticos, también conocidos como termoplásticos (TP), estos materiales al estar en temperatura ambiente mantienen su estado sólido, pero al calentarse se transforman en líquidos viscosos, lo que les confiere la capacidad de adoptar diversas formas. Esta propiedad les permite ser moldeados de manera sencilla y económica. Además, se destaca que el proceso es

reversible, ya que cuando el polímero se enfría, recupera su dureza y resistencia originales. Además, este ciclo de calentamiento y conformado puede repetirse en múltiples ocasiones sin que el material se degrade de manera significativa. (Kalpakjian y Schmid, 2008, pág. 202)

2.2.3. Termofijos

Los polímeros termofijos durante la etapa de polimerización, la red de enlaces químicos se completa y, en consecuencia, la forma del material queda permanentemente fijada, por lo que se convierte en un sólido irreversible, incapaz de fundirse nuevamente, en lugar de ablandarse al calentarse, estos polímeros termoestables tienden a carbonizarse. (Kalpakjian y Schmid, 2008, pág. 206)

2.2.4. Elastómeros

Los elastómeros son una categoría de polímeros que se destacan por su capacidad para experimentar deformaciones elásticas significativas sin romperse. Estos materiales tienen una estructura similar a la de los termofijos, pero sus propiedades son diferentes. Además de su capacidad de elongación, estos polímeros se caracterizan por ser suaves y tener módulos elásticos bajos. (Kalpakjian y Schmid, 2008, pág. 214)

2.3. Polímeros adecuados para el termoformado

Todos los termoplásticos son adecuados para el proceso de termoformado, ya que muestran un cambio en sus propiedades, como la elasticidad, la dureza y la capacidad de soportar carga, cuando se someten a condiciones de calor. Si se expone a una temperatura superior a su punto de deformación por calor, el material se volverá flexible y se deformará bajo la influencia de la fuerza gravitatoria, asumiendo una apariencia similar a la del caucho. A continuación, en la tabla 2-1 se detalla los polímeros comunes para el termoformado y su temperatura de formado.

Tabla 2-1: Polímeros comunes usados para el termoformado y sus temperaturas de formado

Polímeros	Temperatura de deflexión al calor			Temperatura de termoformado		
	A 264 PSI (°C)	A 66 PSI (°C)	Sin carga (°c)	Temperatura de la hoja (°c)	Temperatura del molde (°c)	Temperatura de ayuda (°c)
Acrílico extruido	94	98		135-175	65-75	
Acrílico cell-cast	96	110		160-180	65-75	
Acetobutirato de celulosa	65-75	75-80	120-150	140-160		
Polietileno de alta densidad		60-80	100	145-190	95	170
Polipropileno (PP)	55-65	110-115	140	145-200		
Poliestireno (PS)	70-95	70-100	100	140-170	45-65	90
Poliestireno alto impacto	85-95	90-95	120	170-180	45-65	90
Estireno acrilonitrilo (SAN)	100	105		220-230		
Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)	75-115	80-120	95	120-180	70-85	90
Polivinilo de cloruro (PVC)	70	75	110	135-180	70-85	90
Policarbonato (PC)	130	140	160	180-230	95-120	140

Fuente: (PLASTIGLAS, 2020, pág. 7)

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

La temperatura de deflexión térmica señala a qué temperatura comienzan a perder su rigidez los polímeros. Por otro lado, la temperatura de conformado indica a qué temperatura es posible moldear los polímeros según la forma deseada.

2.4. Equipo para termoformado

Para el termoformado existen diversas configuraciones, conforme a Groover (2007, pág. 293), constan de múltiples estaciones donde se llevan a cabo las operaciones requeridas en un proceso continuo. Las etapas principales son:

- Estación de calentamiento.
- Estación de formado.

2.4.1. Calefacción

De acuerdo con Juárez (2015, pág. 18), la operación de calentamiento es una de las etapas que se emplea tiempos y en la que se pueden presentar las mayores dificultades, ocasionando el mal aprovechamiento de recursos materiales y humanos.

2.4.1.1. Clasificación de la transferencia de calor

Cengel (2007, págs. 17-29), indica que la transferencia de calor se puede clasificar en, conducción, convección y radiación.

- **Conducción**

Este proceso ocurre en sólidos, líquidos y gases, y es más pronunciado en los sólidos. La energía térmica se produce cuando se propaga a través de un material debido al movimiento de sus partículas. Las partículas en áreas más cálidas transfieren energía a partículas vecinas más frías, provocando ciclos térmicos.

- **Convección**

Es el proceso mediante el cual la energía se transfiere entre una superficie sólida y el líquido o gas en movimiento que la rodea. A medida que un fluido se desplaza más rápido, aumenta la cantidad de calor transferido por convección.

- **Radiación**

Este proceso ocurre en líquidos y gases e implica el desplazamiento efectivo de partículas calientes dentro del fluido. Cuando una porción de un fluido se calienta, se vuelve menos densa y por lo tanto tiende a subir, pero el fluido más frío y denso cae simultáneamente.

2.4.1.2. *Medios de transmisión de calor*

En base a Plastiglas (2020, pág. 19), los métodos de transferencia de calor se pueden clasificar en cuatro categorías: conducción, convección, radiación y transferencia de calor por inmersión.

- **Calentamiento por contacto**

Este método representa la forma más veloz de calentar. Implica el contacto directo de la lámina de plástico con una placa metálica caliente. Este procedimiento es comúnmente empleado en la fabricación de artículos delgados y de dimensiones reducidas.

- **Calentamiento por inmersión**

Esta técnica implica sumergir la lámina de plástico en un líquido para lograr una transferencia uniforme y rápida de calor. Se emplea principalmente en el moldeo de objetos con láminas de gran tamaño o considerable grosor, aunque su aplicación se ve restringida debido a la complejidad asociada con su manipulación.

- **Calentamiento por convección**

Los hornos que emplean convección de aire ofrecen una distribución homogénea del calor y son capaces de deshidratar materiales con niveles moderados de humedad. Estos hornos son muy utilizados debido a las ventajas que proporcionan por sus atributos específicos.

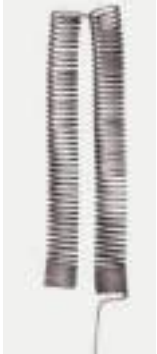


- **Calentamiento por radiación**

Esta técnica ofrece un calentamiento rápido y prácticamente instantáneo, lo que significa que los períodos de exposición suelen ser breves, generalmente unos pocos segundos resultan adecuados.

2.4.1.3. Elementos de transmisión de calor

Dentro del mercado las herramientas para transferir calor las siguientes son las más usadas teniendo en cuenta un sistema de manejo electromecánico.

Tabla 2-2: Dispositivos de transferencia de calor

Tipo	Descripción	Parte
<p>Alambre de Níquel-Cromo</p>	<p>El alambre nicrom, abreviatura de Níquel Cromo, consiste en una aleación compuesta principalmente por un alto porcentaje de níquel (80%) y cromo (20%). Esta combinación proporciona una excelente capacidad como conductor de calor en sistemas de calentamiento. Se encuentra disponible en una variedad de grosores, que van desde calibres gruesos, como el 1 AWG, hasta calibres más delgados, como el 60 AWG.). (CEIV. S.A., 2023, págs. 2-3)</p>	
<p>Resistencias Tubulares</p>	<p>La resistencia tubular es el componente de calefacción más comúnmente empleado para calentar una amplia gama de procesos industriales, ya sea de baja o alta potencia. Su versatilidad de aplicación va hasta su implementación en sistemas complejos que requieren altos niveles de potencia, como descargas en transformadores de gran consumo energético. Es fabricado en acero inoxidable y cobre, tiene una alimentación de 120 a 200 V y posee una alta densidad de potencia. (CEIV. S.A., 2023, págs. 1-3)</p>	
<p>Resistencias cerámicas</p>	<p>Las resistencias de cerámica son componentes fundamentales en circuitos eléctricos, destinados a limitar corrientes y distribuir tensiones en sistemas diversos. Son frecuentes en aplicaciones que requieren alta disipación de potencia y pueden servir como dispositivos calefactores. Es crucial tener en cuenta que estos elementos tienen</p>	

	valores de resistencia fijos. (NUGAR RESISTOR TECHNOLOGY, 2024, págs. 1-3)	
--	--	--

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

2.4.2. Estación de conformado

Los procedimientos empleados para realizar la etapa de conformado pueden clasificarse en tres categorías principales de acuerdo con Groover (2007, págs. 294-296): termoformado al vacío, termoformado bajo presión y termoformado mecánico.

2.4.2.1. Métodos de conformado

2.4.2.1.1. Termoformado al vacío

Esta estación implica la utilización de presión negativa para que la lámina precalentada se adhiera al interior del molde. Este proceso se puede comprender a través de una representación gráfica en su forma más elemental. Los orificios en el molde destinados a generar el vacío tienen un diámetro aproximado de 0.8 mm, lo que minimiza cualquier influencia significativa en la superficie del material plástico. Véase el proceso en la ilustración 2-2.

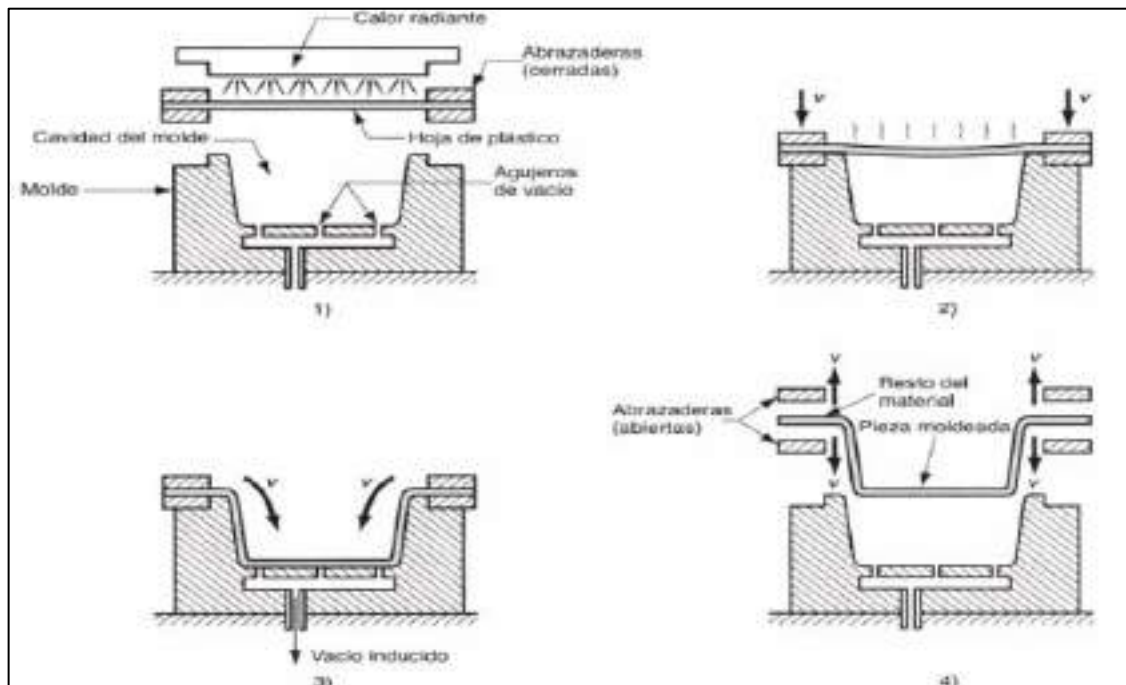


Ilustración 2-2: Termoformado por vacío (1) Calentamiento de la lámina (2) Colocación de la lámina (3) generación del vacío (4) despegue de la lámina

Fuente: (Groover, 2007, pág. 294)

2.4.2.1.2. Termoformado de presión

Una opción para el proceso de termoformado implica el uso de presión positiva para dirigir el plástico calentado hacia la cavidad del molde. Esto se conoce como termoformado de presión o formado por soplado. Una ventaja significativa de este enfoque con respecto al formado al vacío debido a que permite generar presiones mayores, en contraste con la técnica de formado al vacío, que se encuentra limitada a un máximo teórico de 1 atmósfera. Véase el proceso en la ilustración 2-3.

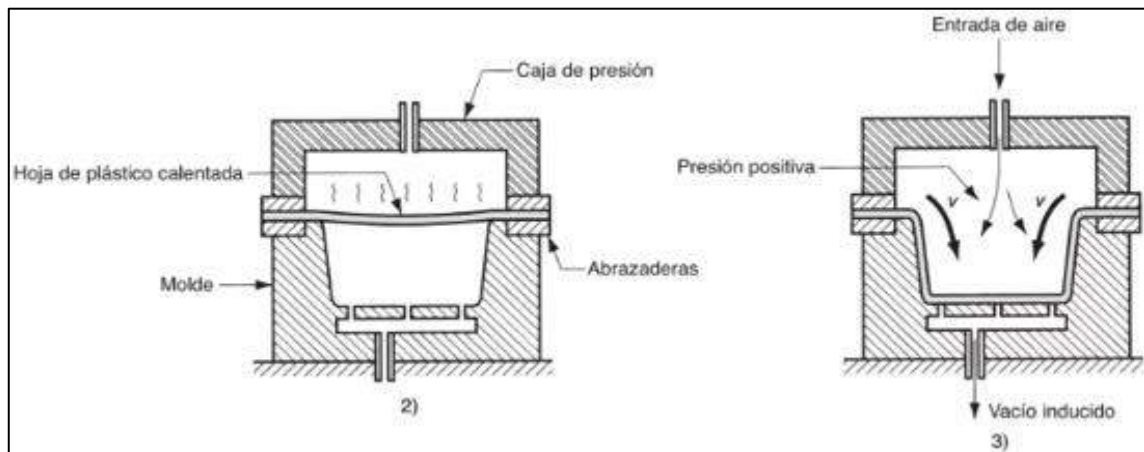


Ilustración 2-3: Termoformado por presión. Secuencia similar a la ilustración 2-2, se diferencia por el proceso: (2) Colocación de la lámina (3) Presión positiva sobre la lámina

Fuente: (Groover, 2007, pág. 295)

El equipo utilizado para el moldeo por presión debe ser más resistente que el empleado en el moldeo al vacío. Además, requiere un tanque similar al compresor. En cuanto a la tubería, no es necesario tener especificaciones muy estrictas, ya que la pérdida de presión es mínima. En ocasiones, puede ser necesario añadir calentadores al sistema de aire para mantener el aire caliente durante sopladados extensos necesarios para formar la pieza en el molde (PLASTIGLAS, 2020, pág. 37).

2.4.2.1.3. Termoformado Mecánico

Este método hace uso de moldes tanto positivos como negativos que se unen y aplican presión a la lámina de plástico calentada, obligándola a tomar su forma. Esta técnica prescinde de la presión de aire, tanto positiva como negativa. Aunque presenta la desventaja de requerir dos mitades de moldes complementarios, lo que incrementa el costo de fabricación, ofrece la ventaja de permitir un alto grado de detalle en la superficie de la lámina. Véase el proceso en la ilustración 2-4.

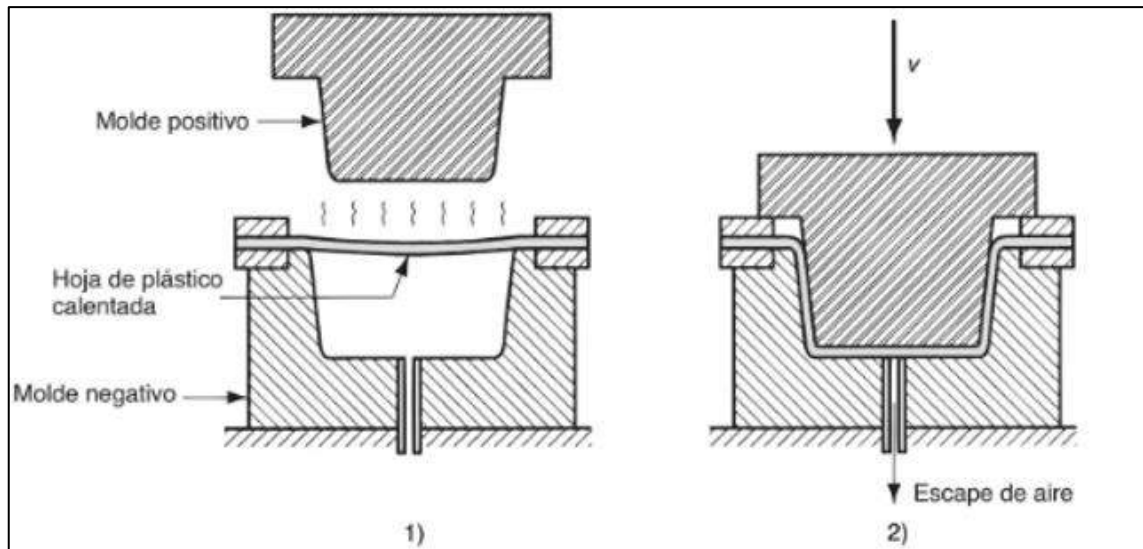


Ilustración 2-4: Termoformado mecánico: (1) Colocación de la lámina (2) Acción del mecanismo para el termoformado

Fuente: (Groover, 2007, pág. 297)

2.5. Variables del termoformado

Es importante tomar en cuenta las siguientes variables debido a que influyen en la calidad, dimensiones y aspecto del producto a producir. (PLASTIGLAS, 2020, págs. 68-69)

Espesor de la hoja: Al utilizar un sistema de calentamiento basado en radiación infrarroja o resistencias eléctricas, se debe tener en cuenta que cualquier variación en el grosor del material puede causar un calentamiento irregular, lo que generaría defectos en la pieza final.

Tamaño de la hoja: Se debe mantener un tamaño estándar con el fin de que permita una adecuada cobertura del molde y la reducción de desperdicio.

Temperatura de la hoja: La temperatura deberá ser el apropiado acorde al polímero que se esté usando, permitiendo así un calentamiento homogéneo en toda la placa y, por consiguiente, un formado adecuado.

Orificios de succión: La velocidad a la que se aplica la succión tiene una influencia estrecha en la calidad del producto terminado. Una succión lenta resulta en que algunas áreas de la lámina se enfríen más rápidamente en comparación con otras, ya que hacen contacto con el molde antes. Esto puede dar lugar a secciones excesivamente delgadas en las paredes o incluso a piezas que no se forman por completo.

Superficie del molde: Cuando se moldea una lámina de material termoplástico, tiende a tomar la forma del molde que se utiliza. Si el molde tiene una superficie mate, el material resultante tendrá un aspecto opaco, mientras que si el molde está muy pulido la pieza resultante lucirá con un brillo.

2.6. Aplicaciones del termoformado

El termoformado es un proceso de fabricación versátil que se utiliza en una amplia gama de aplicaciones en diversas industrias. Algunas de las aplicaciones más comunes del termoformado incluyen:

- Envases y embalajes.
- Electrónica.
- Industria alimentaria.
- Industrial ortopédica.
- Industria de la construcción.
- Industria de la señalización y publicidad.
- Ortopediatria.

El presente proyecto se encuentra dirigido a la industria ortopédica vinculada directamente con la fabricación de férulas antebraquiales.

2.7. Automatización en la industria

La automatización industrial es la aplicación de tecnologías avanzadas, que involucran sistemas mecánicos, electrónicos y computacionales, en la gestión y supervisión de procesos de producción. Esto abarca la utilización de maquinaria automatizada, herramientas controladas por sistemas, sistemas de manipulación de materiales automáticos, sistemas de control con retroalimentación de calidad y la implementación de sistemas de control de procesos mediante computadoras. Este tipo de tecnologías se ha visto un poco mermada en la industria ecuatoriana debido a su alto costo de implementación. (Acuña, 1990, págs. 27-28)

2.7.1. Tipos de automatización

Existen varios tipos de automatización implementados en la industria de acuerdo con Juárez, (2015, págs. 19-20) y Quinteros (2020, págs. 126), que se clasifican según su flexibilidad y capacidad de modificación de los procesos. A continuación, se presentan los tres tipos principales de automatización industrial:

Automatización Fija: Este tipo de automatización es aquella que se aplica cuando la secuencia de operaciones está completamente definida por lo que tradicionalmente se ha vinculado con el uso de sistemas lógicos como relevadores y compuertas lógicas. No obstante, con el avance del tiempo, estos sistemas se han vuelto más flexibles al incorporar elementos de programación, como se observa en los Controladores Lógicos Programables (PLC'S), este tipo de automatización se usa cuando el volumen de producción es alto, por lo cual es esencial fabricar equipos especializados en el producto con alto rendimiento y grandes tasas de producción.

Automatización Programable: Es aquella en la que se diseña un equipo con un alto grado de flexibilidad de tal forma que esta pueda ser usada en diversos procesos, se utiliza en situaciones donde la cantidad de productos fabricados es moderada y se requiere la capacidad de producir una variedad de productos diferentes. Los equipos de producción están diseñados para ser versátiles y capaces de adaptarse a los cambios en la configuración de los productos.

Automatización Flexible: Estos sistemas generalmente están compuestos por estaciones de trabajo interconectadas a través de un sistema para almacenar y manipular materiales. La automatización flexible permite la fabricación simultánea de diversos productos en un único sistema de producción. En otras palabras, no se experimenta un tiempo de producción perdido al cambiar de un producto a otro. Esto permite que el sistema sea flexible y pueda adaptarse a diferentes combinaciones y programaciones de productos.

2.7.2. Sistemas de control automático

2.7.2.1. Definición

Un sistema de control automático en base al estudio realizado por Márquez (2012, pág. 28) es aquel que se compone de elementos físicos interconectados que tienen la capacidad de gestionar y dirigir sus operaciones de manera autónoma, sin requerir intervención externa, lo que incluye la ausencia de participación humana. Además, estos sistemas tienen la capacidad de identificar y corregir posibles errores que puedan surgir durante su funcionamiento.

En la actualidad, en todos los dispositivos, sistemas o instalaciones industriales, se distingue claramente entre una componente que ejecuta la acción física, conocida como "parte actuadora", y una parte responsable del control y mando, encargada de emitir las instrucciones necesarias para determinar si dicha acción debe ser ejecutada o detenida.

Como método de explicación del fundamento de un sistema de control se puede utilizar como ejemplo un francotirador. El soldado fija la mira a la diana y dispara, si el tiro resulta bajo, el próximo intento alzará más la mira, en este caso el tiro resulta alto, el próximo intento bajará algo más la mira y así irá calibrando hasta darle a la diana. El francotirador sería el elemento de mando (da las órdenes de subir o bajar la mira) y su mira el elemento actuador.

En un sistema automático se sustituye lo presencial del francotirador por un mecanismo, circuito eléctrico, electrónico, más comúnmente por un ordenador. De esta manera el sistema de control será automático.

2.7.2.2. Tipos de sistema de control

2.7.2.2.1. Considerando la influencia del estado de la salida en la acción de control

Lazo Abierto

En base al estudio de Caiza (2015, pág. 13-14) sobre el sistema de lazo abierto, se establece la acción de control opera de manera autónoma, sin verse afectada por la señal de salida. En otras palabras, la señal de salida no tiene influencia en la señal de entrada. La precisión de estos sistemas, por otro lado, se basa en su calibración, que implica establecer una relación predefinida entre la entrada y la salida para lograr la precisión requerida del sistema, como se presenta en la ilustración 2-5.

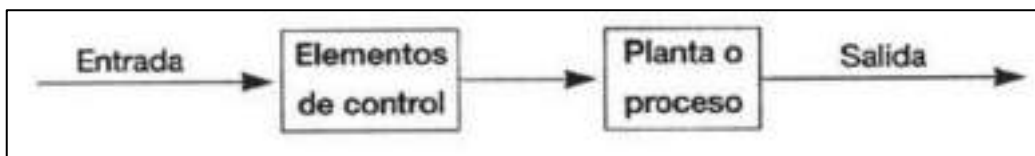


Ilustración 2-5: Diagrama de bloques lazo abierto.

Fuente: (Caiza. L., 2015, pág. 13-14)

Los sistemas de lazo abierto están estrechamente vinculados al factor tiempo, y su señal de salida no se ve afectada por la señal de entrada. Sin embargo, uno de los principales desafíos de estos

sistemas es su alta susceptibilidad a perturbaciones, es decir, a señales no deseadas que pueden afectar negativamente el funcionamiento del sistema. Por lo tanto, en un sistema de bucle abierto, no siempre se logra obtener la variable de salida deseada.

Lazo Cerrado

En base al estudio de Caiza (2015, pág. 13-14) es un sistema de bucle cerrado, la acción de control se basa en la relación entre la señal de entrada y la señal de salida, lo que significa que la salida influye en la entrada. Esta influencia mutua se logra a través de la realimentación, también conocida como "*feedback*", donde la señal de salida se compara continuamente con la señal de entrada. Esto permite que la acción de control se ajuste en función de ambas señales, logrando así un sistema más dinámico y adaptativo, como se muestra en la ilustración 2-6.

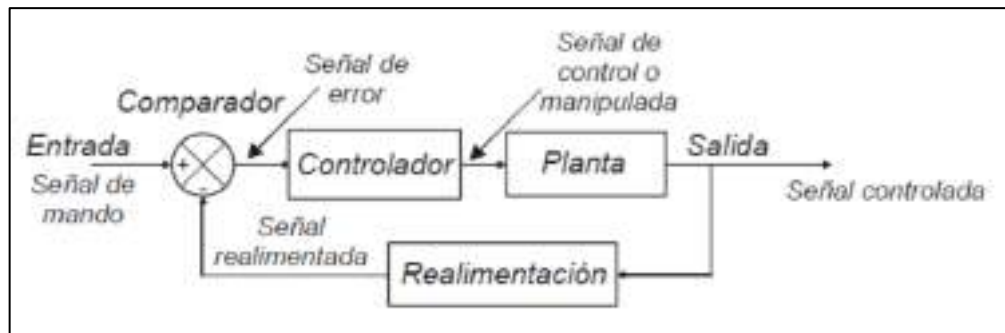


Ilustración 2-6: Diagrama de bloques lazo abierto.

Fuente: (Caiza. L, 2015, pág. 13-14)

2.7.2.2.2. Según las tecnologías en operación

- Mecánico
- Neumáticos
- Hidráulicos
- Eléctricos
- Electrónicos

2.7.2.2.3. Procesamiento de datos

- Analógicas
- Digitales

2.7.3. Elementos de un sistema de control

En base al libro escrito por Kuo (1996, pág. 27) sobre “Sistemas de Control Automático”, en cual explica la relación básica entre los tres componentes que se ilustra en la Ilustración 2-7 en términos especializados, los objetivos se pueden identificar como las entradas o señales actuantes y los resultados viene hacer las salidas o variables controladas. En términos generales el objetivo de un sistema de control es dominar las salidas de alguna forma ya determinada mediante las entradas a través de los elementos del sistema de control.



Ilustración 2-7: Componentes básicos de un sistema de control.

Fuente: (Kuo, 1996, pág. 27)

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Los elementos básicos que forman parte de un sistema de control y permiten su manipulación son los siguientes:

Sensores

Estos son dispositivos que generan señales eléctricas, ya sean en formato analógico o digital, las mismas que pueden ser registradas, procesadas o utilizadas para mantener un proceso en marcha o detectar cambios en dicho proceso. Esto se puede apreciar en la ilustración 2-8, donde estos dispositivos introducen estímulos al sensor y producen señales eléctricas como salida.

Para poder elegir un sensor se debe tener en cuenta algunas consideraciones como: la distancia operativa, datos electrónicos, la forma de carcasa y conexiones. (Mosquera, 2022, pág. 20).

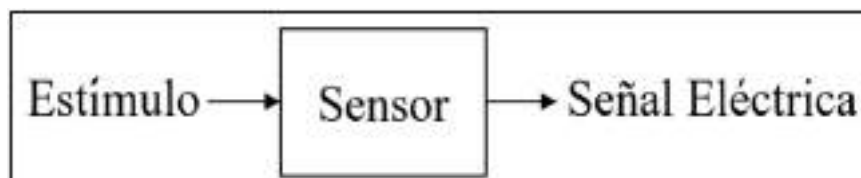




Ilustración 2-8: Sensor

Fuente: (Mosquera, 2022, pág. 20)

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

Hay una variedad extensa de sensores disponibles según la magnitud que se necesita medir. En el contexto del desarrollo del prototipo, es esencial realizar un seguimiento continuo de la posición del sistema a lo largo de todo el proceso. La tabla 2-3 presenta una lista de los sensores que se utilizan con frecuencia para esta finalidad.

Tabla 2-3: Sensores para determinar posición.

Tipo de sensor	Definición	Partes
Sensor final de carrera.	Están conformados por un conmutador mecánico accionado por una palanca, que cierran o abren contactos cuando el objetivo toca la palanca. Indican cuando un objeto llega a una posición.	
Sensor óptico de presencia.	Es un sensor óptico reflexivo diseñado para la detección de presencia de objetos, los cuales deben encontrarse a muy poca distancia de ellos. Su funcionamiento se basa en haz de luz que rebota en el objeto a detectar. El voltaje de operación es de 5V DC.	

Fuente: (Junta de andalucia, 2010, pág. 2)

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

Actuadores

El actuador es una de las partes primordiales de cualquier sistema ya que este nos permite realiza movimientos físicos, transformando la energía eléctrica, neumática, hidráulica en movimientos de carácter rotativos o lineales. (Arteaga y Garcés, 2022, pág. 22)

Para la ejecución de movimientos en el prototipo, se utilizarán tanto motores eléctricos como actuadores neumáticos. A continuación, se detallan los actores clave empleados en sistemas automatizados.

Actuadores Eléctricos

Son unos de los actuadores más usados dentro la industria para un sistema de control eléctrico y electrónico, En la tabla 2-4 se puede observar los actuadores más usados.

Tabla 2-4: Tipos de actuadores eléctricos.

Actuador eléctrico	Definición	Características	Ilustración
Motor Corriente Directa	Los motores de corriente continua (DC) son dispositivos que transforman la energía eléctrica en energía mecánica al inducir la rotación del eje del motor. Su funcionamiento se basa en el principio de generar fuerza a través de la corriente eléctrica que fluye por un conductor.	Estos motores funcionan con una fuente de energía de corriente continua. Están formados principalmente por un estator y un rotor, al cual se le suministra la corriente eléctrica a través de dos escobillas.	
Motor Paso a Paso	Los motores paso a paso son dispositivos electromagnéticos capaces de transformar señales digitales en impulsos que se traducen en movimientos rotativos.	Son utilizado en sistemas de control de velocidad, distancia y dirección que requieren una alta precisión, también hace uso de drivers que permitan controlar la velocidad y giro del eje.	
Servomotor	Son motores asociados a un mecanismo de control realimentado que le permite moverse y detectar su posición angular.	Los servos motores solo pueden realizar un giro de 90°. Poseen un sensor para una retroalimentación en la posición.	

Fuente: (Villacis, A., 2022, pág. 2)

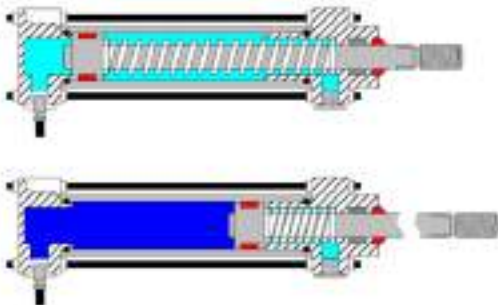
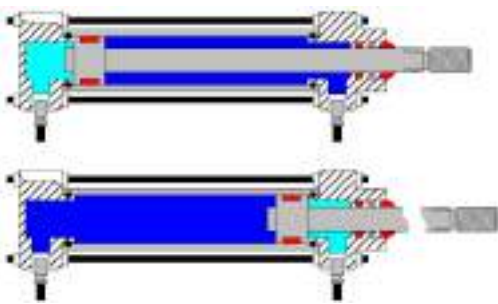
Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

Actuadores Neumáticos

Este tipo de actuadores se caracteriza ya que su fuente de energía proviene del aire comprimido el mismo se mueve mediante un pisto cuando el aire es descomprimido, estos actuadores son

utilizados dentro de la industria para sistemas de posicionamientos, activación además que poseen un costo accesible. En la tabla 2-5 se presentan los actuadores neumáticos más usados.

Tabla 2-5: Tipos de actuadores lineales

Actuador Lineal	Características	Ilustración
Actuador lineal de simple efecto	Este actuador neumático desarrolla un trabajo en un solo sentido; su sistema de retorno se basa por medio de un resorte interno o de manera externa por la acción de cargas o fuerzas. Por causa de su sistema de retorno, la carrera del actuador se ve limitada. Dentro de un sistema de control, estos actuadores se utilizan para sujetar, marcar, o expulsar.	
Actuador lineal de doble efecto	Este actuador, a diferencia del anterior, posee dos entradas en la cuales ayudan a manejar el sistema de expulsión y retorno del vástago. Este tipo de actuadores proporciona un mejor control en un sistema automático, ya que dispone un manejo en ambos sentidos y no pierde fuerza de accionamiento. Para tener en cuenta, estos consumen el doble de energía y uno de simple efecto.	

Fuente: (Escalera y Rodríguez, 2018, págs .2-5)

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

Controladores

Los controladores son componentes electrónicos empleados para supervisar y dirigir el desempeño de otros dispositivos. En el ámbito de la automatización y la robótica, tienen la responsabilidad de recibir información de los sensores, analizarla y emitir comandos a los actuadores para ejecutar las acciones requeridas.

El prototipo del termoformado se desarrollará a partir de un sistema automatizado en tal motivo es necesario conocer los elementos componentes de este, para en la etapa de diseño poder escoger los elementos adecuados.

Tarjetas de desarrollo

Estas herramientas, que también se denominan módulos de desarrollo, según Gorozabel (2022, pág. 27), se utilizan en la creación de sistemas electrónicos y robóticos. Estos módulos incluyen controladores o microcontroladores que ejecutan un conjunto de instrucciones y requisitos necesarios para diversos programas que se emplearán. Existe una amplia variedad de tarjetas disponibles en el mercado para aplicaciones de control y visión artificial, y a continuación se detallan las que se utilizan con mayor frecuencia.

Raspberry Pi

Es un dispositivo informático asequible y de dimensiones reducidas que puede conectarse a un monitor de computadora o a un televisor. Se utiliza un sistema de código abierto. Esta pequeña computadora funciona con un sistema operativo basado en *Linux*, lo que la capacita para la programación en lenguajes como *Scratch* y *Python*. Puede navegar por Internet, reproducir videos, editar documentos y hasta ejecutar juegos.

Esta tarjeta trabaja con un nivel de voltaje de 3.3 V, tiene un GPIO (*General Purpose Input/Output*) de 40 pines y puertos de comunicación I2C, SPI (*Serial Peripheral Interface*) y UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*). Gracias a estas capacidades, la Raspberry Pi puede utilizarse en proyectos de electrónica y robótica para interactuar con diversos sensores, como los de temperatura, luz y aceleración, así como con actuadores, que pueden incluir motores, servos y relés. (RASPBERRY PI, 2018, pág. 1)

Se presenta en la tabla 2-6 las principales características de los modelos de Raspberry Pi.

Tabla 2-6: Tipos de Raspberry Pi

Modelo	Raspberry Pi 1 B+	Raspberry Pi 2 B	Raspberry Pi 3 B	Raspberry Pi Zero	Raspberry Pi Zero W
SOC	Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2836	Broadcom BCM2837	Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2835
Core	ARM1176JZF-S	Cortex-A7	Cortex-A53 64-bit	ARM1176JZF-S	ARM1176JZF-S
Nº Cores	1	4	4	1	1
GPU	VideoCore IV				
CPU Clock	700 MHz	900 MHz	1.2 GHz	1 GHz	1 GHz
RAM	512 MB	1 GB	1 GB	512 MB	512 MB
Memoria	Micro SD	Micro SD	Micro SD	Micro SD	Micro SD
USB	2	4	4	1 microUSB	1 microUSB
Ethernet	SI	SI	SI	No	No
Wi-Fi	No	No	SI	No	SI
Bluetooth	No	No	SI	No	SI
HDMI	Si	Si	Si	Mini	Mini
GPIO	8	17	17	17	17
UART	Si	Si	Si	Si	Si
SPI	Si	Si	Si	Si	Si
I2C	Si	Si	Si	Si	Si
DSI (LCD)	Si	Si	Si	No	No
Camara	Si	Si	Si	Si	Si
Altura	85.6 mm	85.6 mm	85.6 mm	65 mm	65 mm
Ancho	53.98 mm	56.5 mm	56.5 mm	30 mm	30 mm
Profundidad	17 mm	17 mm	17 mm	5 mm	5 mm
Peso	45 g	45 g	45 g	9 g	9 g
Consumo	700 mA	820 mA	1400 mA	350 mA	350 mA

Fuente: (RASPBERRY PI, 2018, pág. 1)

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.



Ilustración 2-9: Tarjeta Raspberry Pi

Fuente: (LÓPEZ, 2020, pág. 10)

Orange Pi

Se trata de un ordenador de dimensiones compactas, con una única placa de código abierto, esta placa cuenta con conectividad inalámbrica a través de *Wi-Fi* y Bluetooth 5.0. Dispone de 2GB de memoria LPDDR3, SDRAM y 8GB de almacenamiento. Es compatible con diversos sistemas operativos, como Android 9, Ubuntu, Debian y varias distribuciones de *Linux*. La tarjeta tiene una amplia variedad de puertos, entre ellos HDMI, 26 pines GPIO, un puerto Ethernet Gigabit, un puerto USB 3.0 y dos puertos USB 2.0, entre otros. Además, funciona con una tensión de 3.3 V. (Orange PI, 2022, pág. 1)

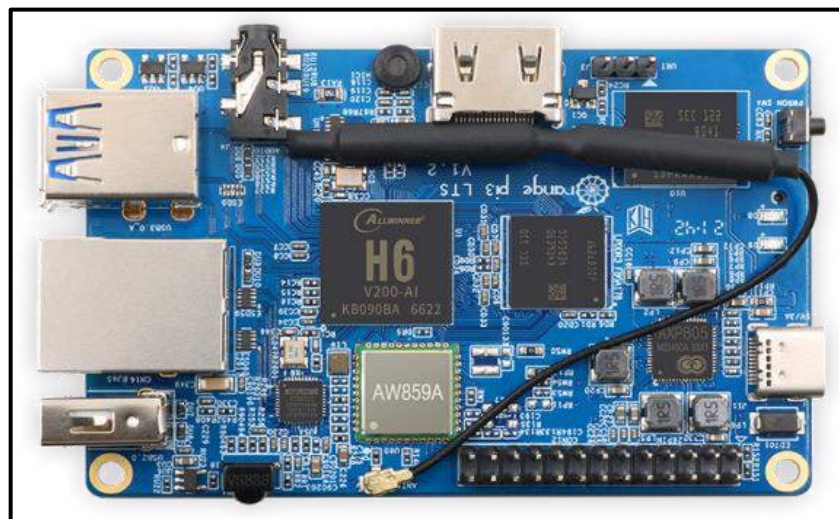


Ilustración 2-10: Tarjeta Orange Pi

Fuente: (Orange PI, 2022, pág. 1)

Tarjetas Arduino

Una tarjeta electrónica de código abierto, conocida como Arduino, es un dispositivo que incluye un microcontrolador reprogramable y conectores hembra que facilitan la conexión con sensores y actuadores. Esto permite la transferencia de datos y su posterior procesamiento.

Para programar esta placa, se utiliza el Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) de Arduino, una plataforma multiplataforma que es compatible con *Windows*, *Macintosh OS X* y *Linux*. Además, es capaz de ejecutar programas relacionados con la visión artificial, aunque para esta función es necesario contar con un sensor adicional. (Arduino, 2021, pág. 1)

La tarjeta Arduino se destaca por su idoneidad para controlar motores, adquirir datos de sensores y llevar a cabo diversas aplicaciones. Es una herramienta versátil que ha ganado popularidad en la comunidad de desarrollo de hardware y software debido a su facilidad de uso y flexibilidad. En la ilustración 2-11 se puede apreciar los modelos de placas Arduino más utilizadas en el mercado. Debido a su capacidad de operar a 5V, esta placa presenta una amplia versatilidad para conectarse con diferentes actuadores y sensores. Además, la inclusión de protocolos de comunicación facilita la interacción con otras tarjetas de desarrollo.

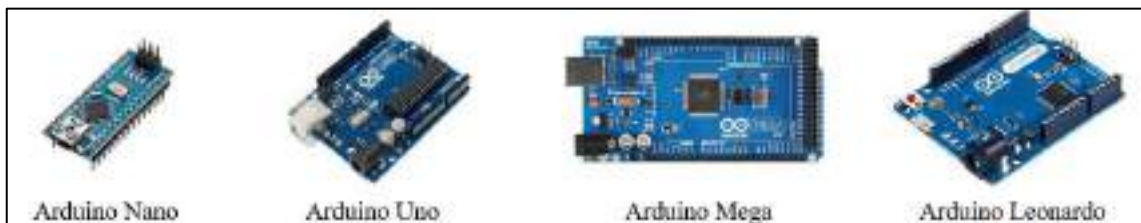


Ilustración 2-11: Modelo de tarjeta Arduino

Fuente: (ARDUINO, 2021, pág. 1)

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

A continuación, en la ilustración se presenta en la ilustración 2-12 un esquema general del funcionamiento de un sistema de control.

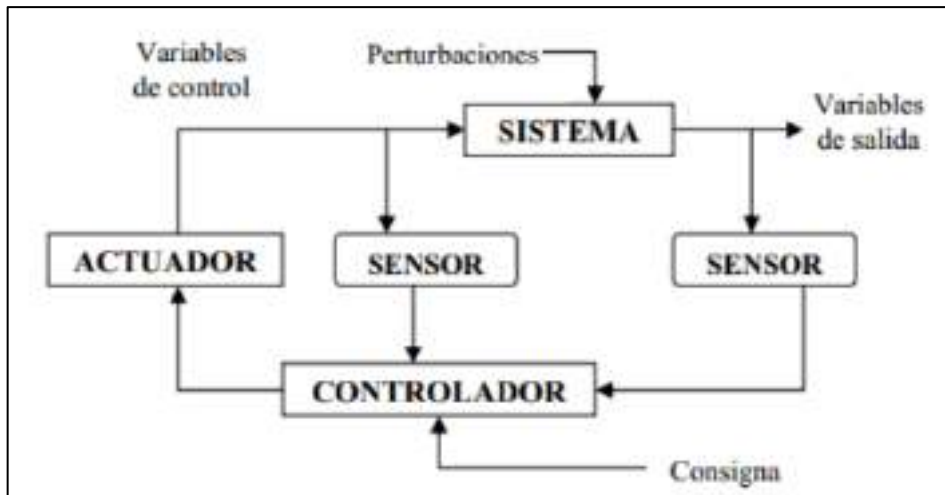


Ilustración 2-12: Esquema general de un sistema de control.

Fuente: (Márquez, D. 2012, pág. 38)

2.8. Férula Antebraquial

2.8.1. Ortopedia Moderna

En el siglo XX, se experimentó un auge significativo en el campo de la cirugía general. Este período se caracterizó por la creación de hospitales especializados y centros ortopédicos, así como avances en el conocimiento médico en áreas como la farmacología, fisiología y fisiopatología del sistema óseo en todo el mundo. Gracias a un mejor entendimiento de las enfermedades y las técnicas quirúrgicas, se lograron notables avances en el tratamiento y la recuperación de fracturas, enfocándose en acelerar la recuperación de lesiones de manera efectiva. (DIEZ JURADO, 2021, pág. 17)

Esto marcó un paso importante que condujo a la investigación de métodos y materiales más modernos y compatibles con la vida del paciente en rehabilitación, superando la antigua utilización de yesos. A pesar de estos avances, la producción de férulas adaptativas no dio el salto definitivo debido a los altos costos, el tiempo requerido para su diseño y la necesidad de contar con expertos altamente capacitados. (DIEZ JURADO 2021, pág. 17)

Actualmente, existen numerosas empresas dedicadas a fabricar y comercializar férulas, el presente estudio tomara como producto principal a la férula estandarizada por la marca ORLIMAN – Pediatric.

2.8.2. Férula Antebraquial Pediátrica

Férula Antebraquial como se muestra en la ilustración 2-13 está fabricada en polietileno de baja densidad de 2 mm, que incorpora 3 cinchas de velour con puntas de micro gancho para su cierre y ajuste sobre el paciente. Esta nos permitirá cubrir necesidades desde: traumatismos de muñeca, inmovilización controlada de la articulación, fracturas de cubito y/o radio, inestabilidad articular, síndrome del túnel carpiano y esguinces recidivantes de muñeca. (ORTOPEDIA.COM, 2023)



Ilustración 2-13: Férula Antebraquial

Fuente: (ORTOPEDIA.COM, 2023)

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

Valvas de Polietileno

Según las pautas de la Organización Internacional de Normalización (ISO), se define como un dispositivo externo, que se utiliza para alterar las funciones o estructuras del sistema neuromusculoesquelético. Estos dispositivos pueden ser categorizados en función de su propósito, dividiéndolos en estabilizadores, funcionales, correctores y protectores.

Cinchas de velour

Mecanismo de sujeción de la férula entre la valva superior e inferior.

Centrándonos más en la elaboración de las valvas de polietileno la ortopedia ORLIMAN nos presenta la tabla 2-7 las distintas tallas establecidas en base a la normativa redactada en su manual

de instrucciones de uso, donde su normativa establece que este artículo es un producto sanitario clase I. Se han realizado un Análisis de Riesgos (UNE EN ISO 14971) minimizando todos los riesgos existentes y ensayos conforme a la normativa europea UNE-EN ISO 22523 de Prótesis y Ortesis. (ORTOPEDIA.COM, 2023)

Tabla 2-7: Tallas de férulas antebraquiales

Tallas	Perímetro cm	Longitud cm
1	14-16	22
2	16-18	24
3	18-20	26

Fuente: (ORLIMAN – PEDIATRIC, 2023)

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.



Ilustración 2-14: Dimensiones de modelos

Fuente: (ORTOPEDIA.COM, 2023)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de estudio

El presente trabajo es una propuesta tecnológica, razón por la cual se realizó una revisión bibliográfica y un análisis crítico – analítico de componentes electromecánicos, los cuales son necesarios dada la implementación de un prototipo de estación automatizada de termoformado para la fabricación de valvas de férulas antebraquiales, también se consideraron recursos tecnológicos e informáticos para desarrollar esta propuesta de manera eficiente.

3.2. Tipo de investigación

3.2.1. *Investigación Documental*

La investigación documental implicó examinar y analizar un tema específico utilizando información disponible, con el fin de comprender el estado actual del objeto de estudio. Las fuentes de consulta primarias fueron documentos digitales, escritos, revistas, artículos científicos y tesis, entre otros recursos confiables. (Bernal, 2016, pág. 146)

En este proyecto, se recopiló información pertinente y confiable de estas fuentes para abordar los temas relevantes relacionados con el desarrollo del prototipo.

3.2.2. *Investigación Descriptiva*

La investigación descriptiva se centró en identificar y describir en detalle las características esenciales del tema de estudio. Permitted realizar diagnósticos, elaborar perfiles o desarrollar productos, prototipos o guías, entre otros propósitos. (Bernal, 2016, pág. 143)

En este trabajo específico, se buscó caracterizar cada elemento de los sistemas a implementar con el fin de obtener una comprensión precisa para el diseño del prototipo.

3.3. Metodología

3.3.1. *Metodología Deductiva*

La metodología utilizada para la implementación de un prototipo de estación automatizada de termoformado para la fabricación de valvas de férulas antebraquiales es de carácter deductivo, ya que de acuerdo con Cabezas (2018, pág. 17), el método deductivo parte del análisis de conclusiones generales para comprobar su validez y así poder emplearlos en soluciones de hechos particulares. Para la ejecución del trabajo se parte del conocimiento recabado referente a la elaboración e implementación de una máquina de termoformado y así poder aplicarlo en el desarrollo de un nuevo prototipo que permite incrementar la eficiencia de producción a través de la automatización.

3.3.2. Técnicas de procesamiento de datos

Las metodologías destinadas al procesamiento y análisis de los datos se derivan de la recopilación de información para el desarrollo del prototipo del sistema de selección propuesto. Se utilizó el conjunto de herramientas proporcionadas por *Microsoft Office* y *Fritzing* para organizar la información y examinar los resultados, con el propósito de establecer las conclusiones y recomendaciones correspondientes a este trabajo.

En el proceso para alcanzar los resultados del proyecto se usó un conjunto de métodos, técnicas y herramientas como; métodos de selección de mecanismos en base a sus características, técnicas de diseño y planificación y por último herramientas como equipos electrónicos, mecánicos, etc, que corresponden a cada etapa o actividad que se va realizando hasta obtener el producto deseado.

3.4. Diseño de desarrollo e implementación del prototipo

El diseño del prototipo de sistema de termoformado responde a una metodología estructurada con la ejecución de una serie de etapas para cumplir con los parámetros de diseño del prototipo. La ilustración 3-1 muestra la estructuración para el desarrollo e implementación del prototipo propuesto.

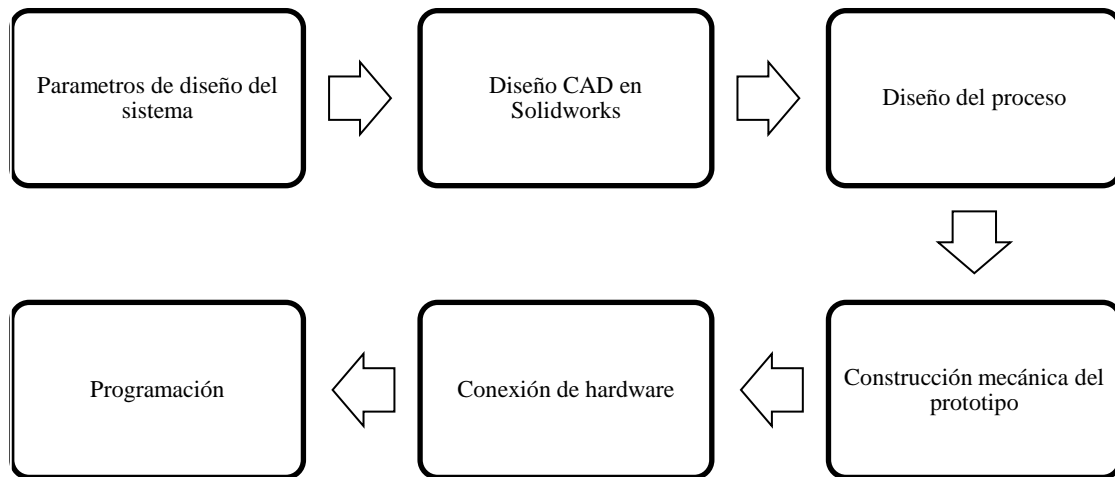


Ilustración 3-1: Diseño de implementación del prototipo

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

Parámetros de diseño del sistema: En esta fase se plantea los requerimientos del prototipo para realizar un análisis de los equipos a utilizar en la implementación de este. Este análisis se basa en las características de los equipos, utilizando como referencia hojas de datos de fabricantes, documentos técnicos y resultados de investigaciones previas. El objetivo es asegurar el funcionamiento adecuado del sistema de termoformado en el prototipo.

Diseño en SolidWorks: Utilizando un software de diseño CAD en 3D, se desarrolla el diseño mecánico del prototipo. Este proceso permite identificar los mecanismos, materiales y accesorios necesarios para su implementación, así como establecer las funcionalidades de movimiento del prototipo. Una vez que el diseño está definido, se realiza un análisis estático para verificar la funcionalidad de los mecanismos y validar el diseño antes de su implementación.

Diseño del proceso: Se selecciona los componentes del prototipo teniendo en cuenta los requisitos de funcionamiento establecidos, así como considerando la compatibilidad, escalabilidad y la conexión entre ellos. Con el fin de diseñar el proceso continuo de la máquina.

Construcción mecánica del prototipo: Una vez verificado el diseño, se construye e integra la estructura mecánica del prototipo, de igual manera la disposición de los equipos seleccionados. Además, se lleva a cabo la fabricación de una tarjeta electrónica para asegurar su funcionamiento operativo.

Conexión de hardware: Durante esta fase, se interconectan todos los componentes del prototipo siguiendo un esquema de conexiones previamente planificado. Estas conexiones se realizan dentro de un contenedor adecuado para garantizar la integridad de los componentes.

Programación: Culminada la conexión de todos los equipos se efectúa la programación de cada etapa del sistema, iniciando con la alimentación de láminas mediante un sistema robótico de transporte, control de actuadores y sistemas neumáticos, así como el diseño de una interfaz gráfica para verificar el estado del sistema durante todo el proceso.

Pruebas de funcionamiento: Finalmente con el prototipo implementado se realiza un periodo de pruebas para calibrar los mecanismos y afinar la programación en condiciones reales de operación permitiendo recrear el proceso de termoformado.

3.5. Parámetros de diseño del sistema

La implementación de un sistema automatizado de termoformado de valvas de férulas antebraquiales centra su funcionamiento en la implementación de un prototipo que recree las condiciones de operación básica de una termoformadora, haciendo uso de un escenario para el almacenamiento de planchas termoformables, estación de termoformado de las planchas y despacho del productor termoformado, por tal motivo se consideró aspectos de relevancia en el diseño previo a realizar la implementación.

3.5.1. Requerimientos del prototipo

3.5.1.1. Tipo de termoformado

- Seleccionar el tipo de termoformado para construir la estructura de la máquina.

3.5.1.2. Estructura

- Construir un sistema de soporte estructural mediante materiales de construcción metálica, que ayude a dar estabilidad a todo el sistema de fabricación de las valvas termoformadas.

3.5.1.3. Etapa 1: Materia prima

- Seleccionar el polímero más adecuado para la elaboración de férulas antebraquiales.

- Implementar un sistema robótico electromecánico que permita el desplazamiento horizontal, para el transporte de la materia prima a través de las distintas estaciones de elaboración.
- Adecuar todo el sistema de producción con sensores y actuadores que permitan realizar el proceso de manera automática y sin interrupciones.
- Implementar un sistema neumático que permita realizar un movimiento vertical. Este permite la sujeción y desplazamiento de la plancha de plástico.

3.5.1.4. *Etapa 2: Termoformado*

- Realizar valvas de férulas antebraquiales mediante la acción de termoformado.
- Elaborar un sistema de transmisión de calor, con el objetivo de calentar la plancha termoplástica hasta el punto óptimo para el termoformado.
- Implementar un sistema neumático que permita realizar los movimientos tanto verticales como horizontales. El vertical corresponde al marco de sujeción y el horizontal al sistema de transmisión de calor.

3.5.1.5. *Etapa 3: Producto Terminado*

- Despachar el producto de la estación de termoformado hacia la estación de producto terminado.

3.5.1.6. *Módulo de desarrollo*

- Realizar la compatibilidad con tarjetas de desarrollo, sensores y actuadores de distintos fabricantes.
- Gestionar las señales provenientes de sensores para interactuar con los actuadores del sistema.
- Crear una plataforma para las aplicaciones informáticas.

3.5.1.7. *Interfaz gráfica*

- Incorporar elementos visuales que muestren en tiempo real los procesos llevados a cabo por el sistema.
- Supervisar el estado actual del sistema.
- Permitir la introducción de datos relacionados con el número de pedidos.

3.5.2. Método de formado

Como se analizó en el capítulo anterior, existen 3 métodos principales para termoformar un polímero: termoformado al vacío, termoformado a presión y termoformado mecánico. Sus detalles técnicos se encuentran en la sección 2.4.2.

Los criterios principales considerados fueron:

- **Relieve:** Se busca obtener moldes tridimensionales con distintos elementos que sobresalgan o se adentren en su estructura.
- **Seguridad:** Al emplear diversos métodos para moldear la lámina, se deben considerar precauciones específicas para evitar posibles daños o lesiones durante el proceso.
- **Equipos necesarios:** Cada técnica de formado requiere una serie de equipos particulares para su ejecución. Sin embargo, se busca simplificar el proceso, por lo que no sería apropiado optar por equipos demasiado complicados o sofisticados.

Véase en la tabla 3-1 los criterios de selección para el método de formado.

Tabla 3-1: Selección del método de formado

Criterios	Termoformado al vacío	Termoformado a presión	Termoformado mecánico
Relieve	Cumple	Cumple	Cumple
Seguridad	Buena	Buena	Buena
Equipos	Bajo	Medio	Alto

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

De acuerdo con lo descrito en los requerimientos del prototipo, se optó por emplear un sistema de formado al vacío, puesto que, en el criterio de equipos, marca una diferencia a comparación de los demás sistemas de termoformado, es decir, implica un menor uso de equipos, lo que tendrá un impacto positivo dentro de los costos del sistema de producción final, además de que cumple lo necesario para formar una valva de férula antebraquial de manera segura y óptima.

3.5.2.1. Funcionamiento

El proceso se inicia con la sujeción de la lámina de plástico, posterior se realiza un calentamiento controlado. Una vez que alcanza la temperatura óptima, la lámina obtiene su estado de pandeo, indicando que está en su punto óptimo para el termoformado. Posterior, se lleva a cabo el conformado mediante el uso de vacío. Véase en la ilustración 3-11.

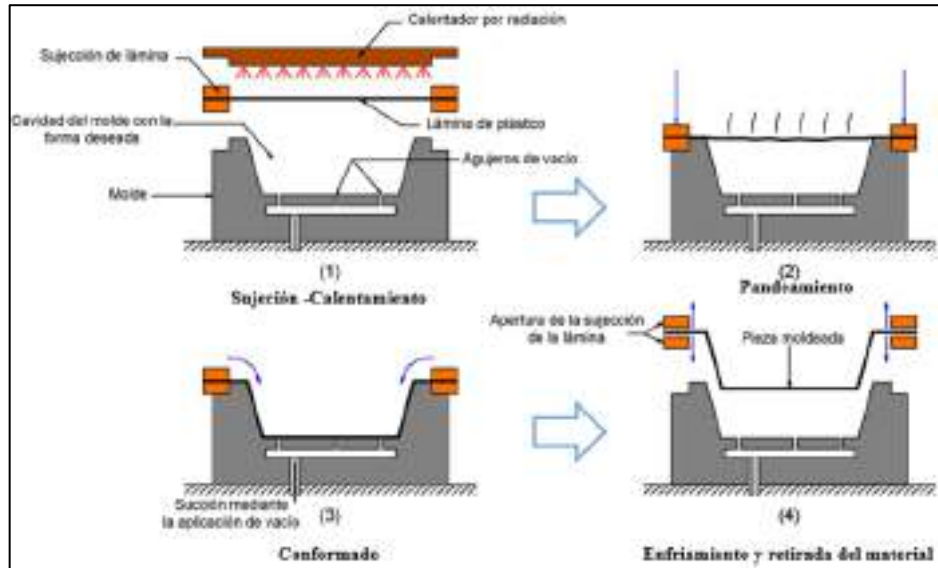


Ilustración 3-2: Pasos para el proceso de conformado al vacío

Fuente: (Betaplast, 2022)

3.5.3. *Arquitectura del prototipo*

La ilustración 3-2 se muestra la arquitectura del prototipo de estación automatizada de termoformado para la elaboración de valvas de férulas antebraquiales a implementarse donde se considera un sistema de bloque macro en el que se identifican tres etapas cada una con subetapas que definen los componentes necesarios y así establecer el funcionamiento del prototipo a fin de cumplir con los objetivos establecidos.

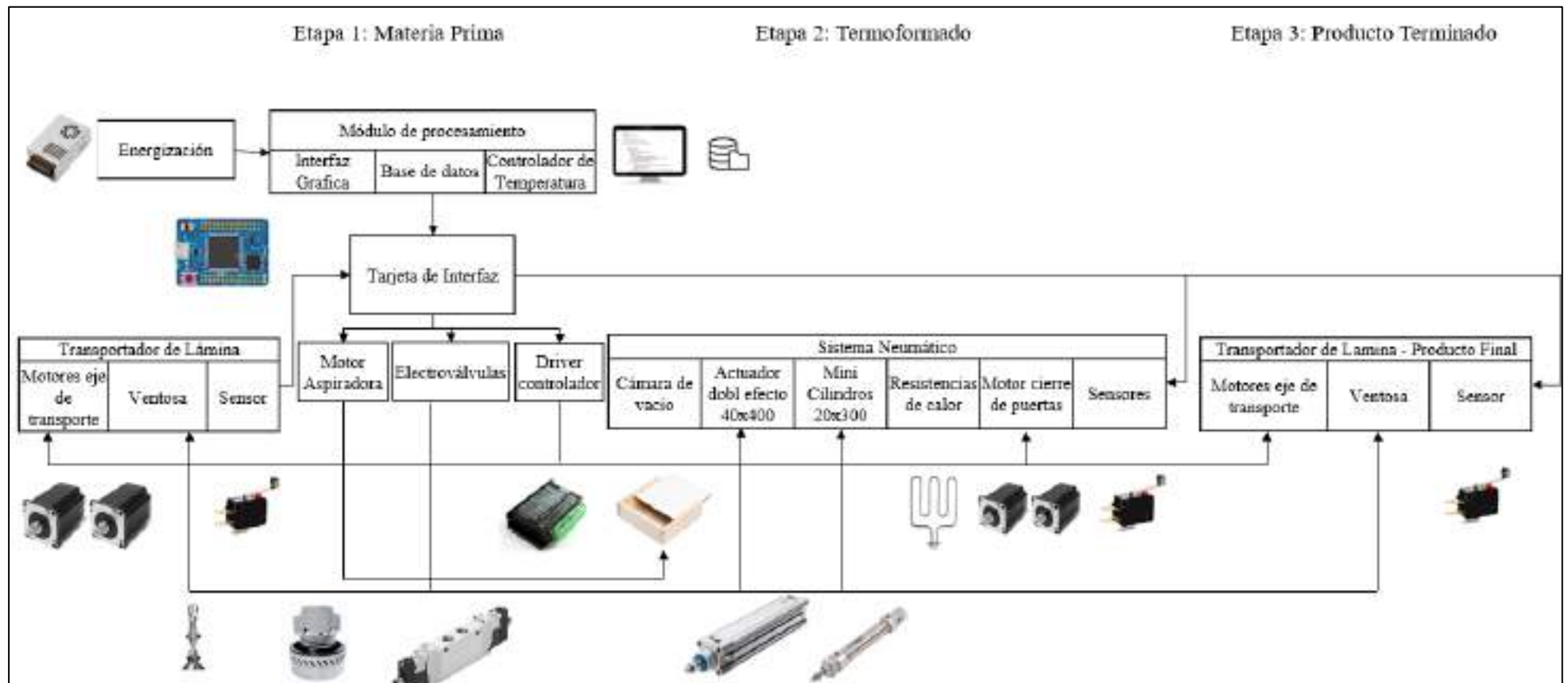


Ilustración 3-3: Arquitectura del Prototipo

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

Etapa 1:

Materia Prima: En esta etapa se ingresa la lámina termoformable mediante un sistema transportador para su posterior tratamiento de termoformado.

- Etapa de energización: Se suministra la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento completo del prototipo a través de una fuente de voltaje.
- Etapa de módulo de procesamiento: En esta etapa se tiene un módulo en el que se desarrolla el algoritmo de interfaz gráfica y base de datos, permitiendo procesar la información generada por el accionamiento del prototipo.
- Etapa tarjeta de interfaz: Esta etapa actúa como un vínculo de conexión entre el módulo de procesamiento, permitiendo así el control de los elementos del sistema.
- Etapa *driver* controlador: Esta fase está compuesta por controladores que tienen la capacidad de dirigir el funcionamiento de motores actuadores que requieren una corriente elevada, con el propósito de salvaguardar la integridad del módulo y la tarjeta de interfaz.
- Etapa de transporte de lámina: Se conforma por un sistema de transporte mediante la sujeción de la ventosa y transporte por medio de accionamiento de motores y sensores, que permite llegar a la siguiente etapa.

Etapa 2:

Termoformado: En esta etapa se realiza el proceso de termoformado a través de un sistema motriz seguido del accionamiento neumático y posterior generación al vacío.

- Etapa de compresor: En esta etapa se encuentra un compresor el cual es el responsable de suministrar aire comprimido a los actuadores neumáticos del sistema.
- Etapa de sistema neumático: En esta etapa se realizará el proceso de termoformado de la lámina, iniciando con el cierre de las compuertas accionadas mediante motores; posterior, se accionan los actuadores neumáticos en conjunto con las resistencias del sistema de calentamiento y por último la generación al vacío para lograr la forma requerida mediante el molde. Este proceso se manejará mediante sensores y pasos de los motores.

- Etapa de motor aspiradora: Esta fase se compone de una aspiradora responsable de accionar el sistema al vacío del proceso de elaboración del producto termoformado.

Etapa 3:

Producto terminado: En esta etapa es donde se finaliza el proceso, la cual consiste en el transporte de la lámina de su anterior etapa a esta, mediante el accionamiento de la ventosa y el sistema de transporte.

- Etapa de transporte de lámina – Producto final: Se conforma por un sistema de transporte mediante la sujeción de la ventosa y posterior desplazamiento por medio de motores y sensores, que permite ejecutar la última etapa del proceso.

3.5.4. Descripción del funcionamiento esperado del prototipo

Todos los componentes deben estar situados en la posición inicial para que la máquina funcione, es decir, cilindros con el pistón retraído, el sistema de sujeción en la posición inicial y las compuertas abiertas. Se digitaliza el tiempo de calentamiento a través del panel de control y la temperatura a trabajar en el controlador de temperatura. Luego se presiona el botón de inicio y las operaciones se detallan a continuación.

- El sistema de transporte toma una plancha de polipropileno de la caja de almacenamiento y la traslada al área de sujeción.
- Los cilindros del sistema de sujeción se extienden hasta su posición media, es decir 50mm.
- El sistema de transporte deja la plancha y regresa a su posición inicial.
- Las compuertas del sistema de sujeción se cierran.
- Los cilindros del sistema de sujeción y calefacción se extienden en su totalidad.
- Se espera el tiempo de calentamiento digitado.
- Los cilindros del sistema de sujeción y calefacción se retraen completamente.
- Se realiza el formado mediante el vacío de la aspiradora.
- Las compuertas del sistema de sujeción se abren.
- El sistema de sujeción se dirige a la zona media, toma la plancha de polipropileno y transporta al área de producto terminado.

3.6. Modelado CAD de la estructura del prototipo

Establecido los parámetros de diseño, en primer lugar, se inicia con el diseño mecánico de las componentes estructurales principales del prototipo.

3.6.1. Primera fase

3.6.1.1. Sistema estructural

El diseño estructural de la máquina se estableció por sistema de armado de tubo estructural Norma ASMT A-500 de 1,25 in x 1,2 mm. Esta elección se fundamenta en las aplicaciones primordiales de este tipo de acero, tales como construcciones soldadas, atornilladas y remachadas, así como propósitos estructurales generales. La selección considera además la disponibilidad en el mercado local y la versatilidad de este tubo, que puede presentarse en formas como secciones cuadradas, rectangulares u otras, adaptándose de manera adecuada a los requerimientos específicos del proyecto según información proporcionada por AHMSA (2013 págs. 2-4).

Véase en la ilustración 3-3 el tubo estructural Norma ASMT A53 y la estructura de la máquina.



Ilustración 3-4: Primera fase de diseño

Fuente: (DIPAC, 2021)

3.6.2. Segunda fase

3.6.2.1. Sistema de transporte

Una vez establecido el sistema estructural, que servirá como base para toda la implementación, se diseñó el sistema de transporte de la materia prima, compuesto por dos ejes de perfilado de aluminio con dimensiones de 20mm x 40mm. La elección de este perfil se fundamenta en su forma anodizada, que proporciona una medida precisa para el recorrido de las ruedas, así como en su ligereza y resistencia. Además, se evaluó su disponibilidad en el mercado local. Dado su formato estándar, se adapta a los requerimientos específicos del proyecto y cumple con las expectativas para la configuración de ciertas áreas de la máquina. Este diseño, junto con un sistema robótico de transporte mediante motores NEMA, es responsable de ejercer el movimiento en el eje X, con una longitud de 1360mm.

Véase en la ilustración 3-4 el sistema de transporte.

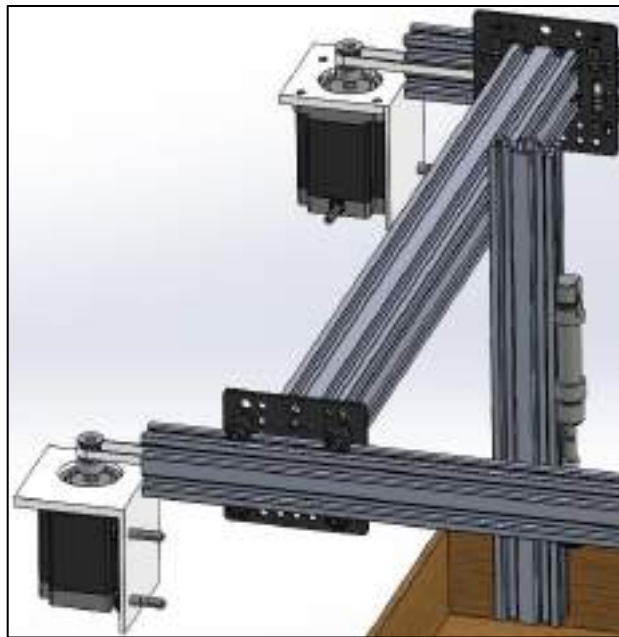


Ilustración 3-5: Sistema de transporte

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

3.6.2.2. *Caja de almacenamiento*

Considerando la sección anterior, se diseñó una caja de almacenamiento de madera con dimensiones de 300 mm x 300 mm y un espesor de 5 mm, la cual alimentará la máquina con la materia prima mediante un sistema de empuje mediante un resorte.

Véase en la ilustración 3-5 la caja de almacenamiento.



Ilustración 3-6: Caja de almacenamiento

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

3.6.2.3. *Sujeción por ventosa neumática*

El sistema de sujeción de la lámina de termoformado para su transporte se diseñó mediante una ventosa neumática, la cual estará sujeta a un cilindro neumático con el objetivo de desplazar la ventosa hasta que haga contacto con la lámina. Todo esto estará ensamblado a un perfil de aluminio de 40 mm x 40 mm para garantizar una sujeción adecuada.

Véase en la ilustración 3-6 el sistema de sujeción por ventosa.

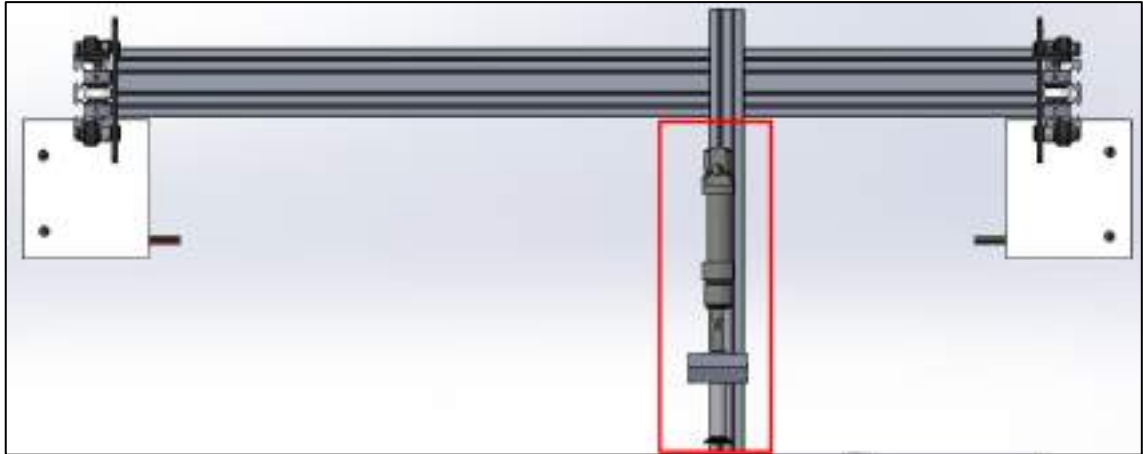


Ilustración 3-7: Sujeción por Ventosa

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

3.6.3. Tercera fase

3.6.3.1. Sistema de sujeción

Una vez establecida las medidas de la lámina de termoformado a tratar, se estableció las medidas del sistema de sujeción, el cual cosnsta de un marco como base conformador por un sistema de armado de tubo estructural norma ASMT A-500 de 1 in x 1,2 mm, de igual manera las compuestas de sujeción se fabricó a partir del mismo material, estas son accionadas tanto para abrir y cerrar las compuertas, mediante un sistema mecánico accionado por medio de motores NEMA. El marco de sujeción será expuesto a un movimiento vertical, este se dará mediante el accionamiento de cilindros neumáticos de 20mm x 300mm, acoplados a sus extremos.

Véase en la ilustración 3-7 el sistema de sujeción.

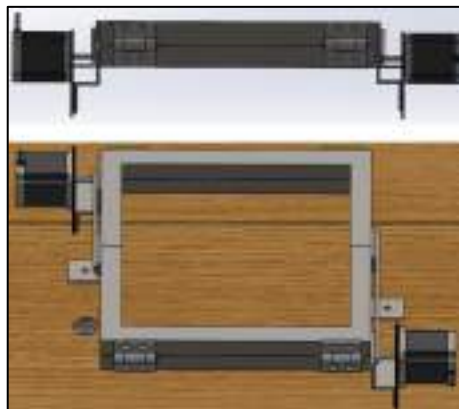


Ilustración 3-8: Sistema de sujeción.

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

3.6.3.2. *Cámara de vacío*

Se diseñó una cámara de vacío de 280 mm x 280 mm, a partir de madera de 10 mm de espesor, la misma consta con orificios en su parte superior de 1.2mm de diámetro y un orificio en su parte inferior lo que permitirá el acople de la aspiradora que realizará la acción de vacío en la caja hermética.

Véase en la ilustración 3-8 la cámara de vacío.

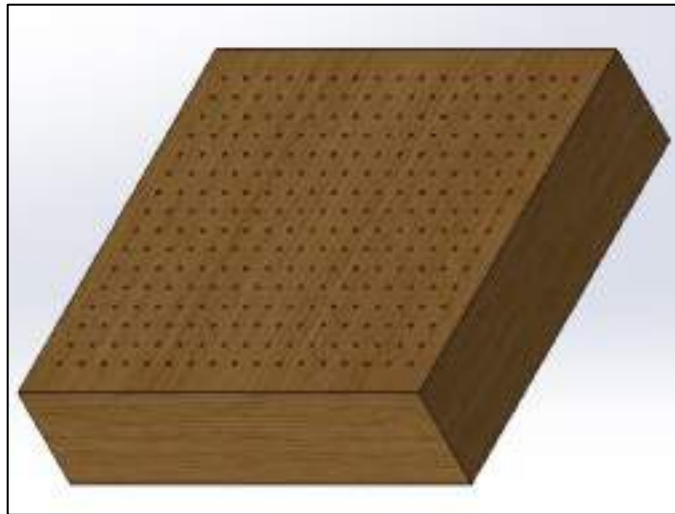


Ilustración 3-9: Cámara de vacío

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

3.6.3.3. *Sistema de calentamiento*

Se diseñó con un sistema de armado de tubo estructural norma ASMT de 1 in x 1,2 mm, al cual se le acoplaron 4 rodamientos con un diámetro interno de 12 mm, estos se ensamblan al marco mediante tornillos con el mismo diámetro. Se hará uso de una plancha de acero NORMA ASTM A5830 de 1.1mm como tapa del marco. Este sistema de calentamiento será expuesto a un movimiento horizontal, el cual será efectuado mediante un cilindro neumático de 32mm x 400 mm acoplado al marco mediante una placa de 50mm x 120mm.

Véase en la ilustración 3-9 el sistema de calentamiento.



Ilustración 3-10: Sistema de calentamiento.

Fuente: (DIPAC, 2023, pág. 13)

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

3.6.4. Fase final de diseño

Después de tener el diseño de todos los componentes que conforman el prototipo, se realizó el ensamble de todas las piezas (véase en la ilustración 3-10). Finalmente, al cumplir con todos los requerimientos para que el diseño mecánico funcione de manera correcta se obtiene un diseño final del prototipo. Para lo relacionado con los planos del prototipo final observar en el Anexo N.

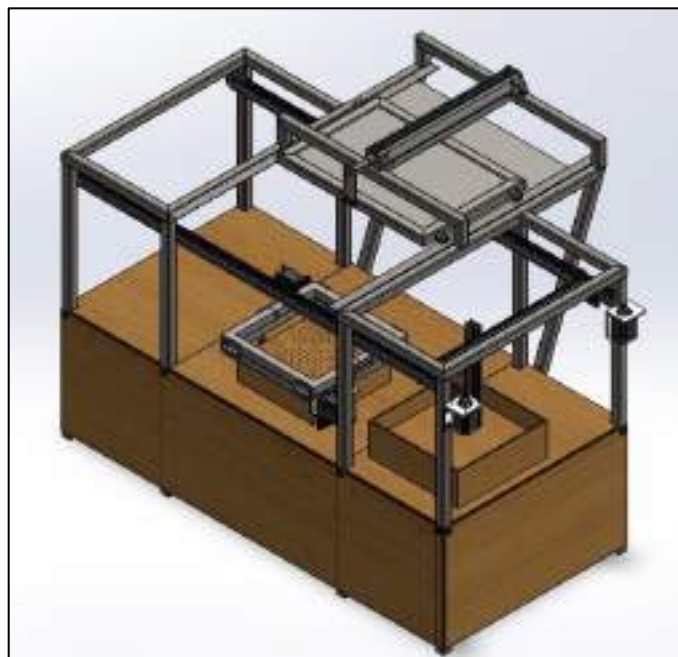


Ilustración 3-11: Prediseño de máquina de termoformado.

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

3.7. Diseño del proceso

3.7.1. Análisis de estructura

Una vez seleccionado el método de termoformado y su modelo CAD se obtuvo como estructura de la máquina con las dimensiones finales, como se muestra en la ilustración 3-12. A la cual se le realizarán análisis para determinar si su dimensionamiento y materiales son los correctos.



Ilustración 3-12: Diseño de Estructura.

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

3.7.1.1. Cálculo de Vigas

Al realizar el análisis, se determinó que el peso que la estructura soportará será insignificante en términos generales. Sin embargo, para fines de cálculo, se supondrá una carga adicional de 100 kilogramos para contemplar posibles cargas imprevistas. Se ha identificado que la viga crítica será aquella que esté expuesta a más esfuerzos, ya que experimentará una mayor deformación. Por lo tanto, se ha elegido la viga (BC) como referencia para dimensionar el resto de los componentes de la estructura, ya que, esta se encarga de sostener el área de calentamiento siendo una de las áreas que mayor fuerza puntual, como se ilustra en la vista lateral del diseño.

Véase en la ilustración 3-13 la vista lateral alámbrica estructural para el cálculo de las vigas.

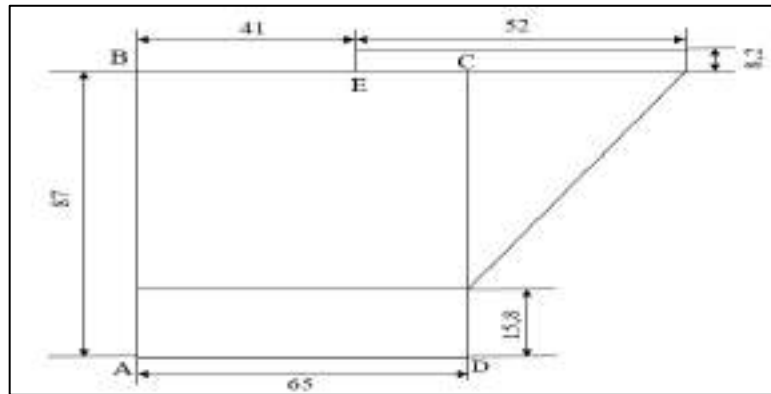


Ilustración 3-13: Vista lateral alámbrica estructural para cálculo de vigas.

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

Se realizaron los cálculos que permitió determinar el ancho H y el espesor del tubo, para lo cual se hizo uso de un solo claro $AB\ BC\ CD$ (véase en la ilustración 3-14) que soportará el peso total de $100\ Kg$.

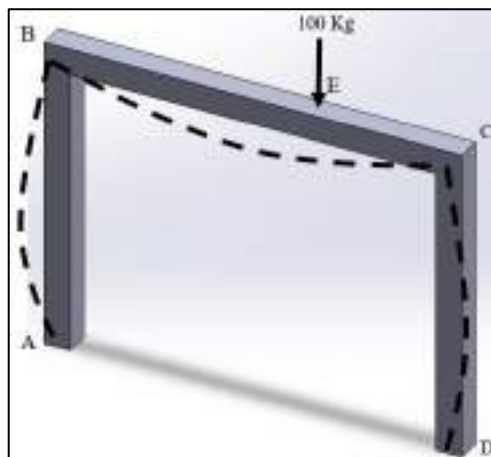


Ilustración 3-14: Marco principal ABCD

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

Se utilizó el método de pendiente-deflexión, denominado de esta manera debido a que establece una relación entre las pendientes y las deflexiones desconocidas con la carga aplicada sobre la estructura (Hibbeler, 2012, pág. 457). Los claros A y D están apoyados de manera fija, por lo que se emplea la siguiente ecuación:

Ecuación 3-1. Ecuación general de pendiente-deflexión

$$M_N = 2Ek(2\theta_N + \theta_F - 3\Psi) + (FEM)_N$$

Fuente: (Hibbeler, 2012, pág.457)

Donde:

- M_N = momento interno.
- E, k = módulo de elasticidad del material y rigidez del claro. $k = 1/L$
- θ_N, θ_F = desplazamiento angular del claro en los soportes.
- Ψ = rotación de la cuerda del claro.
- $(FEM)_N$ = momento del extremo fijo.

Se necesitó encontrar los momentos de extremo fijo. En la ilustración 3-15 se observa la relación de las medidas entre la fuerza y los soportes:

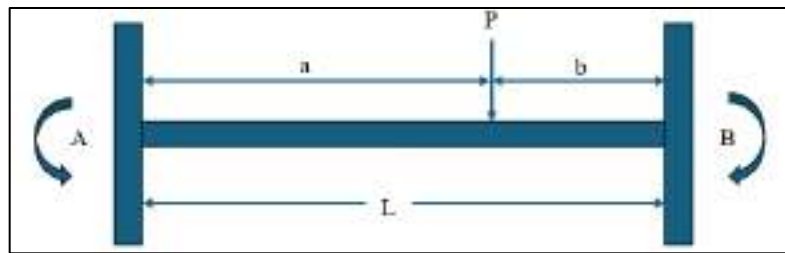


Ilustración 3-15: Momento de extremo fijo.

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

Se determinó la ecuación para encontrar los momentos de extremo fijo, basada en la ilustración 3-13 es la siguiente:

Ecuación 3-2. Momentos de extremo fijo

$$(FEM)_{AB} = \frac{Pb^2a}{L^2}$$

Fuente: (Hibbeler, 2012, contraportada)

Considerando las tres vigas AB, BC y CD, fijamente apoyadas en A y D, se aplicó la ecuación 3-2 o para BC:

$$(FEM)_{BC} = -\frac{100 \text{ Kg}(24\text{cm})^2(41\text{cm})}{(65\text{cm})^2} = -558,960 \text{ kg.cm}$$

$$(FEM)_{CB} = \frac{100 \text{ Kg}(41\text{cm})^2(24\text{cm})}{(65\text{cm})^2} = 954,887 \text{ kg.cm}$$

Cabe notar que $\theta_A = \theta_D = 0$ y que $\Psi_{AB} = \Psi_{BC} = \Psi_{CD} = 0$, debido a que no se producirá un movimiento lateral.

Al aplicar la Ecuación 3-1, se tiene:

$$M_{AB} = 2E \left(\frac{I}{87} \right) (2(0) + \theta_B - 3(0)) + 0$$

$$M_{AB} = 0,022EI\theta_B \quad (1)$$

$$M_{BA} = 2E \left(\frac{I}{87} \right) (2(\theta_B) + 0 - 3(0)) + 0$$

$$M_{BA} = 0,045EI\theta_B \quad (2)$$

$$M_{BC} = 2E \left(\frac{I}{65} \right) (2(\theta_B) + \theta_C - 3(0)) - 558,960$$

$$M_{BC} = 0,031EI\theta_C + 0,062EI\theta_B - 558,960 \quad (3)$$

$$M_{CB} = 2E \left(\frac{I}{65} \right) (2(\theta_C) + \theta_B - 3(0)) + 954,887$$

$$M_{CB} = 0,031EI\theta_B + 0,062EI\theta_C + 954,887 \quad (4)$$

$$M_{CD} = 2E \left(\frac{I}{87} \right) (2(\theta_C) + 0 - 3(0)) + 0$$

$$M_{CD} = 0,045EI\theta_C \quad (5)$$

$$M_{DC} = 2E \left(\frac{I}{87} \right) (2(0) + \theta_C - 3(0)) + 0$$

$$M_{DC} = 0,022EI\theta_C \quad (6)$$

Se obtuvo como resultado seis ecuaciones con ocho incógnitas. Las dos ecuaciones restantes necesarias, se determinaron a partir del equilibrio de momentos en las esquinas del marco tanto en B y en C, como se muestra en la ilustración 3-16.

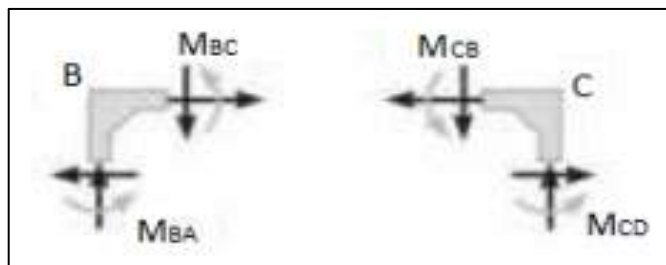


Ilustración 3-16: Equilibrio de momentos en juntas

Fuente: (Hibbeler, 2012, pág.471)

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

$$M_{BA} + M_{BC} = 0 \quad (7)$$

$$M_{CB} + M_{CD} = 0 \quad (8)$$

De esta manera sustituyen las ecuaciones (2) y (3) en la ecuación (7), y las ecuaciones (4) y (5) en la (8). Se obtuvo como resultado:

$$0,031EI\theta_C + 0,107EI\theta_B = 558,960$$

$$0,107EI\theta_C + 0,031EI\theta_B = -954,887$$

Se resolvió despejando una de las variables y obtuvimos como resultado que $EI\theta_C = -11394,04$ y $EI\theta_B = 8525$, de esta manera, sustituyendo estos valores en las ecuaciones (1) y (6) se obtiene:

$$M_{AB} = 187,55$$

$$M_{BA} = 383,63$$

$$M_{BC} = -383,63$$

$$M_{CB} = 512,73$$

$$M_{CD} = -512,73$$

$$M_{DC} = -250,67$$

Con estos datos, se puede representar gráficamente el diagrama de fuerzas que actúan en la viga BC, como se muestra en la ilustración 3-17.

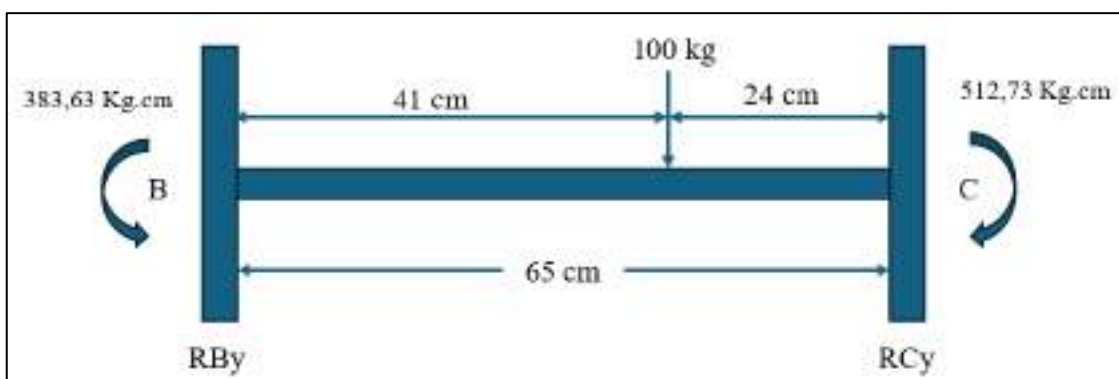


Ilustración 3-17: Diagrama de fuerzas de viga BC

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

En base a este diagrama, se realizó el cálculo de las reacciones existentes, para lo cual, se tomó como punto de referencia el punto B para realizar la sumatoria de momentos.

$$\sum M_B = 0 \cup$$

$$383,63 - 100(41) - 512,73 + RCy(65) = 0$$

$$RCy = 65,063 \text{ Kg}$$

Después se sumó las fuerzas en el eje Y:

$$\sum F_y = 0$$

$$RBy - 100 + RCy = 0$$

$$RBy = 34,937 \text{ Kg}$$

Ya con los resultados obtenidos, se realizó los diagramas de cortes (véase en la ilustración 3-18) y momentos (véase en la ilustración 3-19).

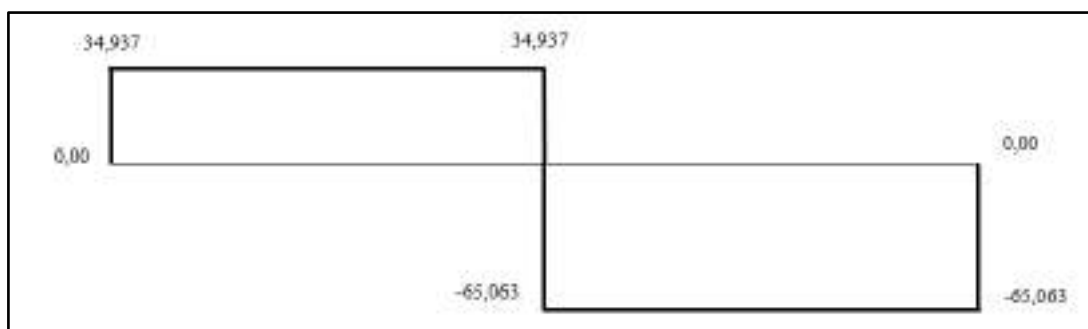


Ilustración 3-18: Diagrama de vigas BC - kg

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

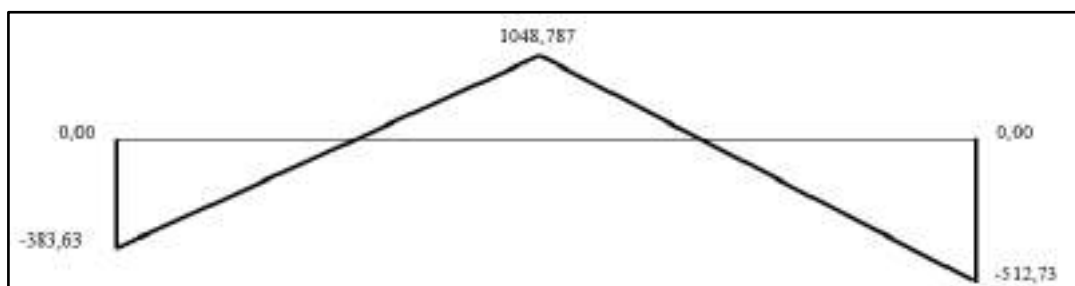


Ilustración 3-19: Diagrama de momentos en la viga BC - kg cm

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

En base al diagrama de momentos, se determinó que el máximo momento de flexión que va a soportar la viga:

$$M_{max} = 1048,787 \text{ Kg. cm}$$

A continuación, se realizó el cálculo del ancho (H) y el espesor del tubo estructural cuadrado donde se utilizó la ecuación 3-3 del apartado del módulo de sección necesario.

Ecuación 3-3. Módulo de sección requerido

$$S = \frac{M}{\sigma_d}$$

Fuente: (Mott, 2006, pág.19)

Donde:

S = módulo de sección.

M = momento máximo.

σ_d = esfuerzo de diseño.

De acuerdo con Mott (2006, pág. 19), se establece que el esfuerzo de diseño recomendado para un acero estructural (σ_d) es de 30,000 psi (equivalente a 2,109.209 kilogramos por centímetro cuadrado). Con este dato, y considerando el momento máximo (1048,787 kilogramos por centímetro), se determinó el módulo de sección requerido.

$$S = \frac{1048,787 \text{ kg. cm}}{2109,209 \text{ kg/cm}^2} = 0,4972 \text{ cm}^3$$

Se dispuso de una ecuación del módulo de sección requerido que relaciona otras variables:

Ecuación 3-4. Módulo de selección requerido

$$S = \frac{I}{c}$$

Fuente: (Mott, 2006, pág.106)

Donde:

S = Módulo de sección.

I = Momento de inercia del área transversal.

c = Distancia del eje neutro a la fibra más alejada.

Donde el momento inercial (I) del área transversal para un tubo cuadrado hueco, como se muestra en la ilustración 3-20, expresa de la siguiente manera.

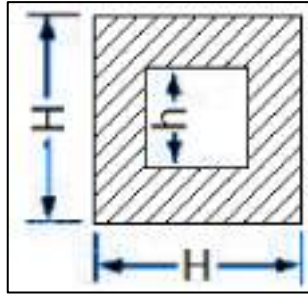


Ilustración 3-20: Sección transversal de tubo cuadrado hueco

Fuente: (Brusil. E, 2016, pág. 84)

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Ecuación 3-5. Momento de inercia para una sección cuadrada hueca

$$I = \frac{H^4 - h^4}{12}$$

Fuente: (Engineers Edge, 2009, párr. 3)

La distancia del eje a la fibra extrema (c) se muestra en la siguiente ecuación:

Ecuación 3-6. Distancia de eje a la fibra extrema

$$c = \frac{H}{2}$$

Fuente: (Engineers Edge, 2009, párr. 3)

En base a esto, se reemplazó la ecuación (3-6) y (3-5) en la ecuación (3-4), resulta:

$$S = \frac{(H^4 - h^4)/12}{\frac{H}{2}} = \frac{H^4 - h^4}{6H}$$

De la ecuación (3-3) se obtuvo como resultado $S = 0,4972 \text{ cm}^3$. Si se sustituye este dato en la última ecuación obtenida, se tiene que:

$$0,4972 = \frac{H^4 - h^4}{6H}$$

$$h^4 = H^4 - 2,98H$$

Se requirió realizar una suposición inicial para calcular posteriormente el espesor del perfil. Por ende, se seleccionó un tubo de 1¼ pulgadas (equivalente a 3,175 centímetros), medida estándar disponible en el mercado (consultar Anexo A). El procedimiento para calcular su espesor fue el siguiente:

$$h = \sqrt{3,175^4 - 2,98(3,175)}$$

$$h = 3,098$$

$$e = H - h = 3,175 - 3,098$$

$$e = 0,077 \text{ cm} \approx 0,77 \text{ mm}$$

El espesor mínimo necesario es de 0,77 milímetros para un tubo de 1¼ pulgadas. Se empleó por tanto un tubo de 1.2 milímetros de espesor para las vigas de la máquina (basado en el Anexo A) asegurando así la estabilidad, firmeza, durabilidad y seguridad de la estructura.

3.7.1.2. Cálculo de Columnas

A continuación, se efectuó los cálculos para determinar el ancho y el espesor de las columnas en la máquina. Se seleccionó la columna CD (ver ilustración 3-21) para este análisis, ya que se estima que es la columna que soporta la carga más significativa en la máquina. Se llevó a cabo un diseño que aborde la inestabilidad elástica, el pandeo y la flexión, con una carga aplicada de manera central en las columnas. Según Mott (2006, pág.234), el propósito del análisis y diseño de las columnas es asegurar que la carga aplicada a una columna sea segura y considerablemente menor que la carga crítica de pandeo.

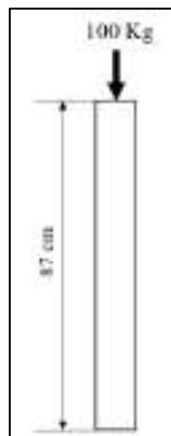


Ilustración 3-21: Columna CD

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Para iniciar el diseño, se partió del supuesto de que la columna es de longitud considerable, por lo que se emplea la fórmula alternativa de Euler.

Ecuación 3-7. Formula de Euler alternativa

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$$

Fuente: Fuente: (Mott, 2006, pág. 235)

Donde:

P_{cr} = Carga crítica de pandeo.

E = Módulo de elasticidad.

I = Momento de inercia de la sección transversal.

K = Constante que depende del extremo fijo.

L= Longitud real de la columna.

El módulo de elasticidad para todos los tipos de aceros al carbón y aleados es de 207 GPa (Consultar Anexo B), equivalente a 2,110,812.560 kg/cm². El valor de K, según se indica en la ilustración 3-22 para una configuración empotrada-empotrada, es de 0.65.

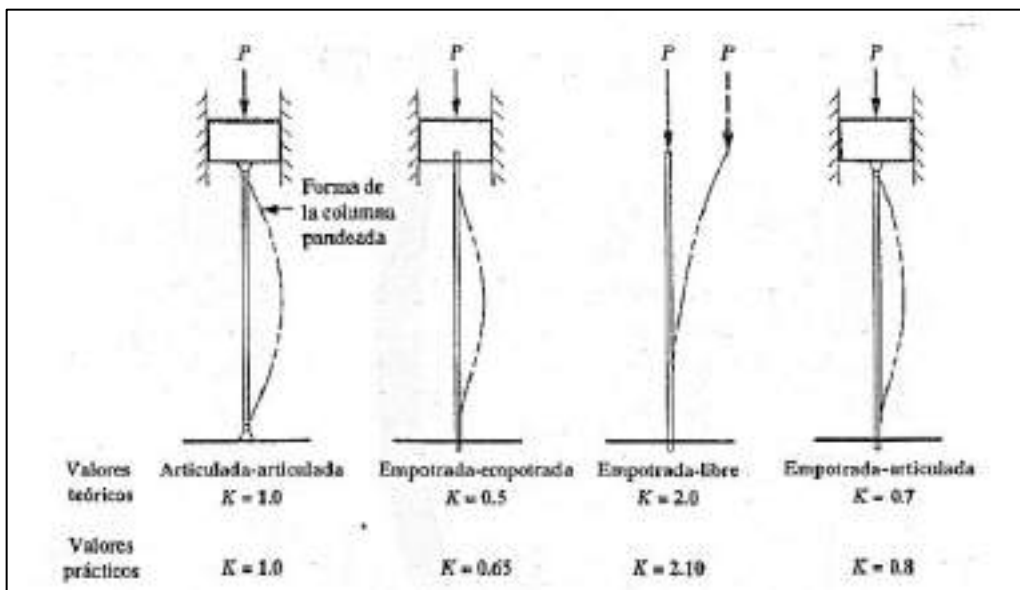


Ilustración 3-22: Valores k para obtener longitud efectiva

Fuente: (Mott, 2006, pág. 234).

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Se empleó también la carga admisible, haciendo uso de la ecuación 3-8:

Ecuación 3-8. Carga admisible

$$P_a = \frac{P_{cr}}{N}$$

Fuente: (Mott, 2006, pág. 238)

Donde:

P_a = carga admisible.

N = factor de diseño.

La carga admisible, en términos generales, se ajusta al valor de la carga máxima esperada; en este caso, fue de 100 kg. El factor de diseño recomendado, según Mott (2006, pág. 238), para columnas estacionarias con extremos empotrados bien definidos, es de 2.

En base a esto, se reemplaza la ecuación (3-8) en la ecuación (3-7) y se despeja el momento de inercia, teniendo como resultado:

$$I = \frac{P_a N (KL)^2}{\pi^2 E}$$

Al tratarse de una sección cuadrada hueca, se empleó la ecuación 3-5. Se obtuvo:

$$\frac{H^4 - h^4}{12} = \frac{P_a N (KL)^2}{\pi^2 E}$$

Sustituimos los datos conocidos

$$H^4 - h^4 = \frac{12 * 100kg * 2 * (0,65 * 84cm)^2}{\pi^2 * 2110812,560 \text{ kg/cm}^2}$$

$$H^4 - h^4 = 0,3434 \text{ cm}^4$$

Para comprobar si se ha seleccionado correctamente el método de diseño, se calculó la relación de esbeltez real KL/r , junto con el valor de la constante de columna C_C y se comparó sus resultados:

- Si KL/r es mayor que C_C , la columna es larga y se emplea la ecuación de Euler.
- Si KL/r real es menor que C_C , la columna es corta y se emplea la ecuación de J. B. Johnson (Mott, 2006, pág. 241).

Ahora, se calculó el área de la sección transversal, para su posterior uso en el cálculo del radio de giro:

Ecuación 3-9. Área de la sección transversal

$$A = H^2 + h^2$$

Fuente: (Mott, 2006, pág. 242)

Donde:

A = área de la sección transversal.

H = ancho exterior de la columna

h = ancho interior de la columna

Se escogió el valor deseado de $H = 1\frac{1}{4}$ pulgada (3,175 cm) de los catálogos y se calculó h a partir de la ecuación obtenida:

$$H^4 - h^4 = 0,3434 \text{ cm}^4$$

$$h = 3,172 \text{ cm}$$

Posterior se determinó el radio de giro de la sección transversal, para hallar la relación de esbeltez.

Ecuación 3-10. Radio de giro de la sección transversal

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Fuente: (Mott, 2006, pág. 244)

Donde:

r = radio de giro de la sección transversal.

I = momento de inercia de la sección transversal.

A = área de la sección transversal.

Remplazamos los valores conocidos en la ecuación 3-10

$$r = \sqrt{\frac{\frac{H^4 - h^4}{12}}{H^2 + h^2}} = \sqrt{\frac{H^2 + h^2}{12}}$$

$$r = \sqrt{\frac{3,175^2 + 3,172^2}{12}} = 1,296 \text{ cm}$$

Después de obtener el radio de giro, se calculó la relación de esbeltez.

Ecuación 3-11. Relación de esbeltez

$$\text{Relacion de esbeltez} = \frac{KL}{r}$$

Fuente: (Mott, 2006, pág.234)

Remplazamos los datos conocidos:

$$\text{Relacion de esbeltez} = \frac{0,65 * 84 \text{ cm}^2}{1,296 \text{ cm}}$$

$$\text{Relacion de esbeltez} = 42,129$$

Se determino la constante de la columna, para compararla con la relación de esbeltez:

Ecuación 3-12. Constante de la columna

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{s_y}}$$

Fuente: (Mott, 2006, pág.234)

Donde:

CC = constante de la columna.

E = módulo de elasticidad.

sy = resistencia a la fluencia

La resistencia a la fluencia para un tubo estructural según Mott (2006) es de 269 MPa (2743,037 Kg/cm²). Con esta información disponible, se cuenta con los elementos necesarios para determinar la constante de la columna.

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * 2110812,560 \text{ kg/cm}^2}{2743,037 \text{ Kg/cm}^2}}$$

$$C_c = 123,246$$

Al realizar la comparación se notó que $KL/r < CC$. Entonces la columna es corta, y se debe usar la fórmula de J. B. Johnson:

Ecuación 3-13. Fórmula de J.B. Johnson para columnas cortas

$$P_{cr} = A s_y \left[1 - \frac{s_y \left(\frac{KL}{r} \right)^2}{4\pi^2 E} \right]$$

Fuente: Fuente: (Mott, 2006, pág.241)

Se reemplaza la ecuación 3-8 en la ecuación 3-13 y obtenemos:

$$P_a N = (H^2 - h^2) s_y \left[1 - \frac{s_y \left(\frac{KL}{r} \right)^2}{4\pi^2 E} \right]$$

Se reemplazó los datos en la fórmula para obtener las dimensiones de la sección del tubo. Como anteriormente se realizó, se escoge un valor para posteriormente encontrar el espesor del perfil. Se escogió un tubo de 1¼ pulgada (3,175 cm), medida estándar existente en el mercado (Véase Anexo A). Entonces, el cálculo para su espesor es el siguiente:

$$100kg * 2 = (3,175^2 - h^2) * 2743,037Kg/cm^2 \left[1 - \frac{2743,037Kg/cm^2 \left(\frac{0,65 * 84 cm^2}{\sqrt{\frac{3,175^2 + h^2}{12}}} \right)^2}{4\pi^2 * 2110812,560 kg/cm^2} \right]$$

$$200 = (10,08 - h^2) * 2743,037Kg/cm^2 \left[1 - \frac{2743,037Kg/cm^2 * \frac{(0,65 * 84 cm^2)^2}{3,175^2 + h^2}}{4\pi^2 * 2110812,560 kg/cm^2} \right]$$

$$200 = (10,08 - h^2) * 2743,037Kg/cm^2 \left[1 - \frac{1}{0,8492 * (10,08 + h^2)} \right]$$

$$200 = (27649,813 - 2743,037h^2) \left[1 - \frac{1}{8,559 + 0,8492h^2} \right]$$

$$200 = (27649,813 - 2743,037h^2) \left[\frac{8,559 + 0,8492h^2 - 1}{8,559 + 0,8492h^2} \right]$$

$$200(8,559 + 0,8492h^2) = (27649,813 - 2743,037h^2)(7,559 + 0,8492h^2)$$

$$2329,387h^4 - 2575,765h^2 - 207293,137 = 0$$

Resolvemos la ecuación, obteniendo como resultado:

$$h = 3,162$$

De esta manera determinamos el espesor mínimo:

$$e = H - h = 3,175 \text{ cm} - 3,162 \text{ cm} = 0,013 \text{ cm} \approx 0,13 \text{ mm}$$

Por tanto, el espesor mínimo es de 0,13 milímetros, entonces, se utilizó tubos cuadrados de 1¼ pulgadas de ancho por 1,2 milímetros de espesor, basados en el Anexo A, asegurando así la estabilidad, firmeza, durabilidad y seguridad de la estructura.

3.7.1.3. *Análisis estático estructural*

Con el software SolidWorks Professional, se llevó a cabo un análisis estático de la estructura de la máquina con el objetivo de verificar el comportamiento de las vigas al enfrentar las cargas que experimentarían en condiciones reales. Se empleó una carga de 100 kilogramos en la superficie, para evaluar la resistencia de la estructura en su conjunto.

En la ilustración 3-23 se aprecia que el desplazamiento máximo posible en la estructura de la máquina es de 0,983 milímetros. Dado que este valor es bajo, se estableció que el diseño cumple con los requerimientos, siendo capaz de soportar las cargas sin manifestar problemas significativos.

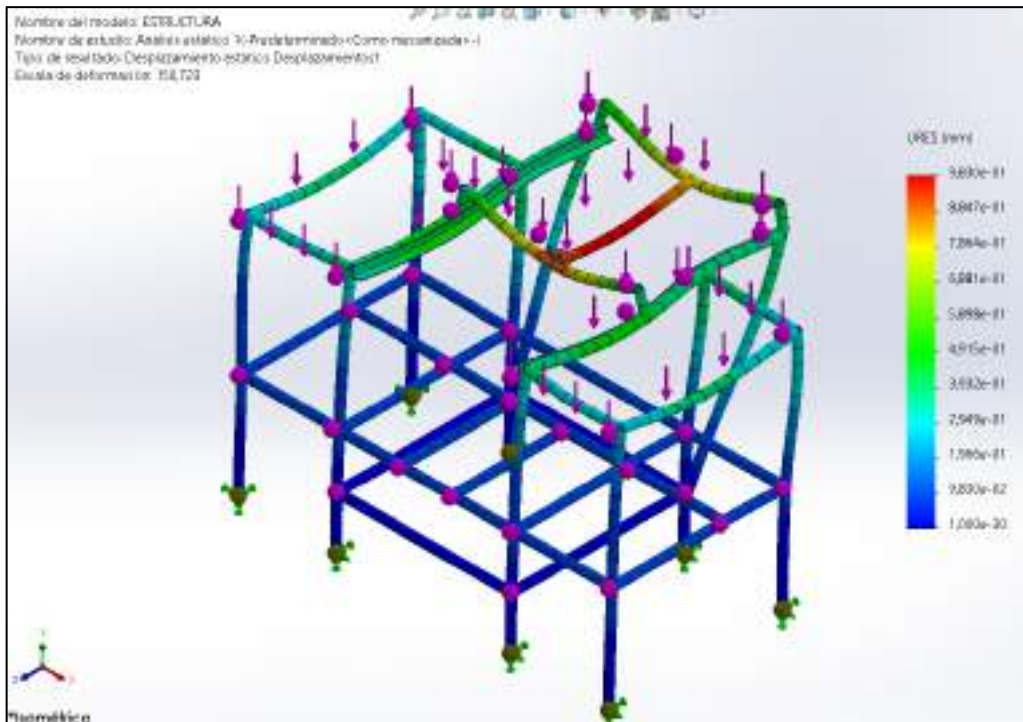


Ilustración 3-23: Resultante de desplazamiento estático de la estructura.

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

En la ilustración 3-24 se evidencia que el factor de seguridad mínimo del diseño de la estructura es de 4,1 lo que indica que las cargas estarán bajo control y la máquina tendrá estabilidad.

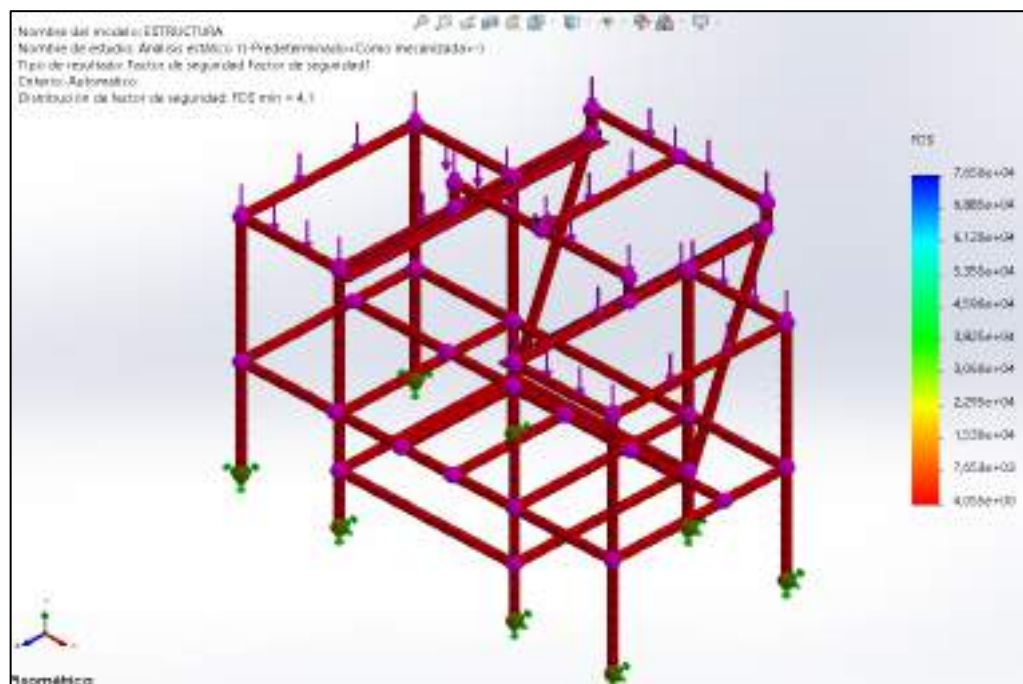


Ilustración 3-24: Resultante del factor de seguridad del análisis estático

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

3.7.2. *Materia prima*

Existe una variedad de polímeros aptos para el termoformado. Como ya se explicó anteriormente en la sección 2.3., los polímeros termoplásticos son idóneos para este procedimiento. En la tabla 2-1 se muestra los polímeros que se emplean comúnmente en el mercado. De todos estos, es frecuente el uso del polipropileno (PP) para la aplicación de valvas de férulas.

El material seleccionado para la articulación de la ortesis debe cumplir con requisitos específicos como alta resistencia mecánica, tenacidad, ligereza, biocompatibilidad y durabilidad. Asimismo, el revestimiento interior que esté en contacto con la articulación debe ser suave, transpirable, confortable y fácil de limpiar. En la fabricación de ortesis, se suelen emplear materiales metálicos como acero, aluminio o titanio, así como materiales no metálicos (polímeros) como polipropileno (PP), polietileno (PE), acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) o neopreno. También se utilizan compuestos como polímeros reforzados con fibra de vidrio o carbono. (Escuder, 2017, pág. V)

Existen directivas relativas al uso de materiales y objetos de plástico para realizar productos ortopédicos. Así, el Comité Internacional de la Cruz Roja (CICR) afirma que la tecnología del polipropileno se ha desarrollado de manera progresiva gracias a sus propiedades mecánicas y actualmente es posible producir componentes de polipropileno para todo tipo de órtesis de miembros inferiores y superiores. (CICR, 2009, pág. 5)

Con esta información, se buscó proveedores de este material en la zona sur del país, obteniendo varios contactos que ofrecen este producto. Por estos motivos, el material seleccionado fue el PP. Está disponible en espesor de: 1, 2, 3 y 4 milímetros. Se seleccionó el de 2 mm, por ser el óptimo en términos de peso en el producto final y el manejo de este en el sistema de producción.

3.7.2.1. *Datos técnicos del polipropileno (PP)*

El polipropileno, también conocido como PP, es una combinación química de carbono e hidrógeno. Es un termoplástico que se distingue por su capacidad para ser moldeado con facilidad.

Al ser sometido a procesos de moldeo y enfriamiento, el polipropileno recupera su consistencia inicial y mantiene la forma deseada, lo que lo hace versátil y adaptable a diversas aplicaciones.

En la tabla 3-2 se puede apreciar sus propiedades físicas, mecánicas, térmicas y de resistencia química.

Tabla 3-2: Propiedades del polipropileno

Propiedades Físicas	Valor	Unidad	Comentario
Gravedad específica (densidad)	0,91	g/cm^3	ASTM D792
Absorción de agua	$\leq 0,010$		Sumergido, 24hr; ASTM D570
Propiedades mecánicas (23°C)	Valor	Unidad	Comentario
Dureza	78	Shore D	ASTM D2240
Esfuerzo de tracción	33	MPa	ASTM D638
Módulo de tracción	1,31	GPa	ASTM D638
Alargamiento de rotura	400	%	ASTM D638
Esfuerzo de flexión	33,1	MPa	ASTM D790
Módulo de flexión	1,31	Gpa	ASTM D790
Esfuerzo de compresión	34,5	MPa	10 % de Deformación, ASTM D695
Módulo de compresión	1,38	GPa	ASTM D695
Ensayo de impacto Izod con entalle	0,641	J/cm	ASTM D256 Tipo A
Coefficiente de fricción dinámica	0,25		Seco vs. Acero; QTM55007
Maquinabilidad	3		Rango 1-10, 1 fácil de maquinar
Propiedades térmicas	Valor	Unidad	Comentario
Fusión	164	°C	Máximo cristalino; ASTM D3418
Calor específico	1800	J/Kg*K	
Emisividad	0,9		
Temperatura óptima de formado	446	°K	
Temperatura de termoformado	145-200	°C	
Máxima temperatura de servicio	82		Temperatura del aire continuo

Deflexión a 1.8 MPa	98		ASTM D648
Inflamabilidad	HB		Espesor 3.17 mm
Propiedades de Resistencia Química	Valor	Unidad	Comentario
Ácidos fuertes	Aceptable		pH 1-3
Ácidos débiles	Aceptable		
Alcohol	Aceptable		
Alcalinos fuertes	Aceptable		pH 11-14
Disolventes clorados	No Aceptable		
Exposición al sol constante	Limitada		
Agua caliente	Limitada		
Hidrocarburos alifáticos	No Aceptable		
Hidrocarburos aromáticos	No Aceptable		
Soluciones salinas inorgánicas	Aceptable		
Cetonas y esterres	No Aceptable		

Fuente: (Emacin, 2021, parr.1)

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

3.7.3. Bodega de almacenamiento

El sistema de almacenamiento se estableció por una caja hermética, en conjunto con un sistema de muelle de empuje de manera vertical, lo cual permite a las planchas estar siempre a la misma altura según se vayan despachando. En la ilustración 3-25 se observa el diseño.



Ilustración 3-25: Bodega de Almacenamiento

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

El tipo de muelle de empuje se estableció en base a los siguientes cálculos, usando la ley de Hooke, representada por la siguiente ecuación:

Ecuación 3-14. Ley de Hooke

$$F = k * x$$

Fuente: (Cervera, 2015, pág. 38)

Donde:

- F : fuerza aplicada.
- k : constante del muelle.
- x : distancia de desplazamiento.

Teniendo en cuenta que inicialmente la bodega almacenará 5 láminas de PP en dimensiones de 30 x 30 cm, teniendo una masa de 4050g, mientras la lámina de manera sobre la cual posara el PP tiene una masa neta de 220 g, por lo tanto, la masa total es de 4270 g, siendo así un peso de 4,27 N. La distancia de desplazamiento es de 0,01m. Reemplazando estos valores en la ecuación se obtuvo:


$$k = \frac{4,27 \text{ N}}{0,01 \text{ m}} = 427 \text{ N/m}$$

Entonces decimos que el muelle necesita cumplir las siguientes características:

- Tipo de Muelle: Empuje
- Carga Máxima: 0,42 Kg
- Constante del Muelle (k): Alrededor de 427 N/m

En base a los requerimientos se seleccionó un tipo de resorte de empuje de plástico del catálogo de Lee Spring (Anexo H) en específico el modelo LL 100 100 U40G, fue el que mejor se acopló a los requerimientos. A continuación, en la tabla 3-3 se presenta sus características.

Tabla 3-3: Características del Resorte

<p style="text-align: center;">LL 100 100 U40G</p> 	<p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diámetro: 25,4 mm - Carga Máxima: 7,6 kg - Longitud: 25,4 mm - Constante (k): 0,428 kg/mm
---	--

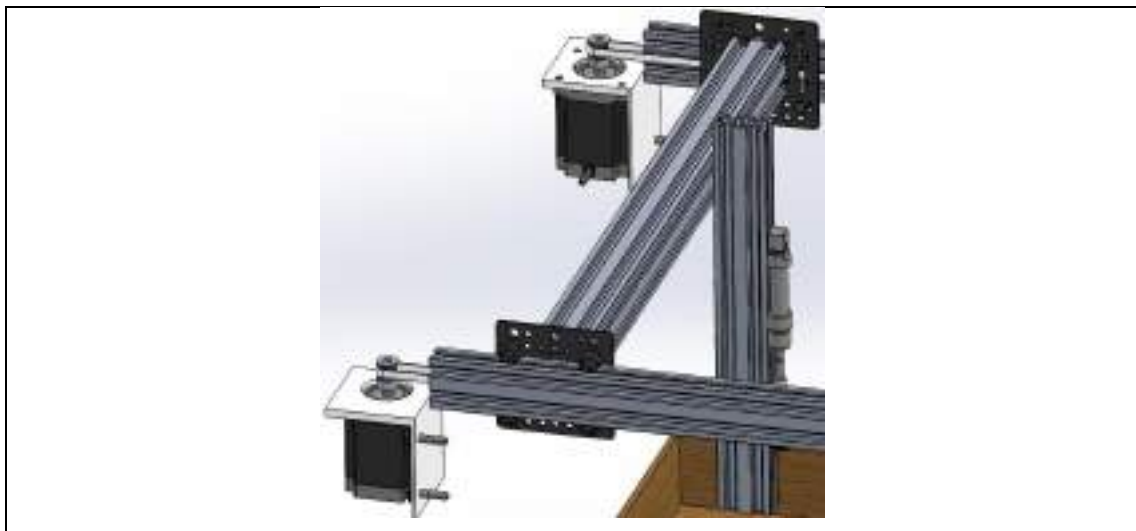
Fuente: (Lee Spring, 2015, pág. 307)

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

3.7.4. Sistema de Transporte

La ilustración 3-26 se muestra el esquema del movimiento del sistema de transporte en el perfil en forma horizontal, el conjunto de perfiles, la ventosa y los accesorios, todo esto sobre el perfil.

El desplazamiento lineal de todos los componentes se realizó mediante un sistema de transmisión Polea-Correa.



Propiedades de masa de Perfil Serie 30 v Slot 40x40x375 Configuración: predeterminado Sistema de coordenadas: -- predeterminado -- Densidad = 2,00 gramos por milímetro cúbico Masa = 730,14 gramos Volumen = 370,07 milímetros cúbicos Área de superficie = 21634,12 milímetros cuadrados	Propiedades de masa de Perfil Serie 30 v Slot 40x40x375 Configuración: predeterminado Sistema de coordenadas: -- predeterminado -- Densidad = 2,00 gramos por milímetro cúbico Masa = 27,13 gramos Volumen = 13,56 milímetros cúbicos Área de superficie = 2954,38 milímetros cuadrados	Propiedades de masa de M100-012-0810- (3) Configuración: Default Sistema de coordenadas: -- predeterminado -- Masa = 20,25 gramos Volumen = 2020,18 milímetros cúbicos Área de superficie = 10650,69 milímetros cuadrados
--	---	--

Ilustración 3-26: Sistema de Transporte

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

De acuerdo con el análisis de las propiedades físicas de la estructura, el conjunto de perfiles, la ventosa y los accesorios, tienen una masa de 2264,88 g; por lo que su peso es de 22,22 N. La fuerza necesaria para mover estos mecanismos se calcula con la siguiente ecuación 3-15:

Ecuación 3-15. Ecuación de fuerza

$$F_x = N * \left(\frac{v^2}{2 * d * g} + f_r \right)$$

Fuente: (Hibbeler, 2010, pág.389)

Donde N es la fuerza normal al eje, N=22,22 [N]; v es la velocidad del movimiento igual a 0,05 [m/s]; d es la distancia entre poleas, dx=1,4 [m]; g es la gravedad igual a 9,81 [m/s²]; fr es el factor de fricción de las gomas de las ruedas sobre el aluminio que es igual a 0,8. Reemplazando todos estos valores en la ecuación de la fuerza se tiene que:

$$F_x = 22,22 * \left(\frac{0,05^2}{2 * 1,4 * 9,81} + 0,8 \right) = 17,78 [N]$$

Para calcular el torque requerido por el sistema se consideró despreciable el peso de la banda, la inercia de poleas es mínima y no existe deslizamiento en la banda.

Entonces el torque se calculó con la siguiente ecuación:

Ecuación 3-16. Torque

$$\tau = F_x * r$$

Fuente: (Hibbeler, 2010, pág.193)

Donde F es la fuerza calculada anteriormente y r es el radio la polea, el cual es igual a 0.01 [m], aplicando la ecuación 3-16 se tiene que:

$$\tau = 17,78 N * 0,01m$$

$$\tau = 0,178[\text{Nm}]$$

3.7.4.1. Selección del motor

Es esencial que el motor cuente con un torque suficiente para propulsar de manera efectiva el sistema de transporte con sus implementos. El valor de torque obtenido previamente se multiplica por un factor de seguridad de 1,5 como precaución para garantizar la seguridad del sistema, resultando en un torque de 0,267 [Nm].

Para este sistema de transmisión, se determinó apropiado emplear dos motores de paso Nema 17, cada uno con un torque de 0,4 [Nm]. Este valor es superior al torque requerido por el sistema.

Tabla 3-4: Nema 17

<p>Motor de paso Nema 17</p> 	<p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pasos por revolución: 200 - Consumo de corriente por fase: 1.2A - Voltaje nominal: 2V - Resistencia: $1,7\Omega \pm 10\%$ por fase - Torque: 0.4N-m - Inductancia: $4.5\text{mH} \pm 20\%$ por fase - Peso: 250g - Número de cables: 4 (Verde: A1, Gris:A2; Amarillo: B1, Rojo: B2)
<p>MicrostepDriver</p> 	<p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Corriente máxima de salida: 1,0 ~ 3,5 A - Voltaje de entrada: +9~42VCC(típico 36 V CC) - Corriente de señal lógica: 7 ~ 16mA(típico 10mA) - Frecuencia de entrada de pulso: 0~200kHz - Compatible con: Arduino, AVR, ARM, PIC, STM8, STM32 - 6 modos de microstepping

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.


En los drivers se definieron un pulso/revoluciones de 800.

3.7.5. Sistema de alimentación por ventosa

Para satisfacer la necesidad de manipular la lámina de polipropileno, se requiere un sistema de agarre. En primer lugar, debe ser capaz de sujetar la lámina de manera efectiva. En segundo lugar, debe poder agarrar la lámina desde la caja de almacenamiento, posicionarla y depositarla en el marco de sujeción. Finalmente, debe ser capaz de trasladar el producto final hacia la etapa siguiente. Para cumplir con estos requisitos, se seleccionó una ventosa plana en forma redonda con un diámetro de 50mm.

Este tipo de ventosas presenta un diseño compacto y ofrece una alta capacidad de absorción gracias a su estructura de fricción. En la tabla 3-5 se detallan las características generales de la ventosa seleccionada.

Tabla 3-5: Ventosa de Sujeción

Ventosas de sujeción por vacío ESG	Detalle	Especificaciones
	Diámetro	50 mm
	Material	Plástico
	Tipo de ventosa	Plana y redonda
	Fuerza de tracción	105,8 N
	Volumen interno	2,387
	Diámetro de cuello interior	3 mm
	Peso	22 g
	Conexión soporte	M6

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

Fuente: (Festo, 2015, pág.18)

Para conocer esta presión máxima se utilizó la ecuación general de la presión.

Ecuación 3-17. Ecuación general de la presión.

$$P = \frac{F}{A}$$

Fuente: (Edmundo, 2018, pág.58)

Donde:

- P: Presión a aplicar
- F: Fuerza máxima de la ventosa

- A: Área de la pieza a manipular

$$P = \frac{105,8 N}{90\,000 \text{ mm}^2} = \frac{105,8}{90\,000 \text{ mm}^2 * \frac{1 \text{ m}^2}{1000 \text{ mm}^2}} = 1170 \text{ Pa}$$

La ventosa requiere una presión máxima de aire de 1170 Pa para asegurar la sujeción de la lámina, equivalente a 0,0117 Bar o 0,17 PSI. Esta presión puede ajustarse mediante el compresor de aire o mediante una unidad de mantenimiento. Para generar el vacío necesario, se emplea un generador de vacío neumático.

3.7.5.1. Generador de vacío

Para generar vacío y permitir que la válvula aspire la lámina plástica, se requirió un generador de vacío, el cual puede ser neumático o eléctrico. Se escogió uno que opera según el principio del efecto Venturi, donde el vacío se genera al aumentar la velocidad de un fluido al disminuir la sección transversal de un conducto, como se representa en la ilustración 3-27.

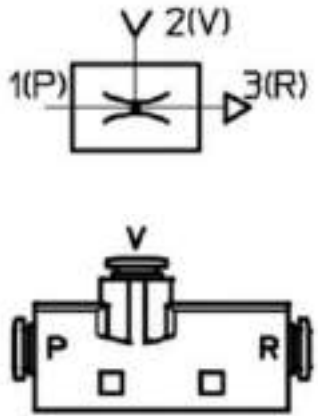


Ilustración 3-27: Efecto Venturi

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Para integrar en el sistema de transporte, se seleccionó un generador neumático, valorando principalmente su diseño compacto y facilidad de instalación. Su estructura adopta una configuración en forma de "T", ofreciendo una distribución equilibrada y eficiente de la energía neumática. Los detalles específicos de este generador se encuentran detallados en la tabla 3-6.

Tabla 3-6: Generador de Vacío - Ventosa

Generador de vacío	Detalle	Especificaciones
	Diámetro nominal	1,3 mm
	Característica de eyector	Alta aspiración y estándar
	Diseño estructural	Forma T
	Máxima presión de succión	6 Bar
	Sistema de operación	4,5 Bar
	Diámetro P, V y R	8, 10, 10
	Vacío Máximo	93%
	Temperatura	5 – 50 °C

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Fuente: (Festo, 2023, pág.6)

3.7.5.2. *Electroválvula*

Para el funcionamiento del generador de vacío se hace uso de una válvula 2/2 solenoide neumática para el paso del aire. Véase en la ilustración 3-28 la electroválvula seleccionada.



Ilustración 3-28: Electroválvula solenoide

Fuente: (AMAZON, 2024)

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

3.7.6. *Área de sujeción*

El bastidor es el que sostendrá la lámina. Se debe tener en cuenta que la lámina debe permanecer tensa al asegurarse, de otro modo podría impactar negativamente en la calidad del producto final. Por ende, se realizaron dos marcos: uno en la parte inferior para soportar la lámina y otro en la parte superior para aplicar presión y asegurar la lámina, evitando así posibles movimientos al

momento de realizar el termoformado. El marco superior se dividirá por la mitad, estas dos partes se abrirán y cerrarán automáticamente. Se puede visualizar el bastidor en la ilustración 3-29.

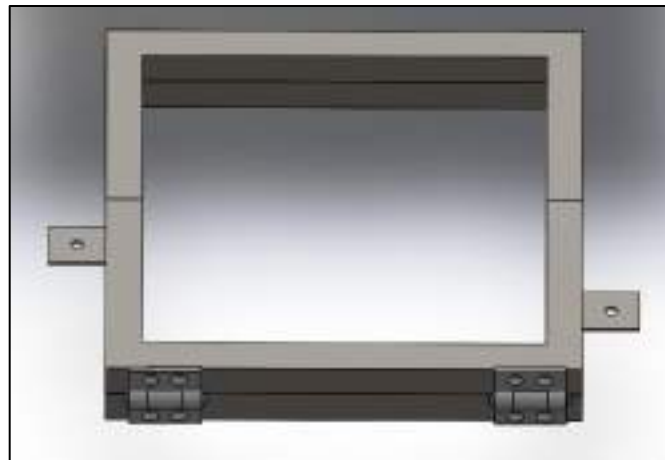


Ilustración 3-29: Bastidor

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

El tamaño de la lámina de polipropileno es de 30cm x 30 cm, para ello, se diseñó marcos que cumplan con el objetivo de sujeción de la lámina. Se eligió un tubo cuadrado conforme a la Norma ASTM A-500 con unas dimensiones de 20mm x 20mm de 1,25plg (véase en la sección que 3.8.3.). Se tuvo en cuenta que las medidas del bastidor inferior y superior serán iguales para tener una mejor sujeción, véase en la ilustración 3-30.

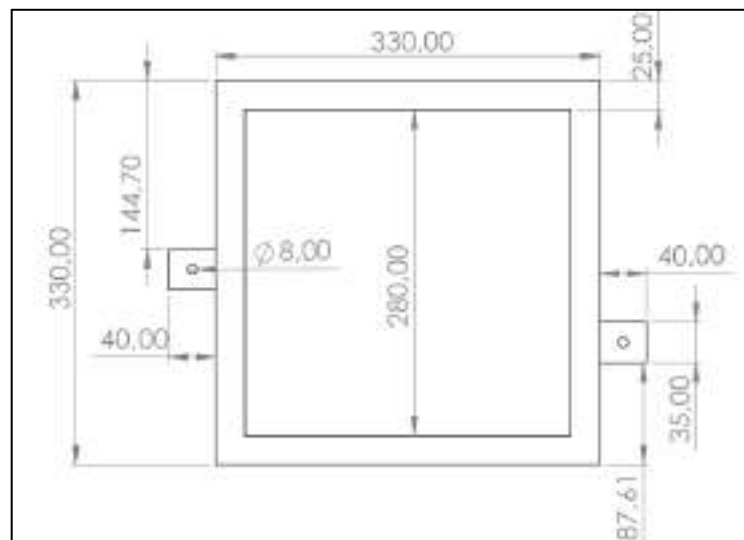


Ilustración 3-30: Dimensiones del bastidor

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

3.7.6.1. Sistema de sujeción

Para la sujeción de los dos bastidores se utilizaron seguros tipo bisagras de $\frac{3}{4}$ plg para unir los bastidores, dos de cada lado, ya que son de fácil instalación y evitan vibraciones que podrían perjudicar la calidad del producto. Véase en la ilustración 3-31.

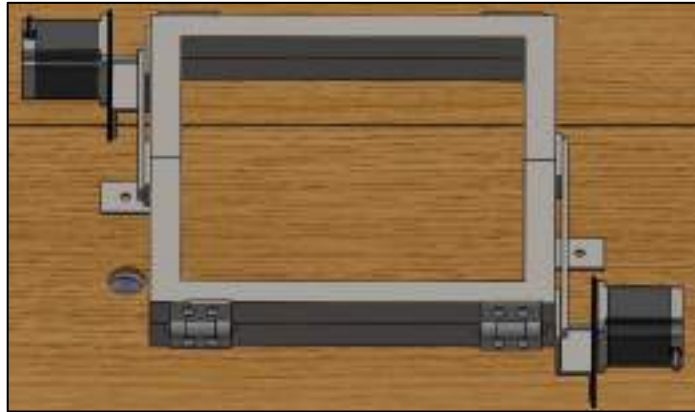


Ilustración 3-31: Sujeción de los bastidores

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

Para abrir y cerrar el bastidor, se hará uso de un mecanismo en forma de brazos (véase en la ilustración 3-32), estos pueden ejercer movimiento por medio de dos motores Nema 23 y *microstepDrivers*, véase las características del motor en la tabla 3-7.

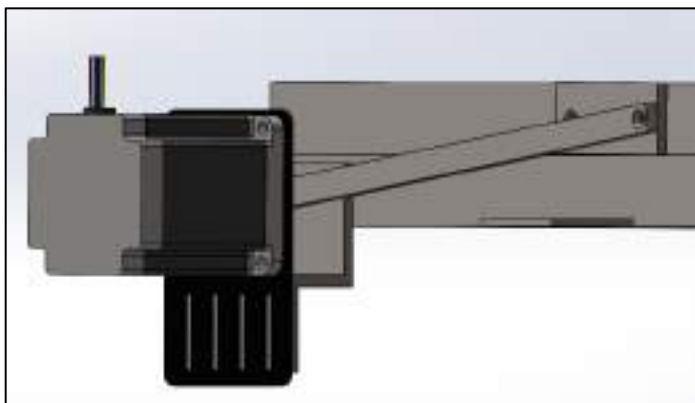


Ilustración 3-32: Acople de placas móviles

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

Según el análisis de las características físicas de la mitad del bastidor, este presenta una masa de 2001g, lo que equivale a un peso de 19,6 Newtons.

Para que el bastidor comience a girar, se requiere aplicar un momento lo suficientemente para superar el momento resistente. Este momento resistente se determina mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 3-18. Momento resistente

$$M_r = R \times d$$

Fuente: (Hibbeler, 2012, pág.43)

Donde

- Mr = momento resistente
- N = Esfuerzo resistente
- R = distancia desde el punto de aplicación del esfuerzo al eje de rotación

El R tendría una distancia de 0,11 metros y N tendría un peso 19,6 N. Al sustituir estos valores en la ecuación 3-18, se obtiene lo siguiente:

$$M_r = 19,6 \text{ N} \times 0,11 \text{ m}$$



$$M_r = 2,156 \text{ [Nm]}$$

3.7.6.2. Selección del motor

El motor debe contar con un torque de retención suficiente para realizar el giro de manera adecuada. Para garantizar la seguridad del sistema, el valor de torque obtenido previamente se multiplica por un factor de seguridad de 1 debido a que sostendrá la plancha de polipropileno de manera fija, lo que resulta en un torque de 2,156 [Nm]. Se consideró apropiado el uso de un motor de pasos Nema 23 para este sistema de sujeción ya que su torque de 2,2 Nm, este es superior al requerido por el sistema, como se muestra en la tabla 3-7

Tabla 3-7: Características del Nema 23 y MicrostepDriver

Nema 23	<p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Motor paso a paso Nema 23 - Características eléctricas - Tipo de motor: Bipolar - Ángulo de motor: 1.8° - Par de retención (Holding Torque):2,2 Nm
---------	---

	<ul style="list-style-type: none"> - Corriente nominal / fase: 2.8 A - Resistencia de fase: 0.9ohms - Voltaje: 2.5V - Peso: 1814g
<p style="text-align: center;">MicrostepDriver</p> 	<p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Corriente máxima de salida: 1,0 ~ 3,5 A - Voltaje de entrada: +9~42VCC(típico 36 V CC) - Corriente de señal lógica: 7 ~ 16mA(típico 10mA) - Frecuencia de entrada de pulso: 0~200kHz - Compatible con: Arduino, AVR, ARM, PIC, STM8, STM32 - 6 modos de microstepping

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

En los drivers se definieron un pulso/revoluciones de 800.

3.7.7. Área de calentamiento

3.7.7.1. Método de Calentamiento

La fase de calentamiento es esencial en el procedimiento de termoformado. Una vez que se eligió el polipropileno como el material para ser termoformado, se examinó sus rangos de temperaturas. Según se detalla en la Tabla 2-1, se observa que su temperatura de deformación bajo carga es de 140 °C, mientras que su rango de temperatura óptima para el termoformado oscila entre 145 y 200 °C.

Debido a que en el mercado existen varios tipos de sistemas para transferir calor a estas temperaturas, se analizaron las características de las alternativas de calentamiento investigados

en el marco teórico: alambre de níquel-cobre, resistencias tubulares y resistencias cerámicas. En la ilustración 3-33 se muestran los diferentes generadores de calor a analizar con sus detalles técnicos en la tabla 3-8.



Ilustración 3-33: Método de Calentamiento

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Los criterios principales que se consideraron fueron:

- **Robustez:** Se requiere un sistema de calefacción resistente, fabricado con materiales capaces de tolerar altas temperaturas y que sean duraderos en el tiempo.
- **Estabilidad:** La resistencia elegida debe tener una respuesta de calentamiento controlable. Su tiempo de calentamiento debe ser óptimo y no debe presentar fluctuaciones que puedan afectar la calidad del producto final.
- **Rango de temperatura:** La temperatura generada por la resistencia debe ajustarse lo más cercano posible al rango de valores necesarios para termoformar el PP.
- **Costo:** Se busca que el costo total de la máquina sea accesible, por lo tanto, los componentes no deben tener precios excesivamente altos.

Tabla 3-8: Selección del método de calentamiento

Criterios	Alambres Níquel-Cobre	Resistencias Tubulares	Resistencias Cerámicas
Robustez	Bajo	Alto	Medio
Estabilidad	Alto	Alto	Alto
Rango	Medio	Alto	Alto
Costo	\$ 5-8	\$ 10	\$ 15

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

De acuerdo con lo descrito en los requerimientos del prototipo se optó por emplear resistencias tubulares sobre las resistencias cerámicas y el alambre níquel-cobre. Este cuenta con mejores características tales como el nivel de robustez lo que proporciona firmeza y el precio accesible.

3.7.7.2. *Tiempo de calentamiento*

Durante este proceso, es crucial calentar el plástico a la temperatura óptima y mantenerlo por encima del punto de transición vítrea al realizar el vacío.

La densidad del Poliestireno y Polietileno de alta densidad es de $1,05 \text{ g/cm}^3$ y $0,95 \text{ g/cm}^3$ respectivamente (Moya, 2016, pág 137). El tiempo de calentamiento de una lámina de polietileno de alta densidad de 2mm de espesor es de 55s y del poliestireno de 2mm de espesor es de 39s. (Calle y Sánchez, 2017, pág. 49).

Para determinar el tiempo de calentamiento del polipropileno se realizó una interpolación tomando en cuenta la densidad y el tiempo de calentamiento del Poliestireno y el Polietileno de alta densidad, véase en la tabla 3-9.

Tabla 3-9: Tiempo de calentamiento

Plástico	Espesor(mm)	Densidad (g/cm3)	Tiempo de calentamiento(s)
Poliestireno	2	1,05	36
Polietileno de alta densidad	2	0,95	55
Polipropileno	2	0,91	62,59

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Se determinó que el tiempo de calentamiento para una plancha de polipropileno de 2mm es de 62,59 segundos, que aproximando nos da un valor de 63 segundos.

3.7.7.3. Calor transferido

Para definir las condiciones más adecuadas para el calentamiento de la lámina de polipropileno mediante una resistencia tubular, se llevó a cabo un análisis utilizando el concepto de transferencia de calor. En una primera etapa, se calculó la cantidad de calor para calentar la lámina de polipropileno, posterior se calculó el calor que puede transmitir la resistencia, y finalmente se estableció una relación óptima entre ambas magnitudes.

Considerando la temperatura óptima para el proceso de termoformado del polipropileno, es de 145°C a 200°C según los datos de la Tabla 3-2 y acorde a la revisión bibliográfica se determinó que se debe elevar hasta una temperatura de 175°C. La temperatura promedio de la ciudad de Riobamba donde operará la máquina es de 13°C (Riobamba, 2024, párr. 21). Por lo tanto, lámina debe calentarse desde los 13°C hasta 175°C.

La densidad y el calor específico promedio del polipropileno se tomaron de la tabla 3-2 para realizar los cálculos. Esto permitió identificar los parámetros adecuados con el fin de asegurar un proceso eficiente de termoformado.

$$\rho = 0,91 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$
$$C_p = 1800 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} = 1800 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

La cantidad de calor transmitida a la lámina de polipropileno se define simplemente como la variación en su energía interna y se calcula mediante la fórmula:

$$\text{Transferencia de energía al sistema} = \text{Cambio en la energía del sistema.}$$

Ecuación 3-19. Cambios finitos en la energía interna

$$Q = \Delta U = mc_{\text{prom}}(T_2 - T_1)$$

Fuente: (Cengel, 2007, pág. 8)

Donde:

- Q= cantidad de calor transferido

- m= masa
- Mcprom= calor específico promedio
- T1= temperatura inicial
- T2= temperatura final

De igual forma se utilizó la siguiente fórmula:

Ecuación 3-20. Densidad en función de masa y volumen

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Fuente: (Burns, 2011, pág. 60)

Donde:

- M = masa
- V = volumen

Se despejó la masa de la ecuación 3-20 y se realizó el cálculo:

$$m = \rho * v$$

$$m = 900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (0,3 * 0,3 * 0,002)\text{m}$$

$$m = 0,162\text{kg}$$

Se sustituyó los datos obtenidos en la ecuación 3-19:

$$Q_{PP} = mc_{\text{prom}}(T2 - T1)$$

$$Q_{PP} = 0,162\text{kg} * 1800 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}(175 - 13)^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{PP} = 47239,2\text{J}$$

La lámina de polipropileno requiere 47239,2 J para alcanzar la temperatura deseada. En la sección 3.9.8.2. se determinó que el polipropileno tarda aproximadamente 63 segundos en llegar a la temperatura deseada. Este dato permitió calcular la tasa de transferencia de calor necesaria para el material, teniendo en cuenta que la potencia es una magnitud física que relaciona la energía con el tiempo.

$$\dot{Q} = \frac{47239,2\text{J}}{63\text{s}} = 749,82\text{W}$$

Por lo tanto, se requirió una potencia de 749,82W para calentar la lámina de polipropileno desde 13°C hasta 175°C.

De acuerdo con la sección 3.9.8.1. se seleccionó las resistencias tubulares, en este caso se eligió resistencias tubulares en acero inoxidable, tubo 3/8 a 110V AC con una medida lineal de 350cm, ofreciendo 3000W de potencia y con una temperatura superficial promedio de 510°C acorde las especificaciones de RECIS-PLUS. Véase en la ilustración 3-34 las dimensiones de la resistencia tubular.



Ilustración 3-34: Dimensionamiento de la resistencia tubular

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Ahora, se requiere calcular la cantidad de calor que la resistencia transfiere, con el fin de verificar si proporciona la energía suficiente para la aplicación. La transferencia de calor entre el calefactor y el aire se realiza principalmente por convección, contribuyendo al calentamiento de la lámina de Polipropileno. Además, se realiza una transmisión directa de calor por radiación hacia la superficie de la hoja de polipropileno.

Ecuación 3-21. Razón neta de transferencia de calor entre dos superficies por radiación

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{\text{alred}}^4)$$

Fuente: (Cengel, 2007, pág. 29)

Donde:

- ε = emisividad de la superficie

- σ = constante de Stefan-Boltzmann
- T_s = Temperatura de la superficie
- T_{alred} = temperatura del alrededor

De acuerdo con Watlow (2003, pág. 27) la capacidad de emitir radiación para la resistencia tubular de acero inoxidable es de $\varepsilon = 0,57$.

El cálculo del área superficial se la obtuvo mediante el software Solidworks, obteniendo una respuesta $A = 78270,86 \text{ mm}^2$. Esta área se divide por 2, ya que se considera que solo la mitad inferior de la resistencia emitirá radiación hacia la lámina de polipropileno. De esta forma, se obtiene $A = 39135,43 \text{ mm}^2$. y la proporción de transferencia de calor por radiación hacia la superficie de polipropileno es:

$$\dot{Q}_{rad} = 0,57 \left(5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4} \right) * 0,0391354 m^2 * ((510 + 273)^4 - (175 + 273)^4) K^4$$

$$\dot{Q}_{rad} = 424,46 W$$

La razón promedio de transferencia de calor por radiación de la resistencia tubular es de 424,46W (\dot{Q}_{rad}). Dado que la hoja de polipropileno requiere 749,82 W (\dot{Q}_{PP}) para alcanzar la temperatura de termoformado y solo se transfieren 424,46W por radiación, aún se necesitan 325,36.

Aunque la potencia total suministrada por las resistencias es de 3000W, solo se estima el 50% de esta potencia llegará al polipropileno, ya que la resistencia tubular emite energía en todas las direcciones y solo el 50% de las resistencias están cara a cara con la plancha de polipropileno. El otro 50% se desperdicia por factores externos, por lo tanto, se tiene 1500W a disposición.

Ecuación 3-22. La ley de conservación de energía

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_{conv}$$

Fuente: (Cengel, 2007, pág. 29)

Despejamos la transferencia por convección, se obtiene lo siguiente:

$$\dot{Q}_{conv} = (1500 - 424,46) W = 1075,54 W$$

La hoja de polipropileno requería 325,36 W y la resistencia está transmitiendo por el aire 1075,54W (\dot{Q}_{conv}), entonces se tiene un sobrante de 750,18W.

Se procede a obtener la distancia entre el calefactor y la lámina. La caja que sostendrá la resistencia tiene dimensiones de 52 x 36 cm, y el volumen se obtendrá multiplicando esta área por la distancia entre los componentes.

$$V = (0,52 \times 0,36 \times h)m^3 = 0,1872h m^3$$

Para determinar la masa del volumen del aire, utilizamos la ley del gas ideal

Ecuación 3-23. Ley del gas ideal

$$PV = nRT$$

Fuente: (Burns, 2011, pág. 360)

Donde:

- n= número de moles
- P= presión
- V= volumen
- R= constante universal de los gases
- T= temperatura

Despejaremos y obtenemos lo siguiente ecuación:

$$n = \frac{PV}{RT}$$

Según la información proporcionada por la página oficial de la alcaldía de Riobamba (2024, párr. 23), se determinó, la altitud de la ciudad de Riobamba se sitúa a 2754 metros sobre el nivel del mar (msnm). Para esta altitud, la presión atmosférica corresponde a 71,46 KPa, como se indica en el Anexo I. Por lo tanto, se procede a sustituir estos valores que se despejo anteriormente:

$$n = \frac{71460 Pa * 0,1872h m^3}{8,314472 \frac{m^3 Pa}{mol \cdot K} * (13 + 273)K} = 5,625h mol$$

La masa molar media del aire seco es de 28,97 gramos por mol. Por lo tanto, utilizando una regla de tres:

$$m = 28,97 \frac{g}{mol} * 5,625h mol = 162,95h g = 0,163h kg$$

En este caso, el volumen es el que varía mientras que la presión se mantiene constante. Por lo tanto, se utiliza el calor específico a presión constante, donde el valor del aire es de $C_p = 1007 \frac{J}{Kg \cdot K}$ cómo se indica en el anexo J.

Ahora, se requiere transferir una cantidad de calor de 50,18 W al volumen de aire, como se ha determinado previamente. Esta cantidad de calor se mide en términos de potencia, es decir, por unidad de tiempo. Por lo tanto, para expresarla en términos de energía total, se la relaciona con el tiempo de la siguiente manera:

$$Q = 750,18 \cdot t [J]$$

Posterior, se utiliza la Ecuación 3-19 para calcular la distancia necesaria que permitirá la transmisión deseada de calor.

$$Q = mc_{prom}(T_2 - T_1)$$

$$750,18t J = (0,163h Kg) \left(1007 \frac{J}{Kg \cdot K} \cdot \right) (175 - 13) [K]$$

Por último, obtenemos la ecuación que describe el tiempo necesario para alcanzar la temperatura deseada en función de la distancia. A medida que aumenta la distancia entre la resistencia tubular y la lámina de polipropileno, el tiempo requerido para que la hoja de plástico alcance la temperatura adecuada será mayor, como se muestra en la siguiente relación:

$$750,18t J = 26590,84h J$$

$$t = 35,44 h$$

La ecuación nos proporciona una relación entre el tiempo de calentamiento y la distancia requerida entre la hoja de polipropileno y el calefactor. Se determina que la relación distancia-tiempo para el proceso de termoformado es de aproximadamente 0,04 metros, reemplazando en la fórmula se obtiene un tiempo de 1,42 segundos.

Al sumar el tiempo necesario para el termoformado del polipropileno, como se detalla en la sección 3.9.8.2, con el tiempo recién obtenido, podemos calcular que el tiempo total requerido para el proceso de termoformado del polipropileno es de (63+ 1,42) segundos, lo que equivale a

64,42 segundos. Sin embargo, en el entorno real pueden surgir variaciones en la energía debido a imprevistos. Por lo tanto, durante la implementación del proceso, se verificarán estos datos y se realizarán ajustes necesarios para garantizar su funcionamiento adecuado.

3.7.7.4. *Armazón del módulo de calor*

La resistencia estará dentro de un módulo con dimensiones de 52 x 36 x 4 cm, adaptado según las medidas de la resistencia. Se utilizará una lámina de acero conforme a la Norma ASTM con un grosor de 1.1 mm, ya que no hay fuerzas críticas en esta etapa. La posición de los elementos en esta fase se muestra en la ilustración 3-35.

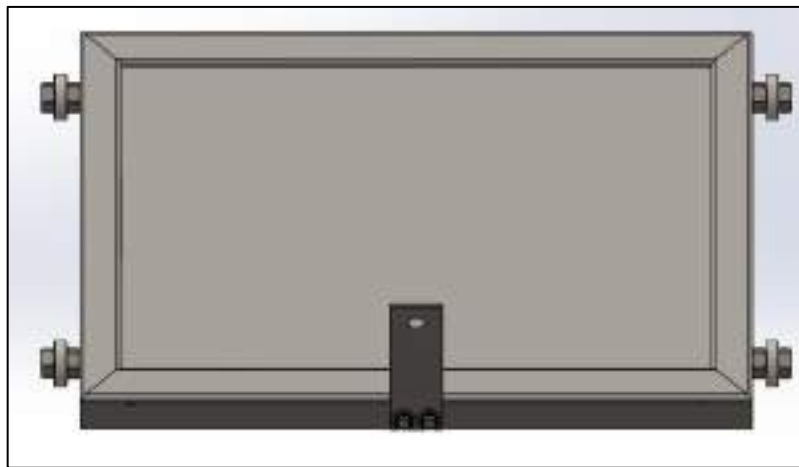


Ilustración 3-35: Sección de calor ubicado en la máquina

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

3.7.7.5. *Desplazamiento del módulo de calor*

Es necesario analizar el desplazamiento del módulo de calentamiento, parte esencial del proceso. Como se ilustra en la ilustración 3-36, se planteó emplear cuatro ejes adaptados a la estructura, con rodamientos en sus extremos para posibilitar su deslizamiento con la menor fricción posible.

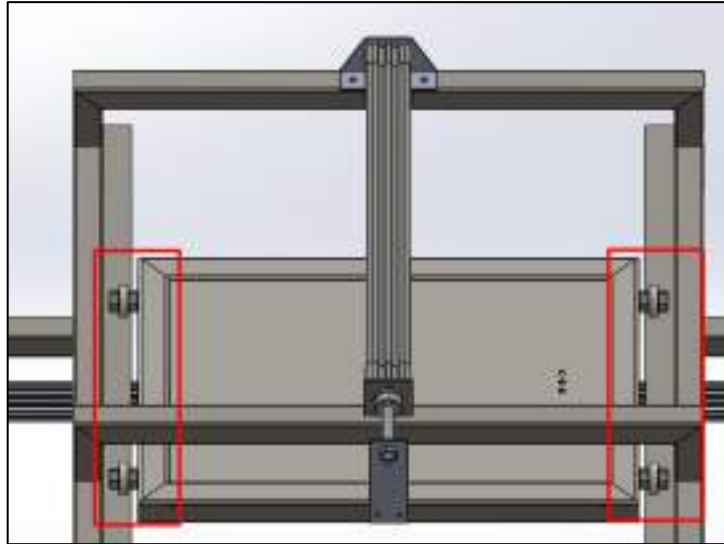


Ilustración 3-36: Rodamientos del módulo calefactor

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

3.7.7.5.1. Cálculo de ejes

Para el cálculo de ejes fue importante considerar que la fuerza ejercida por el actuador genera un par torsional en cada uno de los ejes, como se muestra en la figura 3-37. En base a esto se determinará el diámetro necesario D para el cual el eje resiste el esfuerzo cortante máximo, de acuerdo con el material es importante considerar que el diámetro del eje será constante.

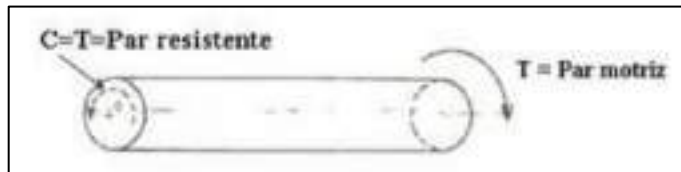


Ilustración 3-37: Ejes del panel de calefactor

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Para obtener el diámetro del eje, inicialmente se planteó la ecuación para el esfuerzo cortante:

Ecuación 3-24. Esfuerzo cortante

$$\tau_{max} = \frac{T * c}{J}$$

Fuente: (Hibbeler, 2011, pág.526)

Donde:

- τ_{max} = esfuerzo cortante máximo.

- T = par torsional aplicado.
- c = radio total del eje.
- J = momento polar de inercia de la sección transversal.

El esfuerzo crítico se da sobre los puntos de la superficie del eje, por lo cual se realizó lo siguiente:

$$c = \frac{D}{2}$$

Y el momento polar de inercia para una sección circular es:

$$J = \frac{D^4 * \pi}{32}$$

Entonces se reemplazó estas variables en la ecuación 3-24, obteniendo como resultado:

$$\tau_{max} = \frac{T * \frac{D}{2}}{\frac{D^4 * \pi}{32}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{16T}{\tau_{max} * \pi}}$$

Hay que tener en cuenta que el cilindro de 32x400 seleccionado es el encargado de generar el movimiento del módulo de calor, produciendo 500N de fuerza según sus características ($\eta = 1$, $d = 32mm$, $P = 0.68MPa$) véase el Anexo C.

Por lo tanto, para obtener el par torsional que se genera en el eje, se multiplica esta fuerza por la distancia hasta el eje la cual es de 11cm, lo que produce un par torsional de 5500N·cm, lo que equivale a 486.79 lb·pulg.

El esfuerzo de ruptura para el acero de bajo carbono o acero al carbono, que se emplea frecuentemente en pernos, es de 74000 psi (La Casa del Perno, 2011); este dato se empleará como esfuerzo máximo. Ahora se reemplaza los datos obtenidos para obtener el diámetro del eje:

$$D = \sqrt[3]{\frac{16 * 486.79 \text{ lb} \cdot \text{pulg}}{74000 \text{ psi} * \pi}} = 0,32 \text{ pulg}$$

Entonces el diámetro mínimo requerido es de 0,32 plg para el eje sometido al par torsional indicado. Se seleccionó una medida estándar de acuerdo con el rodamiento, que se analiza a continuación.

3.7.7.5.2. Selección de rodamiento

El módulo de calor se desplaza mediante la ayuda de los rodamientos los cuales cumplen la función de evitar la fricción del módulo de calor en la estructura. En base a los requerimientos de la máquina la velocidad a la que se desplaza es mínima y las cargas a las que están sometidos son muy bajas. Con esta premisa se escogió del Anexo D un rodamiento rígido a bolas 6201, común en el mercado y que se adapta a las medidas de la máquina.

El rodamiento tiene una carga radial igual al peso del módulo de calor. Igualmente, se calculó que el panel de calor se desplazará a 4 metros por segundo aproximadamente, según el Anexo E. Para obtener los rpm a las que funcionará el rodamiento, se calculó la longitud de la circunferencia:

$$C = 2\pi r = 2 \times \pi \times 16\text{mm} = 100,53 \text{ mm}$$

Entonces, dado que cada circunferencia recorre los 400 mm y se requieren 4 circunferencias para completar el recorrido total, la velocidad de giro es de 4 revoluciones por segundo, equivalente a 240 rpm, según se explicó en la sección 3.5.2.5.1. Considerando que el peso del módulo de calor es de 5 kg, se utilizó la fórmula para calcular la duración nominal expresada en millones de revoluciones.

Ecuación 3-25. Duración nominal de rodamientos

$$L = \left(\frac{C}{F}\right)^P$$

Fuente: (SKF, 2022, párr.2)

Donde:

- L = expresada en millones de revoluciones la duración nominal
- C = capacidad de carga base del rodamiento
- F = carga equivalente sobre el rodamiento
- C/F = seguridad de la carga

- $P = 3$ en rodamientos de bolas, $1/3$ en rodamiento de rodillos

Dado que no se aplican cargas axiales al rodamiento, la carga equivalente fue de:

$$F = F_R = 5kgf$$

Con base en el **anexo D**, la capacidad básica de carga dinámica C es de 1180 libras, equivalente a aproximadamente 535 kg. La seguridad de carga se determinó mediante:

$$\frac{C}{F} = \frac{535}{5} = 107$$

Utilizamos la ecuación 3-25:

$$L = (107)^3 = 1225043 \text{ millones de revoluciones}$$

Aplicamos una regla de tres, se obtiene:

$$\begin{array}{ll} 240 \text{ revoluciones} & 1 \text{ min} \\ 1225043 \text{ revoluciones} & x \end{array}$$

El resultado indica que el rodamiento proporciona 3,5 millones de ciclos de funcionamiento continuo, asegurando así una vida útil adecuada. Después de elegir este rodamiento, se evaluó sus dimensiones, y dado que el espacio interior es de 12 mm, el diámetro del eje seleccionado coincidirá con esta medida.

3.7.7.6. Selección de componentes neumáticos

3.7.7.6.1. Selección del compresor

Se seleccionó un compresor Pretul de 20 litros con una presión máxima de 135 psi. Su capacidad de 20 litros psi brinda suficiente almacenamiento de aire comprimido para realizar varias tareas. Además, su presión máxima de 135psi proporciona la fuerza necesaria para operar cuatro cilindros neumáticos. Los componentes y dimensiones del compresor se muestran en la ilustración 3-38.



Ilustración 3-38: Componentes y dimensiones del compresor Pretul.

Fuente: (TRUPER, 2024, pág. 3)

Para el generar de vacío de la ventosa se seleccionó un compresor Porten de 3 litros con una presión máxima de 46psi. Véase el compresor Porten en la ilustración 3-39.



Ilustración 3-39: Compresor Porten de 3 Litros

Fuente: (PORTEN, 2024, pág. 1)

3.7.7.6.2. Selección de electroválvulas y actuadores

El prototipo de estación de termoformado requiere cuatro cilindros neumáticos. El cilindro 1 se encarga de empujar el módulo de calentamiento. El cilindro 2 y 3 facilitan el movimiento ascendente y descendente del bastidor con la lámina de plástico entre las etapas de calentamiento y formado. El cilindro 4 permite el movimiento vertical de la ventosa, la cual sujeta la plancha de plástico. Véase en las ilustraciones 3-40, 3-41 y 3-42 la posición de los cilindros en la máquina.

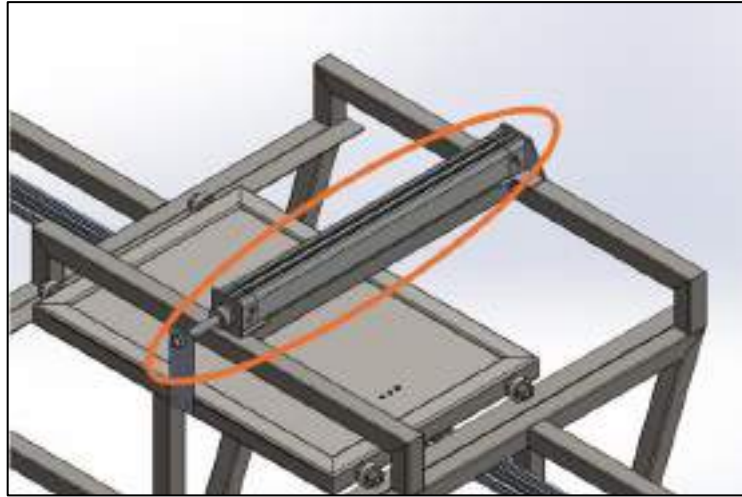


Ilustración 3-40: Cilindro 1 para desplazamiento de módulo de calentamiento

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

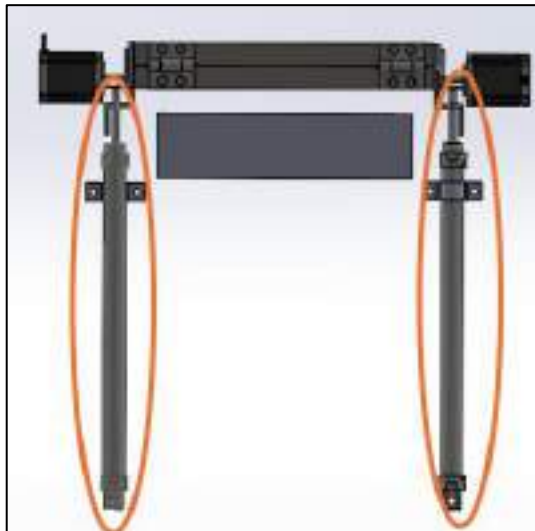


Ilustración 3-41: Cilindro 2 y 3 para desplazamiento del sistema de sujeción

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

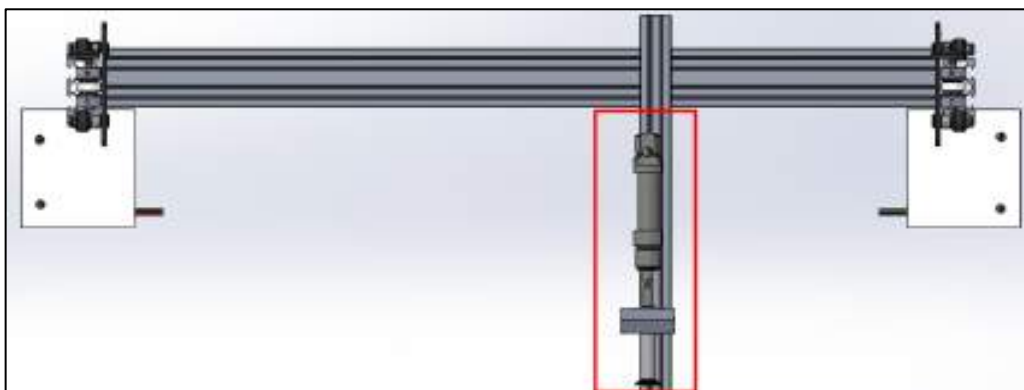


Ilustración 3-42: Cilindro 4 para desplazamiento de la ventosa

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Se toma en cuenta las siguientes características del compresor Pretul (véase en el anexo F)

- Velocidad: 3450 rpm
- Presión: 116 psi (8 bar)

De igual forma las características del compresor Porten. (Portentools, 2014, pág. 1)

- Velocidad: 1750 rpm
- Presión: 46 psi (3,2 bar)

De acuerdo con SMC, existe un método para elegir el diámetro adecuado. El primer paso consiste en calcular el peso de la carga que necesitará ser desplazada. (2024, págs. 1-19)

Cilindro 1: El cilindro debe desplazar el módulo de calentamiento el cual está conformado por el armazón y la resistencia tubular. Con ayuda de Solidworks se determinó que posee una masa de 5542,99 gramos.

Cilindro 2 y 3: El cilindro 2 y 3 debe desplazar el sistema de sujeción, véase los componentes en la sección 3.9.7. Con ayuda del programa Solidworks se determinó que posee una masa de 15781,28 gramos.

Cilindro 4: El cilindro 4 debe desplazar de forma vertical una plancha de polipropileno de 162 gramos.

Posteriormente, se establece el factor de carga en base a la aplicación necesaria. En la Tabla 3-10 se muestra el rendimiento necesario junto con su respectivo factor de carga:

Tabla 3-10: Factor de carga de acuerdo con la aplicación requerida

Funcionamiento requerido		Factor de carga η
Funcionamiento estático (amarre, engarce de tornillo a baja velocidad, etc)		0.7 o menos (70% o menos)
Funcionamiento dinámico	Movimiento horizontal de la carga en la guía	1 o menos (100% o menos)
	Movimiento vertical y horizontal de la carga	0.5 o menos (50% o menos)

Fuente: SMC, 2024

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Para el cilindro 1, se eligió un $\eta=1$ ya que debe desplazar el módulo de calor horizontalmente. En el caso de los cilindros 2,3 y 4, se optó por un $\eta=0.5$, dado que deben realizar un desplazamiento vertical.

Se sugiere que la presión de operación del sistema sea del 85% de la presión del aire suministrado. Dado que el compresor Pretul proporciona una presión de 8 bar (0.8 MPa), su presión de operación es:

$$Presión = 0.8 \text{ MPa} \times (0.85) = 0,68 \text{ MPa}$$

Y el compresor Porten proporciona una presión de 3,2 bar (0,32MPa), su presión de operación es:

$$Presión = 0.32 \text{ MPa} \times (0.85) = 0,272 \text{ MPa}$$

Determinar a qué dirección se aplica la fuerza es el último paso para determinar el diámetro del cilindro. En la situación del cilindro 1 y 2-3 aplican una fuerza en el lado de extensión. En la situación del cilindro 4 aplica una fuerza en el lado de contracción. Por lo tanto, se procede a determinar el dato en la gráfica del Anexo G. Véase en la tabla 3-11 los diámetros seleccionados

Tabla 3-11: Diámetro del cilindro

Cilindro	Factor de carga (η)	Masa (kg)	Presión (MPa)	Diámetro seleccionado(mm)
1	1	5,54	0.68	10
2 y 3	0,5	15,78	0.68	20
4	0,5	0,162	0,27	6

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

La carrera del cilindro 1 es de 320 mm de carrera, que corresponde a la longitud del módulo de calor. Para la carrera de los cilindros 2 y 3, se sumó el pandeo de la lámina de plástico y la altura máxima del molde que se van a elaborar. Se realizó pruebas para determinar el pandeo máximo de la lámina de polipropileno y los resultados obtenidos se muestran en la ilustración 3-43.

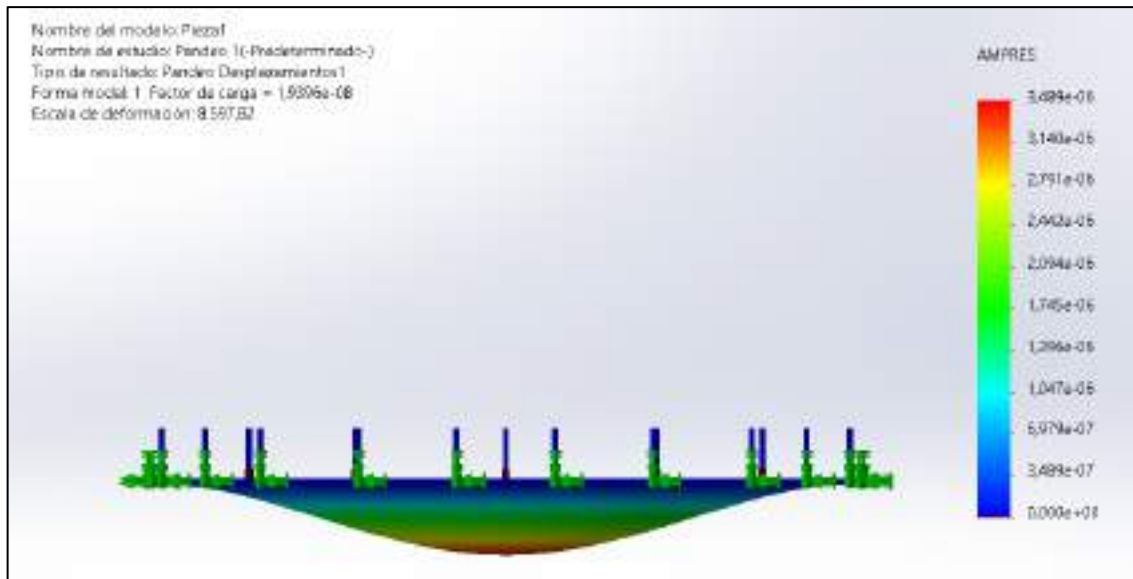


Ilustración 3-43: Pandeo de lámina de polipropileno

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

La altura máxima querida para los moldes es de 30mm. Sumando este valor al pandeo máximo es de 86 mm, se determinó que la carrera necesaria para los cilindros 2 y 3 debe ser de 120mm. El cilindro 4 corresponde a 50 mm debido a que este es superior a la altura máxima estimada del molde.

Se eligió cilindros estandarizados con medidas superiores para asegurar los requisitos obtenidos. Por lo tanto, se adquirió un cilindro de doble efecto con un diámetro de 32mm y una carrera de 400mm, dos cilindros de doble efecto con un diámetro de 20 mm y una carrera de 300mm y un cilindro de doble efecto con un diámetro de 25mm y una carrera de 50mm. Véase en la ilustración 3-44 los cilindros utilizados.



Ilustración 3-44: Cilindros utilizados

Fuente: (AMAZON, 2024)

Ahora, se determinó el consumo de aire en donde se recurrió a la tabla del anexo G, donde se obtuvo los siguientes datos, véase en la tabla 3-12

Tabla 3-12: Diámetro del cilindro

Cilindro	Diámetro(mm)	Carrera (mm)	Consumo L/min
1	32	400	4
2 y 3	20	300	1
4	25	50	0,13

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Se determinó que el consumo del cilindro 1 es 4 L/min. El consumo del cilindro 2 y 3 es de 1 L/min cada uno y el cilindro 4 es de 0,13 L/min

Para el cilindro 1 se utilizó una electroválvula 5/2, para los cilindros 2 y 3 se utilizó electroválvulas 5/3 y para el cilindro 4 se utilizó una electroválvula 5/2 con solenoide-resorte. Véase en la ilustración 3-45 las electroválvulas seleccionadas.



Ilustración 3-45: Electroválvulas seleccionadas

Fuente: (AMAZON, 2024)

Se llevó a cabo una simulación en el *software FluidSIM 4.6* de Festo para evaluar los diferentes estados del proceso en relación con los cilindros. Esto implicó enviar señales desde el microcontrolador y luego energizar los solenoides para accionar los actuadores. Las condiciones iniciales de la simulación se muestran en la ilustración 3-46.

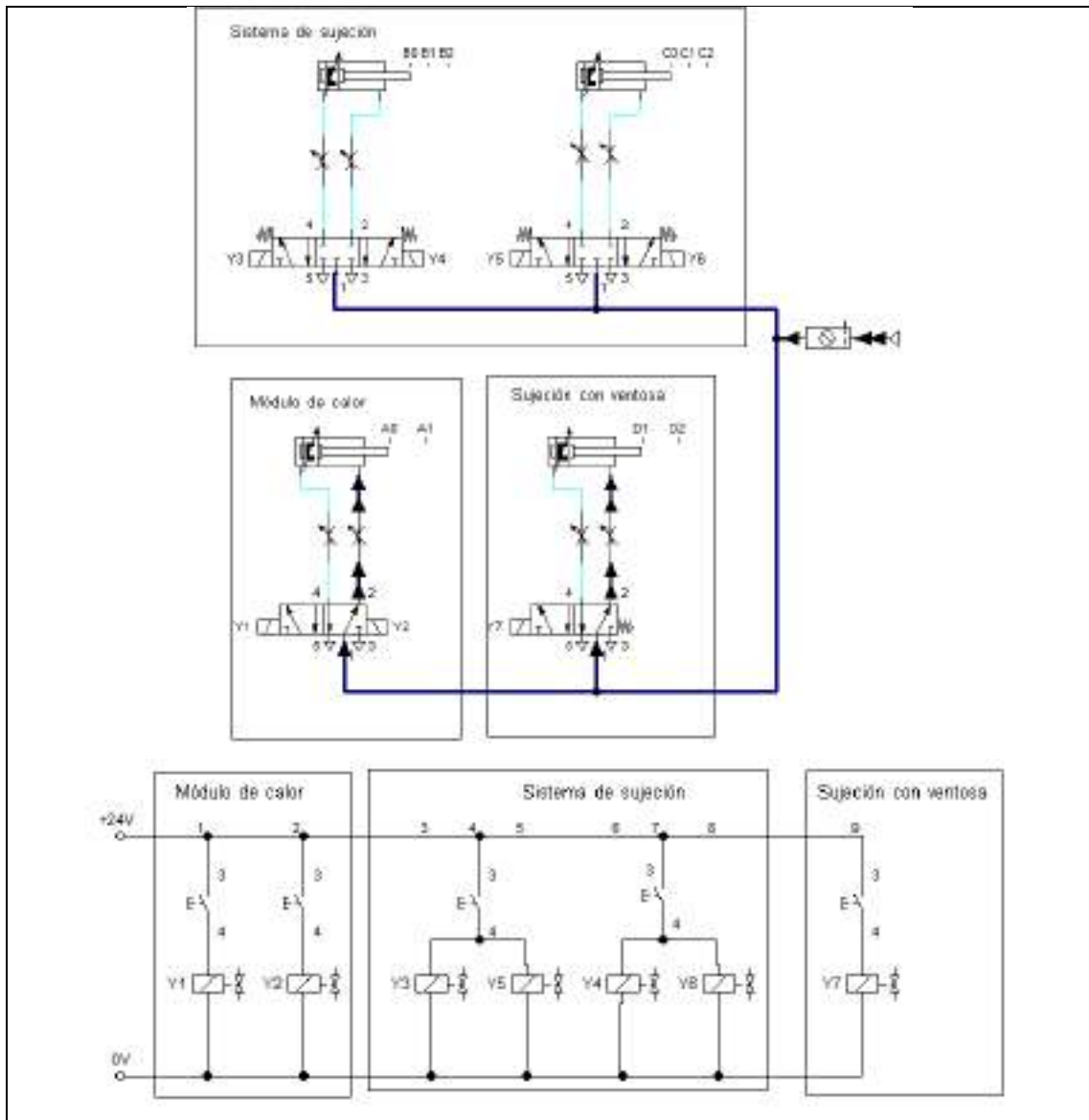


Ilustración 3-46: Fase 0, condiciones iniciales

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

A continuación, se explica las 9 fases. En la primera fase, el cilindro 4 de la sujeción con ventosa se extiende hasta la plancha de plástico, posterior, en la fase 2, el cilindro se retrae con la plancha de plástico. Véase en la ilustración 3-47 la posición del cilindro la fase 1 y 2, los otros cilindros permanecen en la posición inicial.

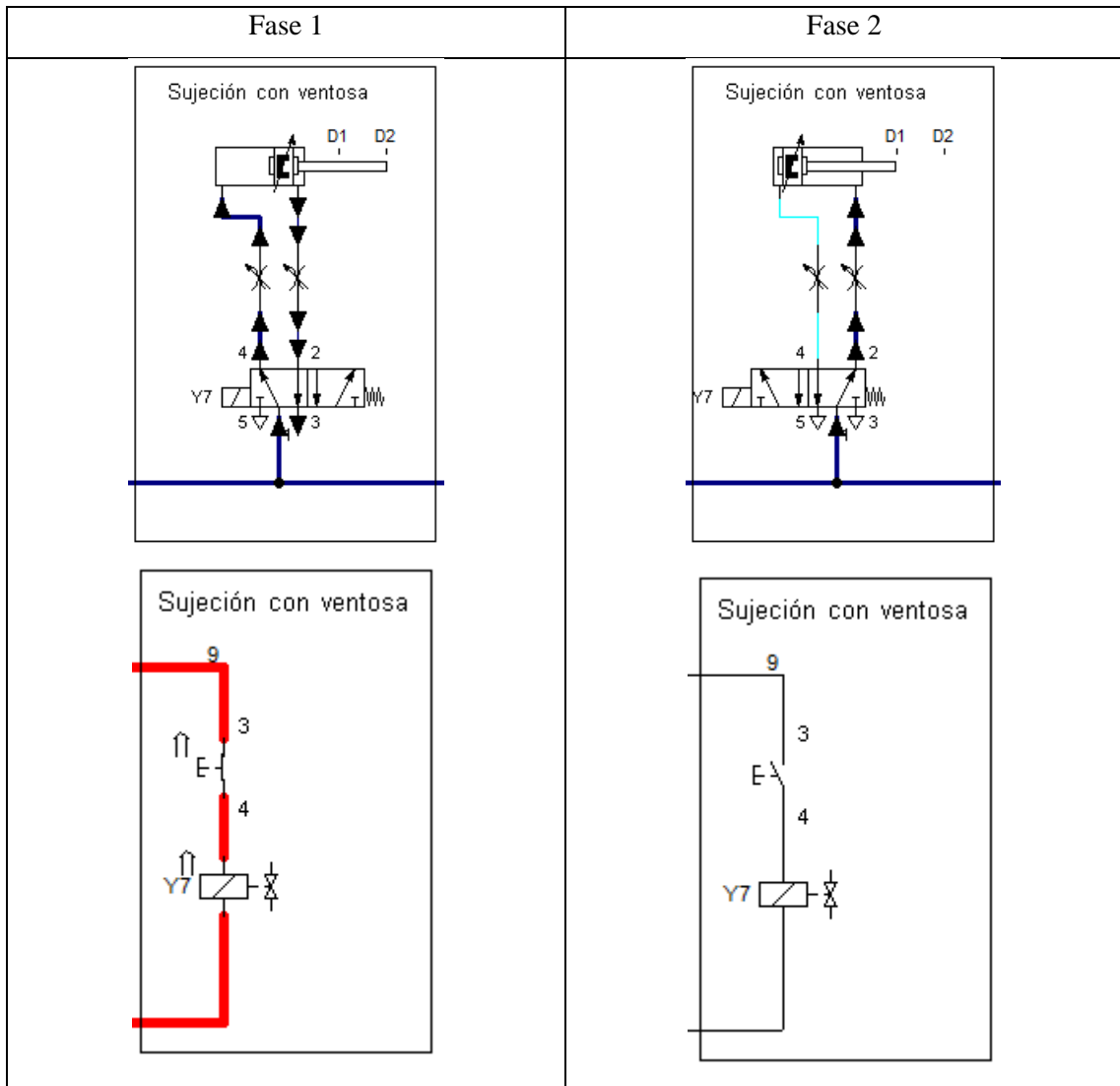


Ilustración 3-47: Fase 1 y Fase 2

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

En la fase 3, los cilindros del sistema de sujeción deben desplazarse hasta el nivel superior del molde, lo que implicó un recorrido de 50mm. Esto permitió que el sistema de sujeción esté en posición para recibir la plancha de plástico. Se puede observar la posición de los cilindros 1, 2 y 3 en la ilustración 3-48, el cilindro 4 permanece en su posición inicial.

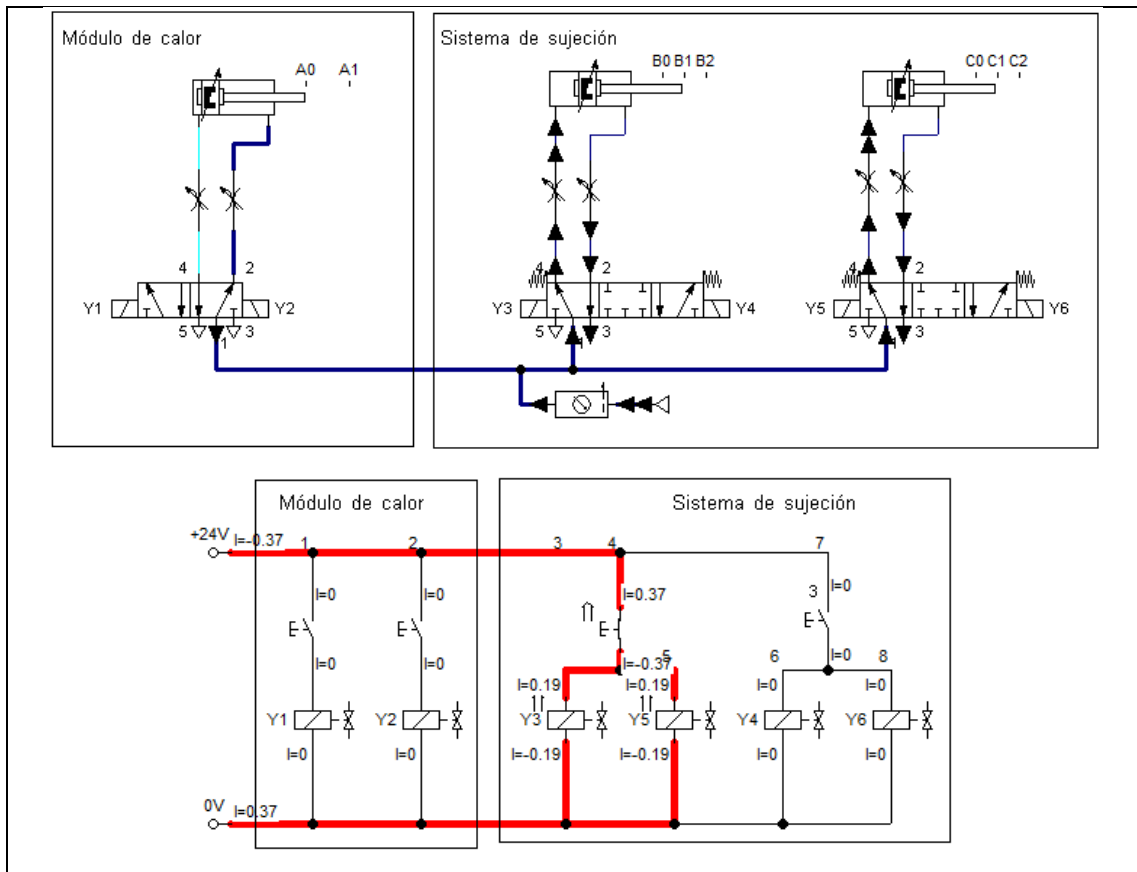
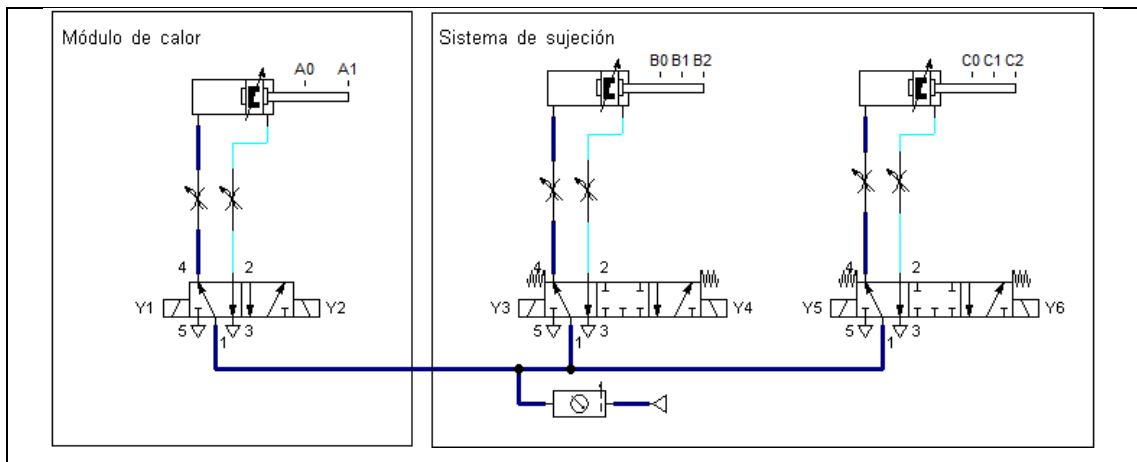


Ilustración 3-48: Fase 3

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

En la fase 4, los cilindros del sistema de sujeción y el cilindro del módulo de calor deben extender el embolo alcanzando su recorrido máximo. Esto permite el proceso de calentamiento de la plancha de polipropileno. La posición de los cilindros 1, 2 y 3 se muestra en la ilustración 3-49, el cilindro 4 permanece en su posición inicial.



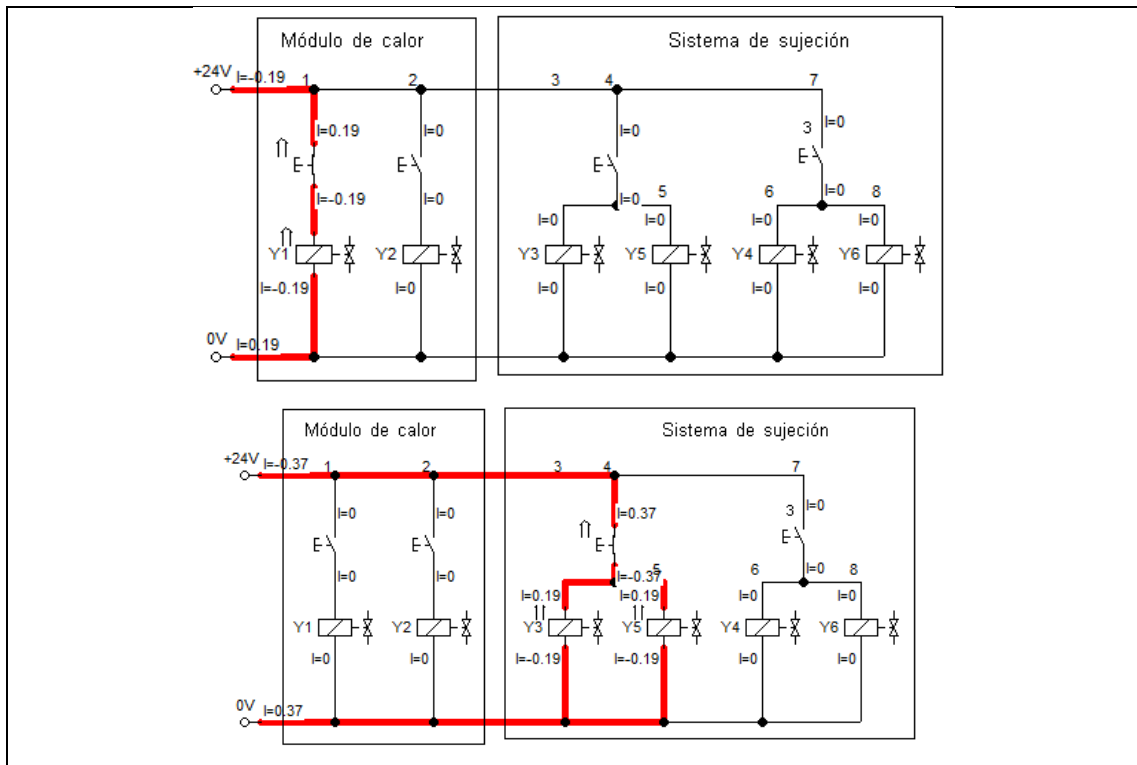
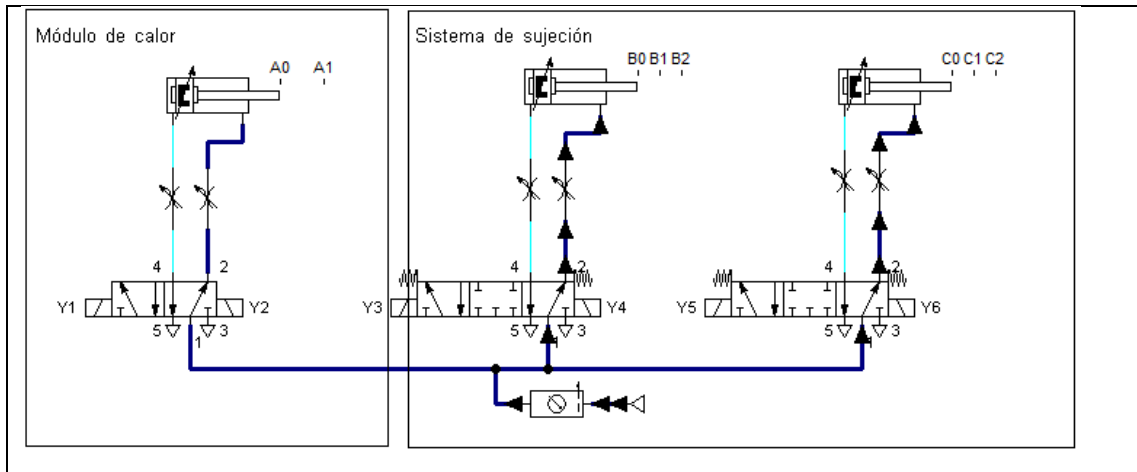


Ilustración 3-49: Fase 4

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

En la tercera etapa, los cilindros del sistema de sujeción y el cilindro del módulo de calor deben retraer el embolo en su totalidad. Esto permite el proceso de formado al vacío de la plancha de polipropileno. La posición de los cilindros se muestra en la ilustración 3-50.



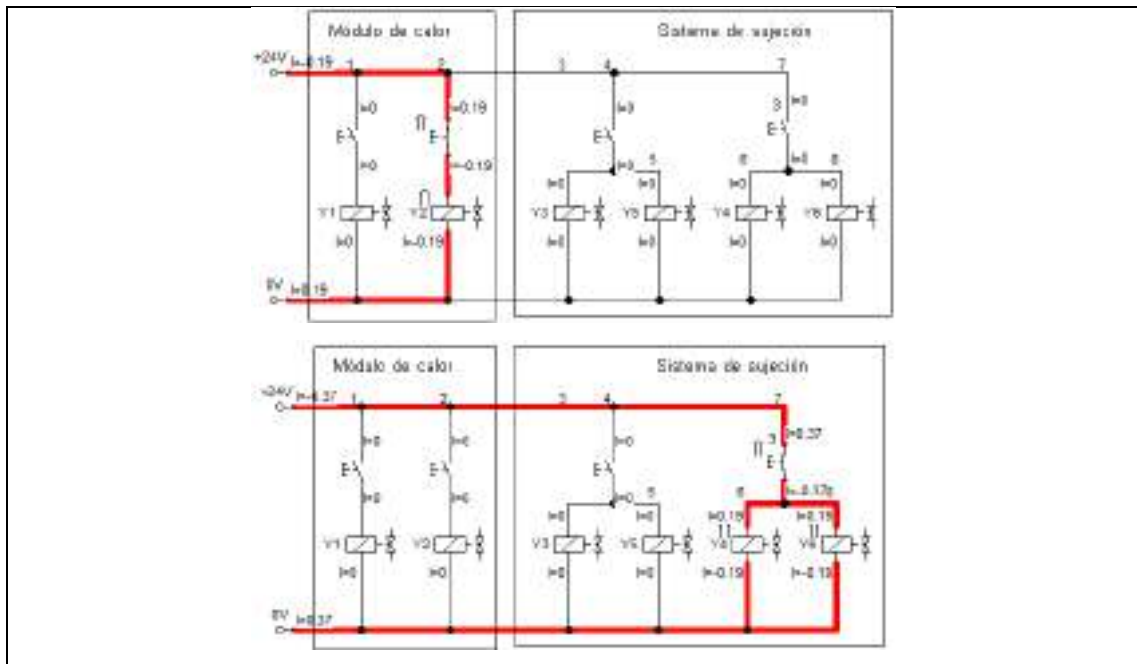


Ilustración 3-50: Fase 5

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

En la fase 6 el cilindro 4 se extiende hasta la plancha de plástico previamente termoformada, posterior, en la fase 7, el cilindro se retrae con la plancha de plástico. En la fase 8 el cilindro se extiende para dejar la lámina termoformada en la zona de producto terminado, luego, en la fase 9 el cilindro se retrae. Véase en la ilustración 3-46 la posición del cilindro 4, la fase 1 y 2 es igual a la fase 6-7 y 8-9, los otros cilindros permanecen en la posición inicial.

3.7.8. Cámara de vacío

La cámara de vacío consiste en un recipiente con paredes sólidas, desde el cual se elimina el aire que está contenido en su interior y también aquel que se encuentra en la burbuja formada entre la lámina del PP precalentada y el molde utilizado para el termoformado. La extracción del aire de la burbuja se llevó a cabo utilizando una serie de perforaciones dispuestas en la parte superior de la cámara.

3.7.8.1. Elementos de formado al vacío

En esta etapa del proceso, se necesitan dos componentes clave que trabajan en conjunto: la caja de vacío y el mecanismo de succión. La función principal de la caja de vacío es distribuir la absorción del aire generada por el vacío. En base a esto, el mecanismo de succión se conecta a la caja con el fin de crear el vacío necesario para moldear la lámina de plástico caliente, de modo que adopte las formas deseadas.

Componentes de succión

A continuación, se enuncia y se selecciona la herramienta de succión en base a los requerimientos del prototipo y las características mismas del componente.

Bomba al vacío: Es un aparato eléctrico diseñado para eliminar moléculas gaseosas de un espacio herméticamente sellado, siendo comúnmente utilizado en entornos industriales. Su operación depende de la presencia de un tanque de vacío adicional que actúa como un depósito acumulador para su correcto funcionamiento, manejan una potencia del 20 a 200HP. Véase la bomba al vacío en la ilustración 3-51. (Brusil. E, 2016, págs. 38-39)



Ilustración 3-51: Bomba al vacío

Fuente: (Brusil. E, 2016, págs. 38-39)

Generador de vacío: Estos componentes son dispositivos que pueden generar un vacío utilizando aire comprimido como su fuente de energía. Funcionan según el principio de Venturi, donde la velocidad del flujo de aire se incrementa en una sección estrecha, generando una presión más baja y, por ende, un vacío. Para su operación efectiva, necesitan la presencia de un compresor que suministre el aire comprimido como fuente de energía. Su caudal máximo de aspiración suele ir de 40.5 a 200 l/min. Véase el generador de vacío en la ilustración 3-52. (Brusil. E, 2016, págs. 38-39)



Ilustración 3-52: Generador de vacío

Fuente: (Brusil. E, 2016, págs. 38-39)

Motor de aspiradora: El funcionamiento de una aspiradora se fundamenta en uno o varios ventiladores o turbinas que generan vacío mediante la creación de una diferencia de presión. Estos dispositivos dependen de corriente eléctrica para operar eficazmente. Pero normalmente dentro del mercado la potencia ofrecida va de 1hp a 3hp para uso común e industrial. Véase el motor de aspirador en la ilustración 3-53. (Brusil. E, 2016, págs. 38-39)



Ilustración 3-53: Motor de Aspiradora

Fuente: (Brusil. E, 2016, págs. 38-39)

Los criterios de selección que se consideraron importantes son:

- Disponibilidad: Se busca adquirir equipos que estén fácilmente disponibles en el mercado nacional para no tener problemas relacionados con importaciones.
- Potencia de succión: El dispositivo seleccionado debe ofrecer una potencia de succión que se ajuste a los niveles de vacío óptimos requeridos para el proceso de termoformado.
- Costo: El costo total de la maquinaria debe ser accesible.

Tabla 3-13: Selección del método de succión

Criterios	Bomba de vacío	Generador de vacío	Motor de Aspiradora
Disponibilidad	Alta	Media	Alta
Potencia	20-200 hp	40 a 200 l/min	1 a 3 hp
Costo	\$100-150	\$100	\$85

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

De acuerdo con lo descrito en los requerimientos del prototipo se optó por emplear un sistema de succión mediante el motor de una aspiradora, puesto a que este método implica un menor costo de adquisición y ofrece el rango de potencia óptimo para el proceso de termoformado teniendo

en cuenta el material a termoformar. También su disponibilidad es de gran ventaja ya que existen varios modelos en el mercado ecuatoriano.

La cámara debe contar con orificios en la superficie de esta para que la hoja precalentada tome la forma del molde de manera correcta. Estos orificios deben ser pequeños para que no dejen marcas significativas en el acabado del producto, en base a PLASTIGLAS (2020, pág. 43), el diámetro puede variar entre 1/32" a 1/8".

Considerando las dimensiones del marco (véase en la ilustración 3-54) y teniendo en cuenta que el diámetro del tubo es de 25,4 mm, se estableció que el espacio interior es de 28 por 28 centímetros. Esto permite que la lámina precalentada entre en contacto con la superficie perforada y se inicie el proceso de formación.

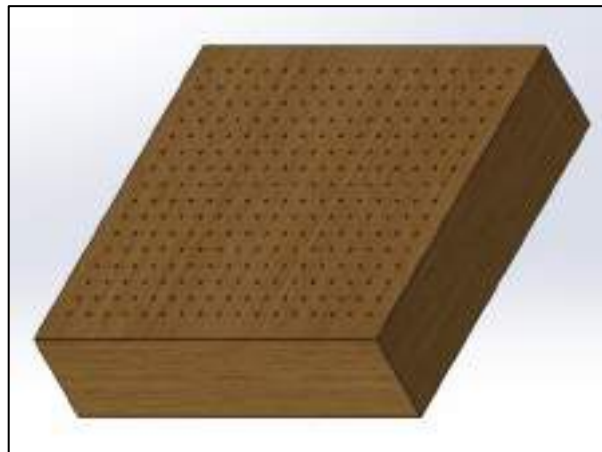


Ilustración 3-54: Cámara de vacío modelo CAD

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

3.7.8.2. Aspiradora

Como se ha mencionado previamente, se eligió una aspiradora como el mecanismo para crear el vacío requerido. Normalmente, la potencia de una aspiradora se expresa en vatios (W), y esto no detalla específicamente la potencia de succión, sino más bien la potencia del motor. La capacidad de succión puede variar no solo en base a la potencia del motor, sino también debido al diseño específico de cada modelo. No obstante, este dato de potencia de motor puede considerarse como un indicador aproximado de la presión de vacío estimada que puede generar la aspiradora.

En base a un estudio experimental realizado por Brusil (2016, págs. 66-67), en el cual se realizaron pruebas con motores de distintas potencias y se elaboró una tabla con los resultados obtenidos,

expresados en porcentaje de muestras satisfactorias. Se llevaron a cabo pruebas en un modelo de máquina manual de termoformado, utilizando orificios con un diámetro de 2.5 milímetros y a una distancia de 12 milímetros, con una altura de la caja de 6 centímetros como se muestra en la ilustración 3-54. Se muestran ahora en la tabla 3-14 los valores obtenidos experimentalmente.

Tabla 3-14: Muestras satisfactorias en función de la potencia de aspiradoras

Potencia HP (W)	Muestras satisfactorias (%)
1,88	80
2	80
2,5	90
3	100

Fuente: (Brusil. E, 2016, págs. 66-67)

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

Nota: El porcentaje está expresado en base al resultado de 10 muestras.

Estos resultados del experimento se compararon con estudios realizados por personas con experiencia en el tema como TK560 (2009, párr. 9), por lo cual se recomienda optar por aspiradoras que tengan una potencia cercana a los 3 caballos de fuerza (HP); por lo tanto, se ha elegido esta potencia para el proceso. Es importante señalar que, si bien el nivel de succión generado por el motor de una aspiradora no es extremadamente alto, sí es adecuado para el propósito específico de esta aplicación.

Por ende, se utilizó un motor de aspiradora con una potencia de 3 caballos de fuerza (HP), en este caso se seleccionó una aspiradora 3gl 3hp p' seco/húmedo stanl, como se muestra en la ilustración 3-55.



Ilustración 3-55: ASPIRADORA 3GL 3HP P' SECO/HUMEDO STANL

Fuente: (PINTULAC, 2024)

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

La cámara de vacío se definió con las dimensiones de 27,5 x 27,5 x 6 cm, y los orificios en la tapa superior de la cámara con un diámetro de 2.5 milímetros, espaciados a una distancia de 12 milímetros entre cada uno. Además, la tapa superior de la cámara que tienen los orificios está fabricada con acero ASMT A5830 de 1.1 milímetros de espesor. Esta elección se fundamenta en que está expuesta a temperaturas relativamente altas que podrían causar deformaciones en la madera si se emplea a largo plazo.

3.7.8.3. *Tiempo de vacío*

Se ha determinado que el tiempo de vacío necesario sobre una plancha de polipropileno es de aproximadamente 15 segundos. Este tiempo ha sido identificado como el período óptimo para garantizar una adhesión adecuada sin comprometer la calidad del producto final. (TK560, 2009, párr. 26)

3.7.9. *Sistema de Control*

La fase más destacada y novedosa del proceso de fabricación de valvas reside en el control automático de la máquina. En esta etapa, se reciben señales de entrada procedentes de diversos elementos, se interpretan y se emiten señales de control hacia los componentes necesarios para alcanzar el objetivo establecido. Este proceso se muestra en la ilustración 3-56 mediante un diagrama que representa las entradas y salidas del sistema de control.



Ilustración 3-56: Diagrama de entradas y salidas del sistema

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

3.7.10. *Selección del Hardware*


3.7.10.1. *Módulo de procesamiento*

El módulo de procesamiento es el componente principal del funcionamiento del prototipo de termoformado ya que se encarga de adquirir, procesar, controlar y visualizar la información generada durante todo el proceso. Para el presente trabajo se tomó en cuenta módulos que sean

capaces de soportar software para aplicaciones de interfaz gráfica, dispongan de un procesador que trabaje a una buena velocidad para procesamiento de datos, su tamaño no ocupe un gran espacio y sea de costo moderado.

Teniendo en cuenta los requerimientos del prototipo en el mercado, existe una amplia gama de módulos de procesamiento que permiten cumplir con el objetivo, como son los desarrollados por las compañías de Raspberry, en este caso se seleccionó el módulo de procesamiento más vendido que es la Raspberry Pi 4. Las características se presentan en la tabla 3-15.

Tabla 3-15: Raspberry PI 4

Componente	Especificaciones	Raspberry Pi 4
 <p>RASPBERRY PI 4</p>	E/S analógicas	-
	E/S digitales	40 GPIO
	Protocolos de comunicación	UART, SPI, I2C
	Volteja de operación	3.3 V
	Software	Libre
	Hardware	Privado
	Entorno de programación	Phyton
	Procesador	ARM CORTEX
	RAM	1, 2, 4 GB
	Almacenamiento	MicroSD
	Wireless	802.11 AC
	Salida de video	HDMI
	USB	4
	Voltaje de alimentación	5 V
	Corriente de consumo	500 mA
	Dimensiones	85x53 mm
	Tipo de alimentación	Cargador
Frecuencia de trabajo	2 GHz	
Precio	\$ 350	

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

Fuente: (RASPBERRY PI LTD, 2024, párr. 1)

Aunque el módulo seleccionado tiene la capacidad de llevar a cabo los procesos del sistema, presenta un inconveniente relacionado con el voltaje de operación de sus pines de GPIOs, que operan a un voltaje nominal de 3.3V, siendo inadecuado para la mayoría de los elementos electrónicos. Además, la cantidad limitada de pines disponibles se vuelve insuficiente dada la extensión de las tareas requeridas. Ante este desafío, se propuso dos alternativas: la creación de una tarjeta acondicionadora de señal o la utilización de una tarjeta de interfaz de comunicación.

Aunque la primera opción es viable, persiste la limitación en cuanto a la cantidad de pines de conexión, por lo cual se optó por la segunda alternativa.

3.7.10.2. Tarjeta interfaz módulo de procesamiento de datos

El propósito de la tarjeta interfaz es establecer un canal de comunicación entre dicho módulo y los componentes del sistema. En base a esto, se llevó a cabo un análisis de las tarjetas de desarrollo que operan a un voltaje nominal de 5 V y que incorporan una interfaz de comunicación serial UART, permitiendo su conexión a través de USB.

En el mercado, las tarjetas que desarrolla Arduino, reconocidas por su software de código abierto, son las más utilizadas. Para la selección, se consideró modelos específicos como: Uno, Mega y Due. Dado que el prototipo del sistema incorpora un considerable número de componentes electrónicos, cada uno de los cuales requiere al menos 3 pines de conexión, se optó por usar la tarjeta Arduino Mega. Esta elección se fundamenta en la abundancia de pines disponibles en dicha tarjeta, permitiendo la conexión efectiva de los componentes, así como facilitando la comunicación serial y la conexión a través de USB.

Un aspecto adicional que favorece esta elección es el voltaje de operación de 5V, lo que posibilita el control efectivo de los actuadores del sistema mediante las instrucciones emitidas por el módulo de procesamiento. A continuación, en la tabla 3-16 se presenta las características principales del Arduino Mega.

Tabla 3-16: Arduino MEGA

Componente	Especificaciones	Arduino Mega
	E/S analógicas	16 / 0
	E/S digitales	54
	Protocolos de comunicación	UART, SPI, I2C
	Volteja de operación	5 V
	Software	Libre
	Hardware	Libre
	Entorno de programación	Arduino IDE
	Procesador	ATMEGA 2560
	Almacenamiento	EEPROM 4 Kb
	RAM	256 Kb
	Wireless	No
	Tipo USB	Estándar
	Voltaje de alimentación	5 - 12 V

 <p>ARDUINO MEGA</p>	Corriente de consumo	40 mA
	Dimensiones	101,52x53,3 mm
	Tipo de alimentación	Batería/USB
	Frecuencia de trabajo	16 MHz
	Precio	\$ 60

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

Fuente: (ANON, 2024, párr. 1)

3.7.10.3. *Sensores del prototipo*

Los sensores empleados están enfocados en la detección del parámetro de posición del sistema de transporte y en el control de la temperatura de las resistencias tubulares.


3.7.10.3.1. *Sensores de posición del sistema de transporte*

Debido a que el sistema de transporte cuenta con componentes electromecánicos móviles para efectuar desplazamientos por las estaciones, es necesario analizar sensores robustos que determinen la presencia del objeto mediante contacto directo descartando por este motivo los sensores de distancia puesto que ante el constante movimiento de la estructura podrían tender a falsos positivos durante la operación del sistema.

En base a lo descrito, en el proceso de diseño se optó por el uso de sensores finales de carrera para determinar la posición del sistema de transporte permitiendo establecer los límites de movimiento, así como un punto referencial para la ubicación en el entorno. Véase en la tabla 3-17 las características principales del sensor fin de carrera.

Tabla 3-17: Final de carrera

Sensor	Especificaciones	Final de Carrera
	Voltaje de alimentación	6 - 36 V
	Rango	Contacto
	Precisión	Alta
	Material	Cuerpo plástico
	Acondicionador	No
	Contacto NO/NC	Sí/Sí
	Cable de conexión	No

 <p>FINAL DE CARRERA</p>	Dimensión	28x16x10 mm
	Precio	\$0,25


Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

Fuente: (NOVATRONIC, 2020, párr. 1)

3.7.10.3.2. Controlador de temperatura

De acuerdo con Arian S.A (2001, pág. 2), los sensores de temperatura más comunes, económicos y de fácil reemplazo en entornos industriales son las termocuplas tipo J y K, así como los RTD Pt100. Una termocupla se compone de dos alambres de materiales diferentes unidos en un extremo. Cuando se expone a una temperatura específica en el punto de unión de los metales, se genera un voltaje mínimo que aumenta de manera proporcional con la temperatura. Por estas razones se escogió la termocupla tipo K para controlar la temperatura del presente proceso.

Tabla 3-18: Termocupla tipo K

<p>Termocupla tipo K</p> 	<p>Usos comunes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Registro de temperaturas en el rango de 0 a 700 °C. • Utilización de termocuplas de contacto para medir en tambores rotatorios. • Monitoreo de la temperatura de motores mediante el uso de termocuplas autoadhesivas.
---	--

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

Fuente: (ELECTRONICS, 2022, párr. 1)

Se eligió un controlador de temperatura inteligente REX-C700, como se muestra en la ilustración 3-57 para ajustar la señal de la termocupla y controlar el módulo de calor. Este dispositivo permite ingresar la temperatura deseada y mediante salidas por relés regula la operación de la resistencia tubular.

El sistema de controlador utiliza un lazo ON/OFF. Cuando la temperatura del calefactor supera el valor seteado, se suspende la alimentación a las resistencias tubulares.

En caso de que la temperatura esté debajo de este parámetro, se activa el controlador, estas acciones buscan mantener una regularidad en del sistema. A consecuencia del amperaje necesario para cubrir el consumo de las resistencias tubulares, se optó por incluir un contactor T02BN13, ya que el controlador proporciona 10 [A], de tal manera al incluir el contactor este ayuda a cubrir los 27 [A] necesarios.



Ilustración 3-57: Controlador de temperatura REX-C700 y contactor T02BN13

Fuente: (KAMPA, 2018, párr. 1), (SCHEIDER, 2024, párr. 1)

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

3.7.10.4. Módulos de Relé

Para el control de los equipos del prototipo se hace uso de módulos de relés que tienen un alto grado de aislamiento eléctrico y una capacidad de conmutar altas corrientes y voltajes. Teniendo en cuenta que los componentes trabajan a diferentes voltajes, es decir, 6 de ellos trabajan con un voltaje de 12V AC y 4 de ellos trabajan a 110V AC, por ende, se implementó un sistema de control mediante un módulo de 8 relés para los componentes que trabajan a 12V DC y un módulo de 4 relés para trabajar a 110V AC. Véase en la ilustración 3-58 los módulos de relés.

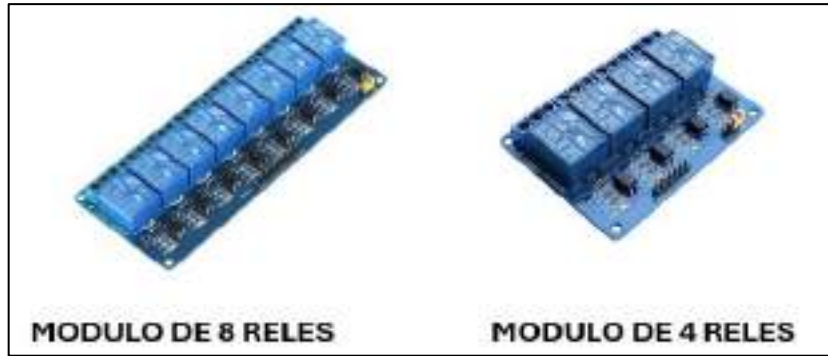


Ilustración 3-58: Módulos de Relé

Fuente: (AVELECTRONICS, 2024, párr. 1)

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024.

3.7.10.5. Fuente de energía

Existen componentes dentro del prototipo que funcionan a 12V DC, y debido a que en la región y los hogares se distribuye una energía de 110V AC, se buscó alternativas tales como una fuente centralizada de voltaje y fuente ATX, debido a que estas funcionan a 110V AC y disminuyen la energía a 12V DC para el correcto funcionamiento de equipos tales como: motores, actuadores y relés. Véase en la ilustración 3-58 las alternativas y en la tabla 3-19 sus características.



Ilustración 3-59: Fuentes de Energía

Fuente: (DIGITAL SERVER, 2023, párr. 1)

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Tabla 3-19: Características técnicas de información

Especificaciones	Fuente DC	Fuente ATX
Voltaje de entrada	110-220 VAC	110-220 VAC
Voltaje de salida	12 VDC	3.3, 5, 12 VDC
Corriente	10, 20, 30 A	8, 15, 25A
Tipo de conexión	Borneras	Cables SATA
Dimensiones	Compacta	Media
Precio	\$20	\$40

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Fuente: (DIGITAL SERVER, 2023, párr. 1), (DIGITAL SERVER, 2022, párr. 1)


Como fuente de energía se optó por una fuente DC centralizada con salida de voltaje a 12 VDC 30 A debido a que cuenta con la capacidad de corriente suficiente para abastecer a todos los componentes del prototipo, su conexión es sencilla y se adapta a los conectores empleados en el prototipo, finalmente su costo es la mitad del otro de tipo de fuente analizado.

3.7.10.6. Visualización del entorno grafico

Dado que uno de los requisitos fundamentales del prototipo implica la creación de una interfaz gráfica destinada al control y la representación visual de los estados de los procesos que lleva a cabo, es importante elegir un componente que facilite la visualización de la interfaz desarrollada.

Para visualizar la interfaz del prototipo, se eligió una Laptop marca Lenovo debido a su tamaño y resolución, lo que posibilita una correcta presentación de la interfaz. Su ventaja radica en que no requiere estar conectado directamente a los pines del módulo, lo que permite ubicarlo de manera conveniente sin interferir directamente en el funcionamiento del prototipo. Aunque no posea una interfaz de conexión HDMI, se supera este inconveniente mediante el de una dirección IP mediante el Wifi de esta manera se estableció la conexión.

Tabla 3-20: Monitor

Componente	Especificaciones	Monitor
	Marca	Lenovo
	Tamaño	16"
	Resolución	1920 x 1080
	Angulo de visión	180 °
	Interfaz	Wifi
	Longitud del cable	1.5 m

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Fuente: (LENOVO, 2024, párr. 1)

3.8. Construcción de máquina de termoformado

A continuación, se describe el procedimiento seguido para la construcción de cada componente de la máquina.

3.8.1. Construcción de Estructura

- Se realizaron cortes en el tubo estructural cuadrado conforme a las dimensiones especificadas en los planos
- Se unieron cada una de las piezas mediante una soldadora eléctrica
- Se llevó a cabo el esmerilado, pulido y el pintado de la estructura

Véase en la ilustración 3-60 la construcción.



Ilustración 3-60: Construcción de estructura

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

3.8.2. *Construcción de Bodega de almacenamiento*

- Se cortó la madera conforme a las dimensiones especificadas en los planos.
- Se unieron cada una de las piezas haciendo uso de clavos y goma.
- Se llevó a cabo el pulido y el pintado.

Véase en la ilustración 3-61 la construcción.



Ilustración 3-61: Construcción de la estructura

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

3.8.3. *Construcción del sistema de transporte*

- Se cortó el perfil de aluminio conforme a las dimensiones especificadas en los planos.
- Se unieron los perfiles a la estructura haciendo uso de torillos y tuercas.

- Se unieron los componentes al perfilado.

Véase en la ilustración 3-62 la construcción.



Ilustración 3-62: Construcción del sistema de transporte

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

3.8.4. Construcción del módulo de calentamiento

- La construcción del modelo de calentamiento comenzó con la elaboración del marco utilizando el tubo estructural seleccionado, cortado según las medidas establecidas en el modelo CAD.
- Se utilizó una plancha de acero para recubrir el marco, y se instalaron rodamientos acoplados con tornillos.
- Posteriormente, se creó una plancha de acero para colocar dentro del marco de calentamiento, separando la fibra de vidrio del sistema de acople de las resistencias tubulares.
- Finalmente, se acopló un cilindro neumático para permitir el desplazamiento del sistema.

Véase en la ilustración 3-63 la construcción.



Ilustración 3-63: Construcción de módulo de calentamiento

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

3.8.5. Construcción del sistema de sujeción

- Se construyó el sistema de sujeción de la lámina termoformable, mediante una estructura conformada por el tubo estructural según las medidas del modelo CAD y se implementó un mecanismo de movimiento a partir del ensamble de motores nema 23.

Véase en la ilustración 3-64 la construcción.



Ilustración 3-64: Construcción del sistema de sujeción

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

3.8.6. Construcción del sistema de vacío

- Se elaboró la caja hermética a partir del material de madera de un espesor de 10 mm, con las dimensiones establecidas en el modelo CAD, teniendo en cuenta que la superficie en contacto con el material termoformable a alta temperatura es de acero.

Véase en la ilustración 3-65 la construcción.



Ilustración 3-65: Construcción de sistema de vacío

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

3.8.7. *Construcción del sistema de cableado*

- Se realizaron las conexiones de los componentes eléctricos implementados en el prototipo de igual manera las conexiones del sistema neumático, haciendo uso de mangueras de 6mm, 8mm y 10mm.

Véase en la ilustración 3-66 la construcción.



Ilustración 3-66: Construcción del sistema de cableado

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

3.8.8. *Conexión de los componentes hardware*

- Finalmente, se realizó las conexiones eléctricas de cada uno de los equipos en una caja eléctrica.

Véase en la ilustración 3-67 la construcción.



Ilustración 3-67: Componentes del hardware

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

3.9. Conexión del hardware del prototipo

Una vez completada la selección de los componentes hardware del prototipo, se procede a simular la conexión de cada uno de ellos utilizando el *software Fritzing*. Esta simulación permite verificar el funcionamiento de los componentes y anticipar posibles problemas antes de la implementación física del prototipo.

3.9.1. Esquema de conexión del prototipo

El diagrama de conexión de los componentes se elaboró en *Fritzing* y *Power Point*, donde la tarjeta Arduino Mega es el componente central. Esta tarjeta sirve como interfaz para gestionar el funcionamiento de los elementos de acuerdo con las órdenes enviadas por la tarjeta Raspberry PI. La tarjeta Arduino Mega es responsable de supervisar el estado de los sensores del sistema y controlar el movimiento de los motores a través de los controladores y módulos de relés.

3.9.1.1. Conexión de equipos a 110V AC

Los componentes que se conectan directamente a un voltaje de 110V AC, son los siguientes: fuente de energía, compresor Pretul 20L y compresor Porten 3L. Véase las conexiones en la ilustración 3-68.



Ilustración 3-68: Equipos a 110V AC

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

La conexión de las componentes a 110V AC mediante un módulo de relés de 4 estaciones empleados en el prototipo se puede visualizar en la ilustración 3-69 y los pines en la tabla 3-21. Los componentes están conectados al interruptor normalmente abierto del módulo de relé.

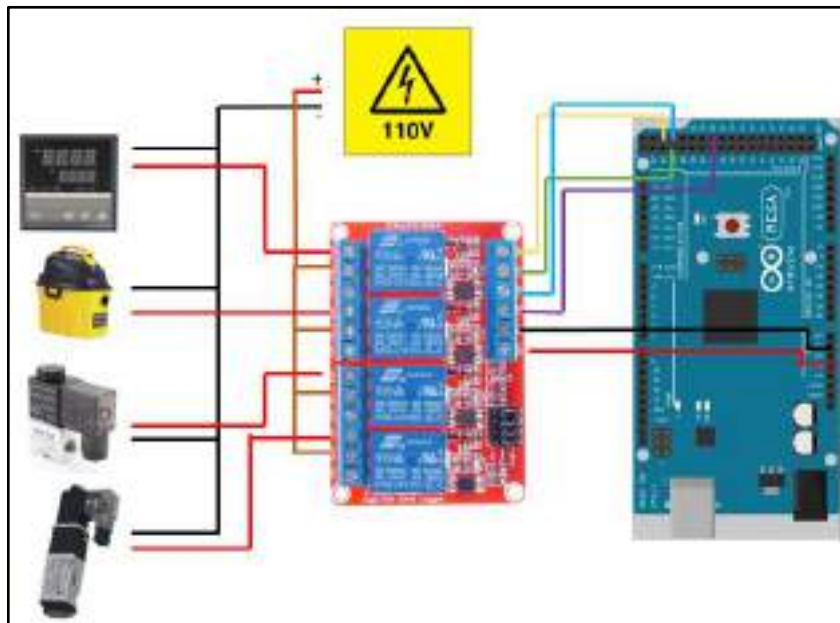


Ilustración 3-69: Equipos a 110V AC mediante módulo de relé

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Tabla 3-21: Pines de conexión del módulo de 4 relés.

Equipo	Pin	Pin de Controlador Arduino Mega
Controlador de temperatura	IN4	D25
Aspiradora	IN3	D26
Electroválvula 2/2	IN2	D27
Electroválvula 5/2	IN1	D35

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

En la ilustración 3-70 se puede ver la conexión del controlador de temperatura, la termocupla, el contactor y las resistencias.

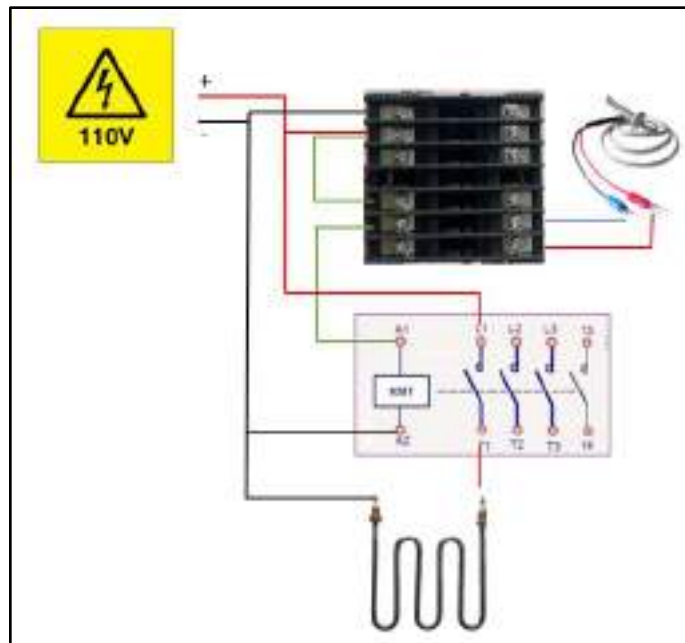


Ilustración 3-70: Conexiones del controlador de temperatura, contactor, termocupla y resistencias.

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

3.9.1.2. Conexión de Drives y motores.

La conexión del *driver* a la fuente de alimentación de la ilustración 3-71 es la misma para los demás.

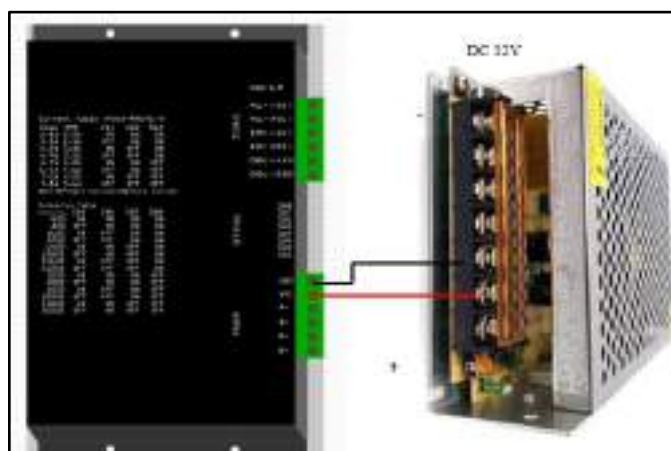


Ilustración 3-71: Conexión de Drivers y Motores Nema

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

La conexión de los 4 modelos de drivers controladores de los motores *NEMA* 17 y 23 empleados en el prototipo se pueden visualizar en la ilustración 3-72.

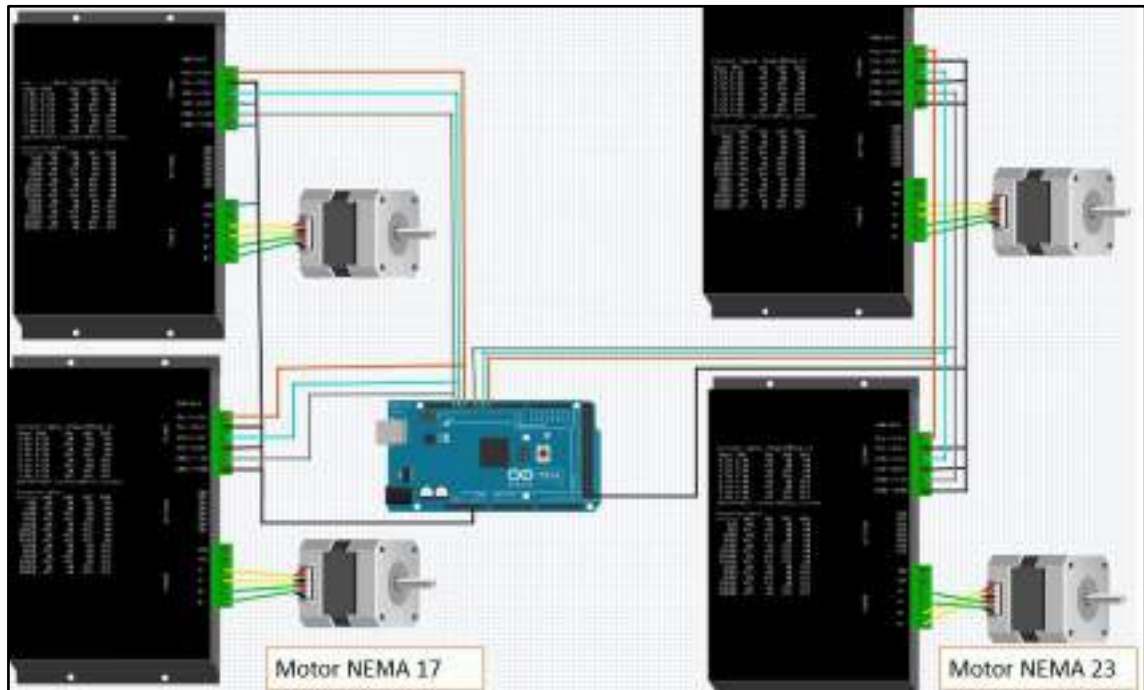


Ilustración 3-72: Conexión de Drivers y Motores Nema

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Las conexiones de las señales control van conectadas a los pines de la tarjeta Arduino Mega, mismos que se detallan en la tabla 3-22.

Tabla 3-22: Pines de conexión de los drivers con el controlador

Equipo	Pin	Pin de Controlador Arduino Mega
Driver TBA Motor NEMA 23	PUL +	D6
	PUL -	GND Común
	DIR +	D7
	DIR -	GND Común
	ENBL +	V8
	ENBL +	GND Común
Driver TBA Motor NEMA 17 A	PUL +	D10
	PUL -	GND Común
	DIR +	D11
	DIR -	GND Común
	ENBL +	V12
	ENBL +	GND Común

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Las conexiones de fuerza de los controladores se conectan a cada motor mediante los pines que se detallan en la tabla 3-23, teniendo en consideración que las conexiones de alimentación de la fuente de energía son comunes en todos.

Tabla 3-23: Pines de conexión de los drivers con los motores

Driver	Pin	Pin del motor
Driver TBA	V+	12V DC Fuente
	GND	GND Común
	A +	Inicio Primera Bobina A del Motor
	A -	Fin Primera Bobina A del Motor
	B +	Inicio Segunda Bobina B del Motor
	B -	Fin Segunda Bobina B del Motor

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Sin embargo, las conexiones de las bobinas del segundo motor *Nema 23* cambian, debido a que deben funcionar al mismo tiempo, pero en dirección opuesta, con el fin de poder abrir las compuertas. Véase en la tabla 3-24 las conexiones del segundo motor 23.

Tabla 3-24: Pines de conexión de los drivers con los motores

Driver	Pin	Pin del motor
Driver TBA	V+	12V DC Fuente
	GND	GND Común
	A +	Inicio Primera Bobina B del Motor
	A -	Fin Primera Bobina B del Motor
	B +	Inicio Segunda Bobina A del Motor
	B -	Fin Segunda Bobina A del Motor

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

3.9.1.3. Conexión de Sensores.

Para la conexión de los sensores empleados en el prototipo se considera que los sensores de fines de carrera son un sensor de tipo NPN con salida digital mismo que necesita una resistencia de 220 Ohm, con una conexión de tipo Pull up para detectar su estado, ilustración 3-73 y los pines en la tabla 3-25.

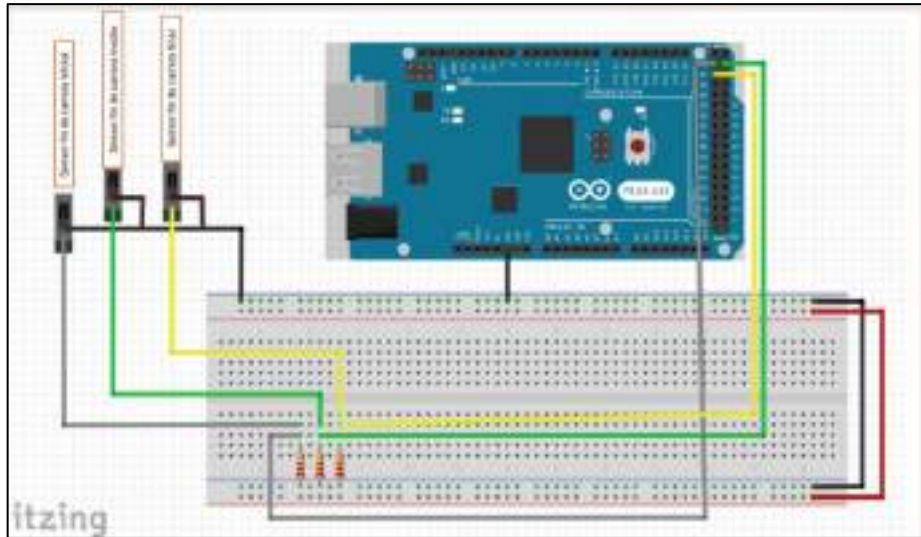


Ilustración 3-73: Conexión de sensores

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Tabla 3-25: Pines de conexión de los sensores.

Sensor	Pin	Pin de Controlador Arduino Mega
Sensor Fin de carrera inicio	C1	Resistencia Pull Up
	C2	D22
Sensor Fin de carrera medio	C1	Resistencia Pull Up
	C2	D23
Sensor Fin de carrera final	C1	Resistencia Pull Up
	C2	D24

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

3.9.1.4. Conexión de electroválvulas.

La conexión de las electroválvulas y controlador de temperatura, mediante un módulo de relés de 8 estaciones empleados en el prototipo de puede visualizar en la ilustración 3-74 y los pines en la tabla 3-26.

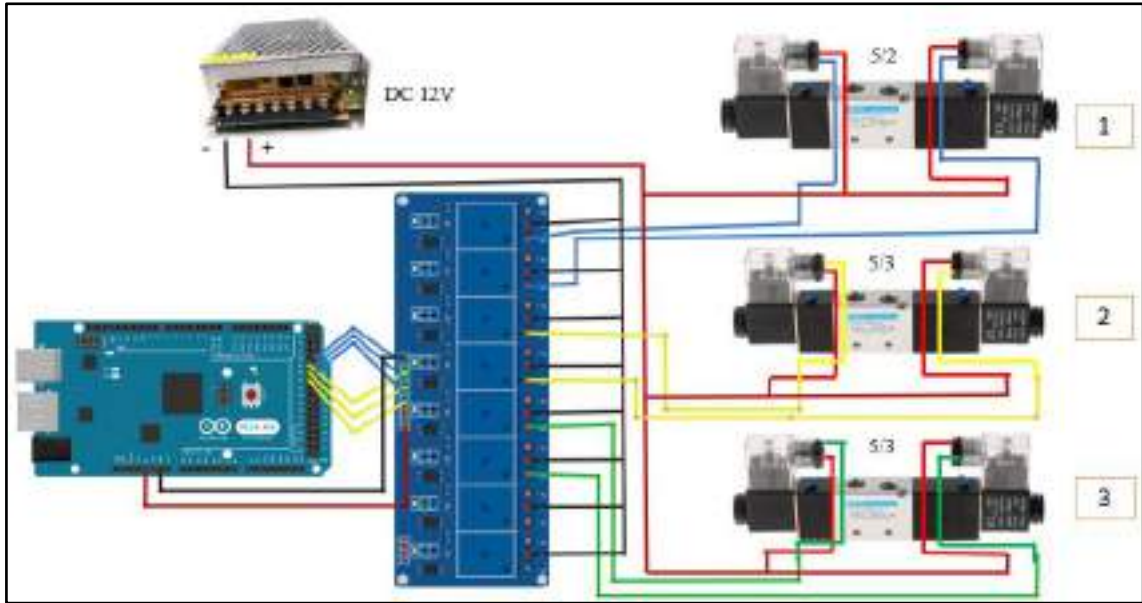


Ilustración 3-74: Conexión de electroválvulas

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Tabla 3-26: Pines de conexión del módulo de relé.

Sensor	Pin	Pin de Controlador Arduino Mega
Electroválvula 1	IN1	D29
	IN2	D30
Electroválvula 2	IN3	D31
	IN4	D32
Electroválvula 3	IN5	D33
	IN6	D34

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Al enviar una señal a los pines D29, D31 y D33, permiten extender el embolo de los cilindros y al enviar la señal a los pines D30, D32 y D34, permiten retraer el embolo de los cilindros.

3.9.1.5. Conexiones de botones y pulsadores.

Para la conexión de los botones empleados en el prototipo se considera un interruptor tipo manija (A), un botones con anclaje (C) y dos pulsadores (B y D). El interruptor A se utiliza para el encendido de la máquina, el botón C para el paro de emergencia, el pulsador B permite el inicio del proceso y el pulsador D, el reinicio del sistema. Véase en la ilustración 3-75 las conexiones y en la tabla 3-27 los pines.

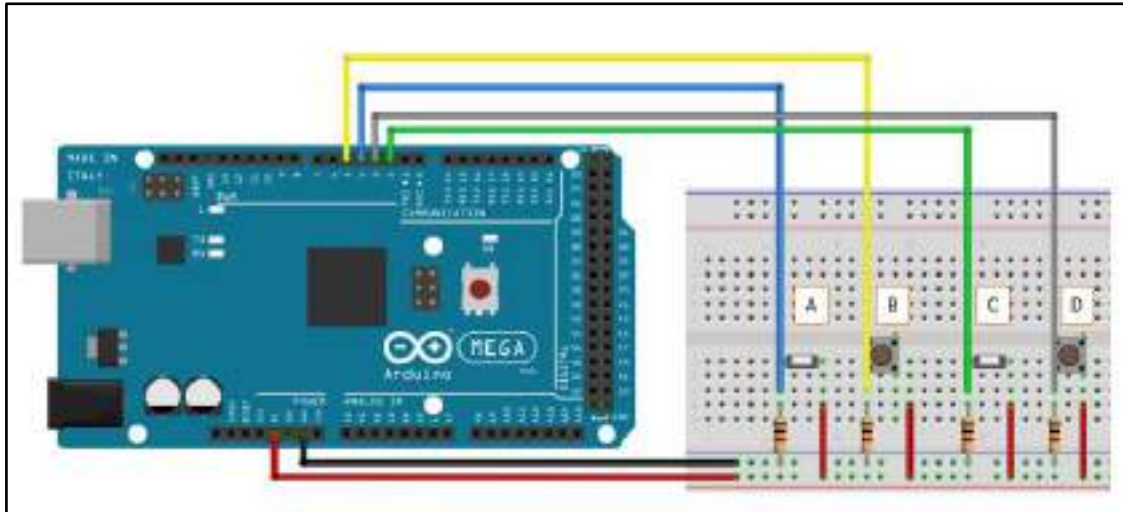


Ilustración 3-75: Conexión de botones y pulsadores

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Tabla 3-27: Pines de conexión del módulo de relé.

Sensor	Pin de Controlador Arduino Mega
Interruptor A (Encendido/Apagado)	D4
Pulsador B (<i>Start</i>)	D5
Botón C (Emergencia)	D2
Pulsador D (<i>Reset</i>)	D3

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

3.9.1.6. Conexión del módulo de procesamiento con la tarjeta gráfica.

La comunicación entre el módulo de procesamiento Raspberry PI 4 y la tarjeta de interfaz Arduino Mega 2560 se establece mediante una conexión serial UART. Esto se logra conectando los componentes a través de un cable USB a los puertos disponibles del módulo de procesamiento, facilitando así la comunicación entre ellos, tal como se visualiza en la ilustración 3-76.

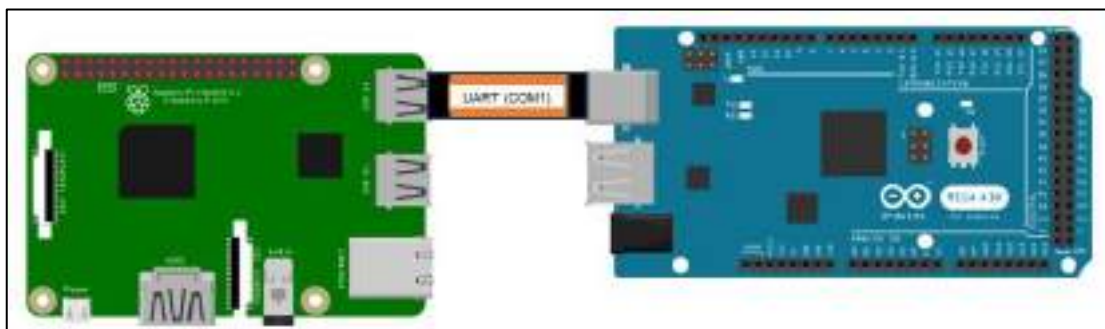


Ilustración 3-76: Conexión de módulo de procesamiento con la tarjeta gráfica.

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2023

3.10. Desarrollo de la programación

3.10.1. Interfaz Gráfica

La interfaz gráfica de usuario representa la vía principal de comunicación entre el usuario y la máquina termoformadora en nuestro sistema. Esta interfaz debe cumplir con requisitos de diseño específicos y debe incorporar todas las funcionalidades detalladas en los requerimientos del programa, contribuyendo así a la integración eficiente del sistema en su totalidad.

En la ilustración 3-77, se presenta el diagrama de flujo que detalla el proceso de diseño y creación de la interfaz gráfica de usuario.

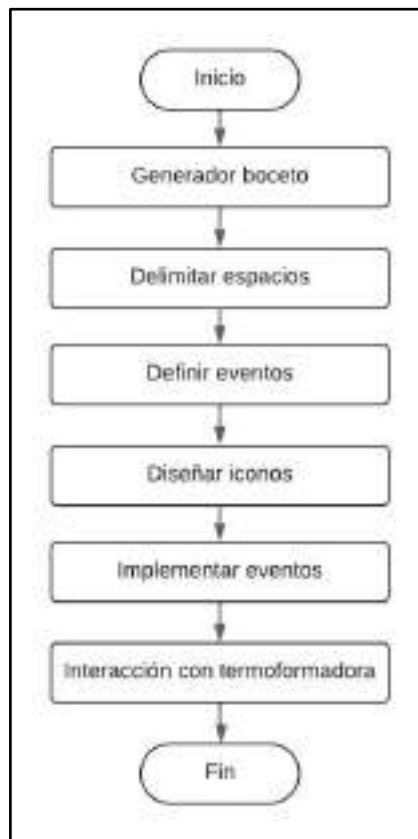


Ilustración 3-77: Algoritmo de elaboración de interfaz grafica

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

3.10.2. Algoritmo de Etapa 1 - Materia prima

Véase el algoritmo de la etapa 1- materia prima en la ilustración 3-78.

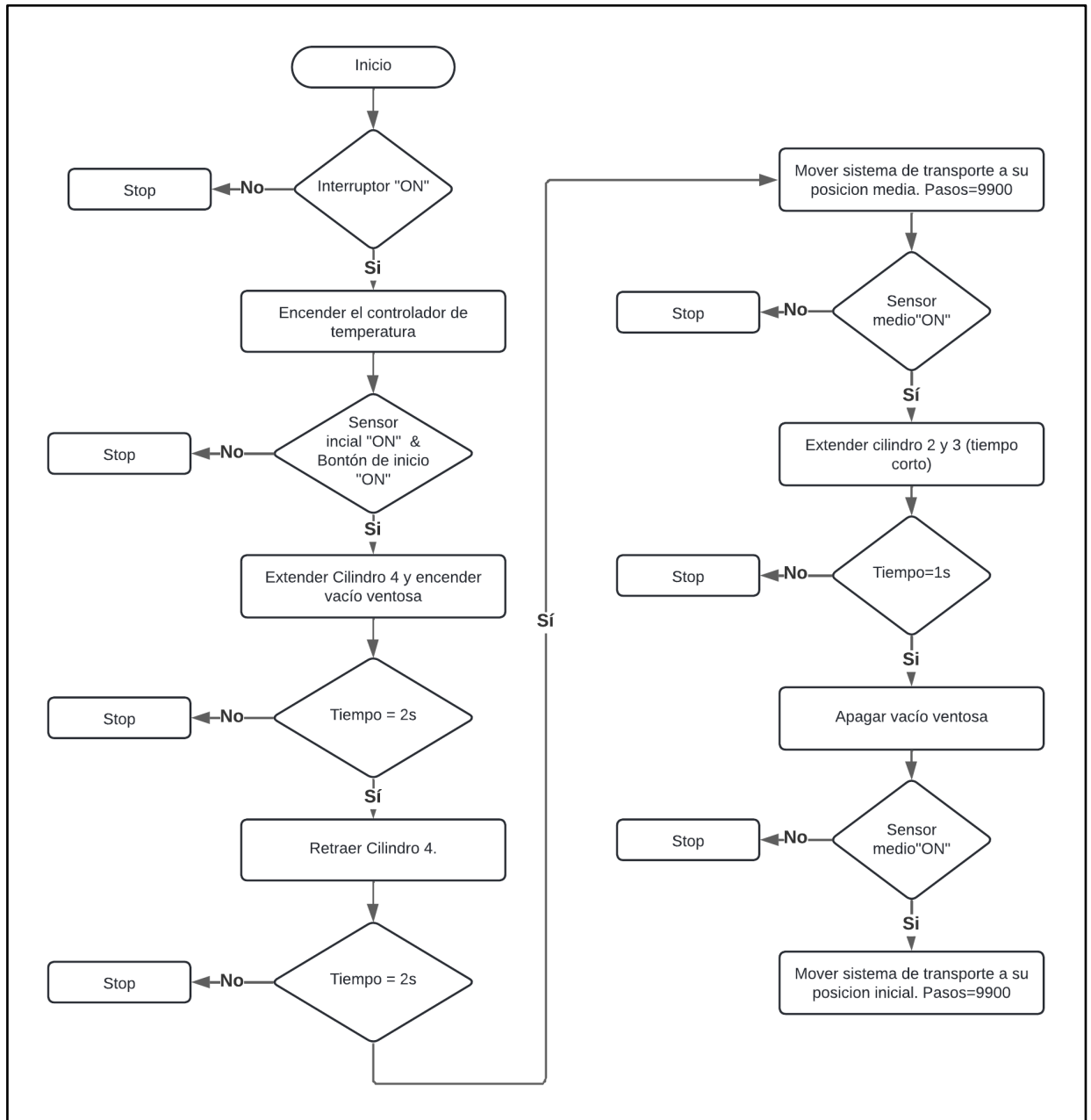


Ilustración 3-78: Algoritmo de Etapa 1 - Materia prima

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

3.10.3. Algoritmo de Etapa 2 - Termoformado

Véase el algoritmo de la etapa 2 - termoformado en la ilustración 3-79.

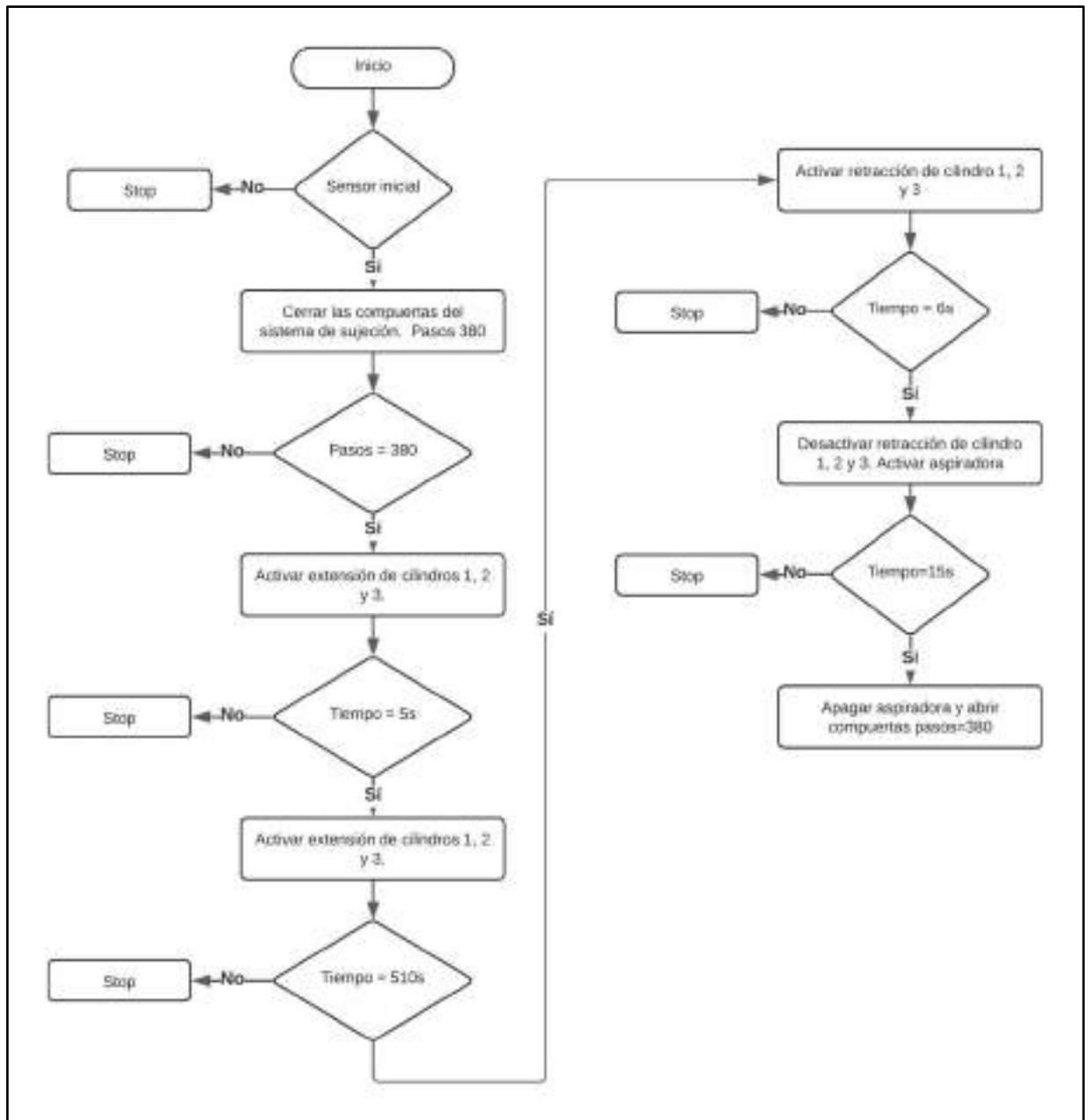


Ilustración 3-79: Algoritmo de Etapa 2 - Termoformado

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

3.10.4. Algoritmo de Etapa 3 – Producto terminado

Véase el algoritmo de la etapa 3 – producto terminado en la ilustración 3-80.

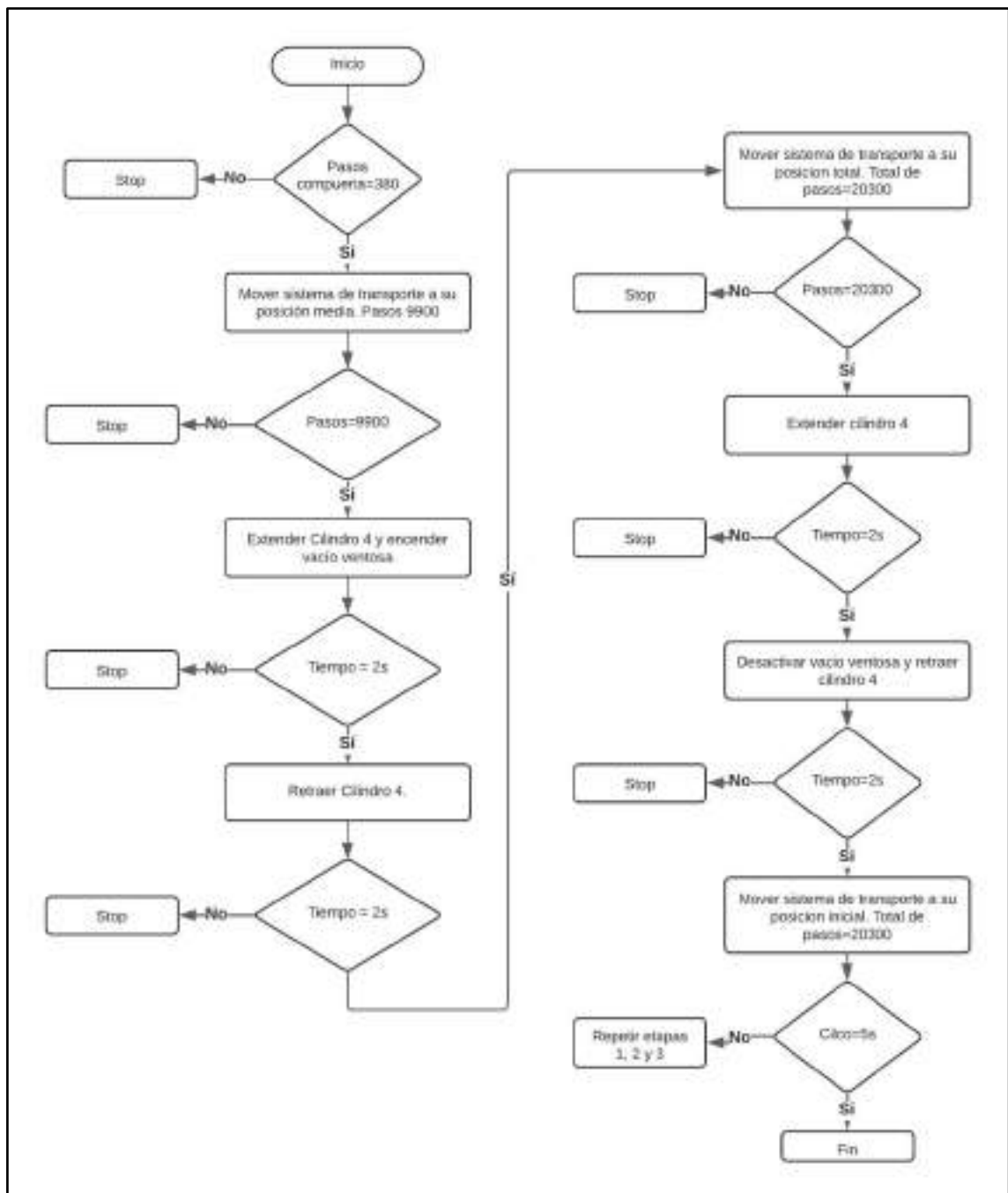


Ilustración 3-80: Algoritmo de Etapa 3 – Producto terminado

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

3.10.5. Programación en Arduino

Se realizó la programación de acuerdo con los requisitos establecidos para que la máquina fabrique las valvas de férulas antebraquiales de forma automática, véase la programación final en el anexo L.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se exponen los resultados alcanzados en la ejecución del presente trabajo en referencia a la programación y pruebas de funcionamiento del prototipo del sistema implementado.

4.1. Estación de termoformado para la elaboración de valvas de férulas antebraquiales.

En la ilustración 4-1 representa el prototipo de estación de termoformado resultante, donde se pueden observar las distintas estaciones, etapa 1 – materia prima, etapa 2 – formado y etapa 3 – producto terminado.

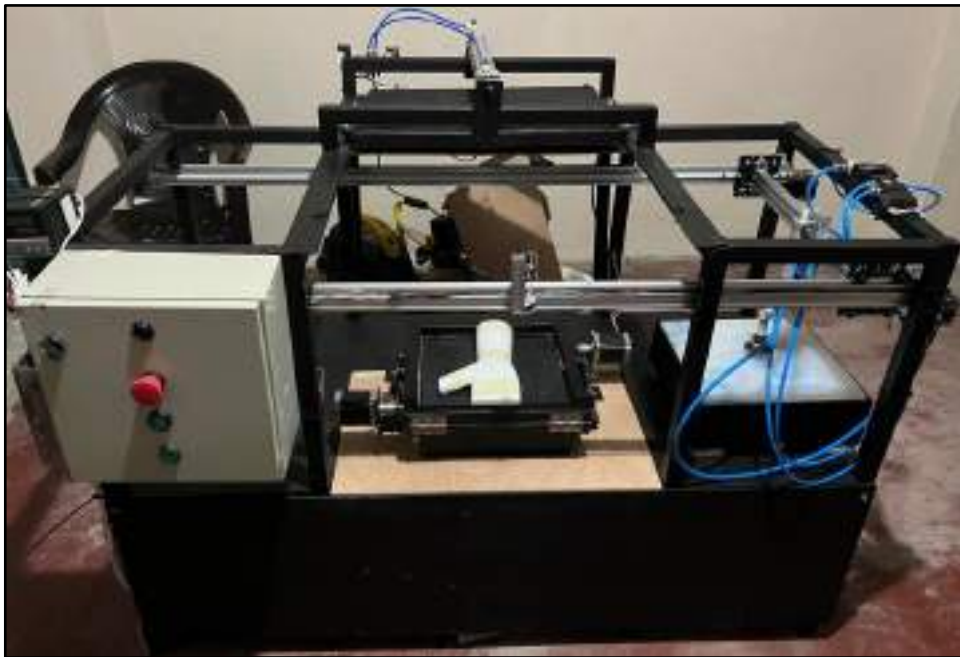


Ilustración 4-1: Prototipo de estación de termoformado

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024


Para el control de la máquina se tienen dos formas, la primera forma es una interfaz y la segunda opción es una caja de control. La interfaz gráfica permite editar especificaciones como el tiempo de calentamiento, de igual forma, permite controlar y supervisar el proceso. Véase en la ilustración 4-2 la interfaz gráfica.

Teniendo en cuenta los requerimientos iniciales del sistema, podemos afirmar que se ha alcanzado el objetivo de implementar el prototipo de estación de termoformado para la elaboración de férulas antebraquiales y el control a través de una interfaz gráfica.

4.2. Parámetros de Funcionamiento


Con todos los sistemas de la máquina ya implementados, se realizaron pruebas de funcionamiento con el objetivo de determinar los parámetros óptimos para elaborar la valva de férula antebraquial, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4-1: Prueba 1

Material	Espesor (mm)	Temperatura °C	Tiempo de calentamiento (min)	Resultado
Polipropileno	2	175	1,6	

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024


Tabla 4-2: Prueba 2

Material	Espesor (mm)	Temperatura °C	Tiempo de calentamiento (min)	Resultado
Polipropileno	2	200	12	

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024


Tabla 4-3: Prueba 3

Material	Espesor (mm)	Temperatura °C	Tiempo de calentamiento (min)	Resultado
----------	--------------	----------------	-------------------------------	-----------

Polipropileno	2	275	15	
---------------	---	-----	----	---


Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Tabla 4-4: Prueba 4

Material	Espesor (mm)	Temperatura °C	Tiempo de calentamiento (min)	Resultado
Polipropileno	2	300	20	

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Tabla 4-5: Prueba 5

Material	Espesor (mm)	Temperatura °C	Tiempo de calentamiento (min)	Resultado
Polipropileno	2	400	9	

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Tabla 4-6: Prueba 6

Material	Espesor (mm)	Temperatura °C	Tiempo de calentamiento (min)	Resultado
----------	--------------	----------------	-------------------------------	-----------




Polipropileno	2	400	12	
---------------	---	-----	----	---

Tabla 4-7: Prueba 7

Material	Espesor (mm)	Temperatura °C	Tiempo de calentamiento (min)	Resultado
Polipropileno	2	400	7	


Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Tabla 4-8: Prueba 8

Material	Espesor (mm)	Temperatura °C	Tiempo de calentamiento (min)	Resultado
Polipropileno	2	400	10,5	


Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Tabla 4-9: Prueba 9

Material	Espesor (mm)	Temperatura °C	Tiempo de calentamiento (min)	Resultado
Polipropileno	2	400	8,5	

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Tabla 4-10: Prueba 10

Material	Espesor (mm)	Temperatura °C	Tiempo de calentamiento (min)	Resultado
Polipropileno	2	450	8,5	

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

En base a los resultados experimentales se determinó que parámetros de funcionamiento que garantizan efectuar la producción de valvas de férulas antebraquiales. La tabla 4-18 presenta los parámetros de funcionamiento

Tabla 4-11: Parámetros de Funcionamiento

Tipo de Material	Polipropileno
Espesor (mm)	2
Temperatura °C	450
Tiempo de calentamiento (s)	510
Distancia (cm)	4
Tiempo de vació (s)	15
Temperatura de enfriamiento °C (Riobamba)	13

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

4.3. Estudio de tiempos del proceso

4.3.1. *Tiempos de transporte y despacho de lámina de polipropileno*

Una vez realizadas las pruebas del algoritmo, se determinó el tiempo que se requiere para realizar el transporte y despacho de la lámina, tanto, hacia el área de termoformado como al área de producto final. Con el prototipo en funcionamiento se realizó la toma de tiempo, como se visualiza en la ilustración 4-4.



Ilustración 4-4: Toma de datos

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

El proceso inicia una vez el usuario abra la interfaz, encienda la máquina, setea el tiempo de calentamiento y presiona el botón de inicio, dando paso al funcionamiento del cilindro 4 en conjunto con la ventosa.

Una vez se establecen estos parámetros, se tomó el registro de tiempo al activarse el motor nema 17 en el eje X, ubicándose en la posición inicial, para después desplazarse a la posición media y volver al inicio. Posterior al proceso de termoformado, se acciona el motor hacia la posición media para retirar la lámina del PP termoformada, para llevarla a la posición final y concluir el despacho de la lámina volviendo a la posición inicial. Para determinar el tiempo que le toma al sistema robótico llegar a una determinada posición se ejecutó 10 pruebas para calcular un promedio.

4.3.1.1. *Transporte de lámina de Polipropileno al área de termoformado*

La tabla 4-1 presenta el número de pasos en el eje de movimiento X, así como la distancia total recorrida a partir de la posición inicial de recogida de la lámina hasta la posición media y viceversa.

Tabla 4-12: Posición y distancia de desplazamiento de transporte de lamina

Transporte de lámina de PP		
Estaciones	Pasos en X	Distancia
Inicio - Medio	9900	0,495 m
Medio - Inicio	9900	0,495 m

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Los resultados en segundos de la medición de tiempos se muestran en la tabla 4-2.

Tabla 4-13: Tiempos registrados del transporte

Prueba	Tiempo (s)	
	Inicio - Medio	Medio - Inicio
1	8,03	8,01
2	8,01	8,02
3	8,03	8,03
4	8,03	8,04
5	8,04	8,02
6	8,02	8,03
7	8,01	8,04
8	8,05	8,03
9	8,02	8,04
10	8,01	8,04
Promedio	8,03	8,03
Total (s)	16,06	

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

El tiempo promedio total que le toma al prototipo transportar la lámina de PP al área de termoformado es de 16,06 segundos.

4.3.1.2. Despacho de lámina termoformada

La tabla 4-3 presenta el número de pasos en el eje de movimiento X, así como la distancia total recorrida a partir de la posición inicial hasta la posición media y posterior a la posición final despachando la lámina, para al final volver al inicio.

Tabla 4-14: Posición y distancia del despacho de lamina

Despacho de lámina de PP Termoformada		
Estaciones	Pasos en X	Distancia
Inicio - Medio	9900	0,495 m
Medio - Fin	10400	0,52 m
Fin - Inicio	20300	1,02 m

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Los resultados en segundos de la medición de tiempos se muestran en la tabla 4-4.

Tabla 4-15: Registro de datos de tiempo del despacho

Prueba	Tiempo (s)		Tiempo (s)
	Inicio - Medio	Medio - Fin	Fin- Inicio
1	8,03	8,59	16,82
2	8,01	8,59	16,82
3	8,03	8,59	16,82
4	8,03	8,60	16,83
5	8,04	8,61	16,83
6	8,02	8,60	16,81
7	8,01	8,60	16,82
8	8,05	8,60	16,83
9	8,02	8,59	16,82
10	8,01	8,60	16,83
Promedio	8,03	8,60	16,82
Total (s)	33,45		

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

El tiempo promedio total que le toma al prototipo despachar la lámina de PP ya termoformada al área final es de 33,45 segundos, una vez se cumpla estas actividades el procedimiento se dará de inicio.

4.3.2. *Tiempos de sujeción de la lámina de Polipropileno al área de termoformado*

La tabla 4-5 presenta el número de pasos para el cierre de las compuertas, así como el ángulo total recorrida a partir de la posición inicial que son las compuertas abiertas, hasta su posición final que son las compuertas cerradas y viceversa.

Tabla 4-16: Posición y ángulo de desplazamiento de compuertas

Transporte de lámina de PP		
Estaciones	Pasos en X	Ángulo
Abierto - Cerrado	380	171°
Cerrado - Abierto	380	171°

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

Los resultados en segundos de la medición de tiempos se muestran en la tabla 4-6.

Tabla 4-17: Tiempos registrados de las compuertas

Prueba	Tiempo (s)	
	Inicio - Final	Final - Inicio
1	2,40	2,39
2	2,39	2,41
3	2,40	2,40
4	2,40	2,40
5	2,40	2,41
6	2,40	2,40
7	2,40	2,39
8	2,40	2,40
9	2,39	2,40
10	2,40	2,40
Promedio	2,39	2,4
Total (s)	4,79	

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

El tiempo promedio total que le toma al prototipo abrir y cerrar las en el área de termoformado es de 4,79 segundos.

4.3.3. Tiempo total del proceso

Se determinó que el tiempo que se tarda la máquina en realizar una valva de férula antebraquial es aproximadamente a 232,65 segundos. Véase los tiempos más detallados en la tabla 4-7.

Tabla 4-18: Tiempos registrados de las compuertas

Operación	Tiempo (s)
------------------	-------------------

Extensión cilindro 4	2
Retracción cilindro 4	2
Transporte (inicio- medio)	8,03
Extensión cilindro 2 y 3 (tiempo corto)	1
Transporte (medio-inicio)	8,03
Cierre de compuertas	2,39
Extensión cilindros 1, 2 y 3	5
Espera de calentamiento	510
Retracción cilindros 1, 2 y 3	6
Vacío aspiradora	15
Abrir compuertas	2,4
Transporte (inicio- medio)	8,03
Extensión cilindro 4	2
Retracción cilindro 4	2
Transporte (medio- final)	8,60
Extensión cilindro 4	2
Retracción cilindro 4	2
Transporte (final-medio)	16,82
Total	603,3

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

4.4. Consumo de energía

Se determino el consumo total de energía de la estación automatizada de termoformado, dando como resultado los siguientes datos representador en la tabla 4-19.

Tabla 4-19: Consumo de energía

Componente	Descripción	Cantidad	Amperaje [A]	Voltaje [V]	Potencia [W]
Actuadores	Motor Nema 17	2	2,4	4	9,6
	Electroválvula Solenoide	1	4,5	110	495
	Electroválvula Monoestable	2	7	24	168

	Controlador de temperatura	1	1,3	110	143
	Microstep Driver	4	14	36	504
	Compresor 3L	1	2,71	110	298,1
	Electroválvula Biestal 5/3	2	4,8	24	115,2
	Motor Nema 23	2	5,6	5	28
	Resistencia	1	27	110	2970
	Compresor 20 L	1	17	110	1870
	Secadora	1	9	110	990
Sensores	Sensor fin de carrera	3	0,9	18	16,2
TOTAL			96,21	771	7607,1

Potencia Total	6607,1
Consumo kWh	52,86

Se tuvo en cuenta que por motivos de que algunos componentes no se mantienen activos de forma continua se reduce 1000 W a la potencia total, en consecuencia, para así reflejar el uso real de la energía de la máquina. Teniendo como resultado que la estación de termoformado demandar un consumo de 52,86 kWh dentro de una jornada laboral de 8 horas.

4.5. Manual de operación y mantenimiento

La elaboración del manual de operación y mantenimiento se desarrolló en base al funcionamiento de la máquina de termoformado, tomando en cuenta como principal apartado las tres etapas de funcionamiento. En el anexo K se puede observar el documento.

CAPÍTULO V

5. GESTIÓN DEL PROYECTO

5.1. Cronograma

Tabla 5-1: Cronograma de actividades para la realizar del trabajo de titulación.

ACTIVIDADES	TIEMPO DE DURACIÓN (SEMANAS)																			
	Mes Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Realizar un estudio del estado del arte en el campo del termoformado al vacío y las máquinas utilizadas, para la identificación y definición de los requerimientos necesarios para la construcción de una máquina de termoformado al vacío.																				
Desarrollo del capítulo I																				
Seleccionar y estudiar los materiales termoplásticos disponibles en el mercado más adecuado para la fabricación de valvas de férulas antebraquiales, considerando sus propiedades mecánicas.																				
Desarrollar un sistema de control automatizado vinculado a una interfaz gráfica para la máquina de termoformado que posibilite la calibración de parámetros para cada ciclo de formado y asegurar una producción consistente y de calidad.																				
Desarrollo del capítulo II																				
Realizar pruebas y experimentos para la evaluación del rendimiento de la máquina en términos de tiempos de respuesta en cada subproceso.																				
Pruebas del sistema eléctrico, automatico																				
Desarrollo del Capítulo III																				
Elaborar una documentación completa del diseño, construcción y operación de la máquina, incluyendo manuales de usuario y mantenimiento, para facilitar su implementación en entornos industriales.																				
Desarrollo del Capítulo IV y V																				

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

5.2. Costos de propuesta tecnológica

Al finalizar la ejecución del prototipo se realizó una revisión exhaustiva de los recursos financieros empleados, con el fin de evaluar su viabilidad en comparación con proyectos similares o la competencia existente.

5.2.1. Costos directos

La Tabla 5-2 se exhibe los gastos directos vinculados al diseño y la fabricación del prototipo, clasificados en tres categorías principales: estructura, componentes electrónicos, componentes eléctricos, así como diversos elementos utilizados. En el Anexo M se muestra una lista detallada de cada uno de los componentes empleados.

Tabla 5-2: Costos directos de la máquina de termoformado

Descripción	Cantidad	Precio unitario USD	Precio total USD
Estructura.	1	\$ 152,10	\$ 152,10
Componentes electrónicos/eléctricos.	1	\$ 464,09	\$ 464,09
Componentes neumáticos.	1	\$ 717,25	\$ 717,25
Elementos varios.	1	\$ 262,03	\$ 262,03
TOTAL (USD)			\$ 1.595,47

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

5.2.2. Costos Indirectos

Se llevó a cabo el análisis de los costos indirectos relacionados con las actividades desarrolladas durante la producción del prototipo. Estos costos adicionales se presentan detalladamente en la Tabla 5-3.

Tabla 5-3: Costos indirectos de la máquina de termoformado.

Descripción	Costo USD
Transporte.	\$ 35,00
Imprevistos.	\$ 20,00
TOTAL (USD)	\$ 55,00

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

5.2.3. Costos totales

Los costos totales del desarrollo del prototipo se determinaron combinando tanto los costos directos como los indirectos del proyecto, y estos cálculos se detallan en la Tabla 5-4.

Tabla 5-4: Costo total de la máquina de termoformado.

Descripción	Costo USD
Costo directo.	\$ 1.595,47
Costo indirecto.	\$ 55,00
TOTAL (USD)	\$ 1.650,47
Fuente de financiamiento	Autónomo

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

En base al análisis de costos se tuvo como resultado que el total invertido en el prototipo de estación automatizada de termoformado implementado es de 1650,47 USD, mismo que fue financiado en su totalidad de manera autónoma.

CONCLUSIONES

Se desarrolló un prototipo de estación de termoformado para la fabricación de valvas de férulas antebraquiales de una manera automatizada y continua.

A partir del estudio del arte se determinó que el método de vacío es el más adecuado para el proceso de termoformado. De la misma manera, se identificaron los equipos necesarios para la fabricación del prototipo de estación de termoformado.

De acuerdo con el Comité Internacional de la Cruz Roja, se determinó que el polipropileno es el más adecuado de acuerdo con sus propiedades mecánicas tales como alta resistencia mecánica, tenacidad, ligereza, biocompatibilidad y durabilidad.

Mediante los principios de la manufactura se fabricó una estructura del prototipo utilizando el tubo de norma ASMT A-500 de 1,25 in de 1,2 mm, tubo de norma ASMT A-500 de 1 in de 1,2 mm, plancha de norma ASMT A-5830 1,1 mm, perfil de aluminio V SLOT de 20x40 mm y 40x40 mm. Esto proporcionó el soporte necesario a todos los dispositivos que conforman al prototipo de estación de termoformado.

El desarrollo de la estación automatizada de termoformado para la elaboración de valvas de férulas antebraquiales, se modeló haciendo uso del software SOLIDWORKS tanto sus componentes y estructura, esta última, mediante un análisis estático de fuerzas se validó que el sistema estructural presenta condiciones idóneas a la absorción y resistencia de deformaciones, teniendo un factor de seguridad de 4,1 y un desplazamiento máximo de 0,983 milímetros en la zona que presenta mayor carga de fuerza.

Al efectuar el análisis de tiempo tanto al sistema de transporte como al de sujeción se obtuvo como resultado que para el transporte de la materia prima como para su posterior despacho se alcanzará valores máximos de 16,06 segundos y 33,45 segundos, correspondientes a una corrida del proceso. Mientras que para el cierre y abertura del sistema de sujeción se alcanzará valores máximos de 4.79 segundos. Con estos resultados se concluye que tomando en cuenta los demás procesos que tiene un tiempo ya establecido, el tiempo empleado para elaborar una valva de férula antebraquial será de 603,3 segundos.

Al llevar a cabo estudio de consumo de energía del prototipo, se concluye que la estación de termoformado tiene un consumo máximo de 52,86 kilovatio-hora.

Se elaboró un manual de control y mantenimiento sobre la máquina de termoformado con el fin de proporcionar una guía detallada sobre la configuración, operación y mantenimiento. El manual está dirigido a operadores que trabajan con la estación de termoformado, este incluye instrucciones para operar la maquinaria de manera segura y directrices sobre el mantenimiento preventivo que se deben realizar para garantizar un óptimo funcionamiento y una larga vida útil.

RECOMENDACIONES

Extender los estudios a futuros estudiantes que tengan interés en el proyecto y estén trabajando en la misma área de investigación, tratando de incluir este proceso para montar líneas completas de producción.

Para controlar la máquina de termoformado se recomienda leer previamente el manual de usuario, asegurando de esta manera que se cumplan los pasos establecidos para su correcto funcionamiento, evitando de esta forma imprevistos o accidentes.

Realizar una planificación de mantenimiento frecuente a los equipos, así como revisiones de funcionamiento, con el objetivo de extender su tiempo de vida y mantener un buen desempeño en el proceso.

Se podría utilizar la máquina termoformadora para realizar otros tipos de productos siempre y cuando se respete las dimensiones de la plancha de polipropileno.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ACEROS AREQUIPA**. *Catálogo de productos y servicios*. [blog]. 2013. [Consulta: 21 diciembre 2023]. Disponible en: <https://acerosarequipa.com/pe/es/>
2. **ACUÑA, Jorge**. “Automatización industrial: definición y conceptos”. *Tecnología en marcha* [en línea], 1990, (Costa Rica), vol. 10, no 1, págs. 27-30. [Consulta: 05 octubre 2023]. ISSN 0379-3962 Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5678813>
3. **AGUIRRE TRUJILLO, Kenneth Fabricio & BIGAZZI JARA, Zanobi Marco**. Prevalencia de Lesiones y Factores Asociados en Deportistas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador abril de 2015. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito-Ecuador. 2015. págs. 38-40. [Consulta: 2023-11-12]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/10244>
4. **AHMSA**. *Manual de diseño para la construcción con acero*. [blog]. [Consulta: 3 marzo 2024]. Disponible en: https://www.ahmsa.com/assets/files/manuales/MANUAL_AHMSA_2.pdf
5. **AMAZON**. *Componentes neumáticos*. [blog]. [Consulta: 25 enero 2024]. Disponible en: https://www.amazon.com/-/es/ref=nav_logo
6. **ARDUINO**. *Arduino*. [blog]. [Consulta: 05 agosto 2023]. Disponible en: <https://arduino.cl/que-es-arduino/>
7. **ARDUINO**. *Arduino Mega 2560*. [blog]. [Consulta: 25 enero 2024]. Disponible en: <https://arduino.cl/producto/arduino-mega-2560/>
8. **ARIAN S. A.** *Termocuplas*. [blog]. [Consulta: 22 diciembre 2023]. Disponible en: <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>
9. **ARTEAGA VELASQUEZ, David Gerardo & GARCÉS FIALLOS, Dennis Stalin**. Construcción de un sistema inteligente de rehabilitación motriz para extremidades superiores basado en algoritmos de control y monitoreo. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2022. pág. 22. [Consulta: 2023-11-12]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17305>
10. **AV ELECTRONICS**. *Módulo Relé 8 Canales*. [blog]. [Consulta: 21 diciembre 2023]. Disponible en: <https://avelectronics.cc/producto/modulo-rele-8-canales/>
11. **BERNAL, César**. *Metodología de la investigación* [en línea]. 4ª ed. Bogotá - Colombia: Pearson Education, 2016, [Consulta: 17 noviembre 2023]. Disponible en: <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-caiza-pdf.pdf>
12. **BETAPLAST**. *Esquema de termoconformado*. [blog]. [Consulta: 3 marzo 2024]. Disponible en: <https://betaplast.es/tecnologia-betaplast/>

13. **BRUSIL ARELLANO, Esteban Gabriel.** Automatización del proceso de termoformado para la elaboración de moldes de chocolate en la empresa 'golosinas y algo más'. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Técnica Del Norte. Ibarra-Ecuador. 2016. págs. 38-47. [Consulta: 2023-12-18]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7488>
14. **BURNS, Ralph.** *Fundamentos de química* [en línea]. 5ª ed. Ciudad de México -México: Pearson Education, 2011. [Consulta: 10 enero 2024]. Disponible en: <https://archive.org/details/FundamentosDeQuimicaRalphA.Burns5taEdiciin/page/n7/mode/2up>
15. **CABEZAS MEJÍA, Edison Damián; et al.** Introducción a la metodología de la investigación científica [en línea]. Sangolqui - Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2018. [Consulta: 12 diciembre 2023]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/15424>
16. **CAIZA LEMA, Luis Fabian & CARILLO ROSERO, Carlos Mauricio.** Sistemas de control de lazo abierto y cerrado de voltaje para determinar el error en estado estable a diferentes pulsos de entrada en el laboratorio de control y automatización de la ficm. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Técnica De Ambato. Ambato-Ecuador. 2015. págs. 13-14. [Consulta: el 2023-10-05]. Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/13426>
17. **CALLE CABRERA, Alexis Jamil & SÁNCHEZ MARCILLO, Marco Andrés.** Diseño de una máquina de termoformado para laboratorio. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Escuela Superior Politécnica Del Litoral. Guayaquil-Ecuador. 2017. pág. 49. [Consulta: 2024-02-05]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/38967>
18. **CALLE CARMIGNIANI, Jesenia Carolina.** Prevalencia de las Lesiones osteomusculares presentadas en deportistas que acudieron al Instituto de Medicina del Deporte y Ortopedia (IMDO) de la ciudad de Guayaquil en el periodo 2015. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil-Ecuador. 2017. pág. 14. [Consulta: 2023-11-14]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/7624/1/T-UCSG-PRE-MED-TERA-90.pdf>
19. **CEIV S. A.** *Alambre níquel cromo.* CEIV. [blog]. 2023. [Consulta: 15 diciembre 2023]. Disponible en: <https://ceiv.com.mx/alambre-nicrom-niquel-cromo/#:~:text=El%20alambre%20nicrom%20o%20N%C3%ADquel.calor%20en%20sistemas%20de%20calentamiento.&text=Tambi%C3%A9n%20conocido%20para%20alambre%20para,resistencias%20el%C3%A9ctricas%20de%20todo%20tipo.>
20. **CEIV S. A.** *Resistencias tubulares tipo U.* CEIV. [blog]. [Consulta: 15 diciembre 2023]. Disponible en: <https://ceiv.com.mx/resistencia-tubular-tipo-u/>
21. **CENGEL, Yunus.** *TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA* [en línea]. 3ª ed. Reno-USA: McGraw-Hill Interamericana, 2007. [Consulta: 05 octubre 2023]. Disponible en: <https://pavisva.files.wordpress.com/2016/01/transferecia-de-calor-y-masa-yunus-cengel.pdf>

22. **Cervera, M.** Resistencia de Materiales [en línea]. 1ra ed. Barcelona-España: CIMNE, 2015, [Consulta: 18 diciembre 2023]. Disponible en: <https://cervera.rmee.upc.edu/libros/Resistencia%20de%20Materiales.pdf>
23. **CHAVEZ ALMACHI, Alex Josue.** Diseño de una órtesis a base de la manufactura aditiva (FDM) para la sustitución de férulas de yeso en extremidades superiores (sección radio distal). [En línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador. 2023. pág. 7. [Consulta: 2023-10-05]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/30203>
24. **COMITÉ INTERNACIONAL DE LA CRUZ ROJA (CICR).** *La tecnología del polipropileno.* [blog]. [Consulta: 17 diciembre 2023]. Disponible en: https://www.icrc.org/es/doc/assets/files/other/icrc_003_0913.pdf
25. **CONTRERAS, Leonardo; et al.** *Procesos de fabricación en polímeros y cerámicos* [en línea]. Bogotá-Colombia: Ediciones de la U, 2018. [Consulta: 20 septiembre 2023]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/esepoch/70324?page=122>
26. **DIDACTICA ELECTRONICA.** *Controlador PID de temperatura.* [blog]. [Consulta: 22 diciembre 2023]. Disponible en: <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>
27. **DIEZ JURADO, Ana.** Rediseño de férula de inmovilización de muñeca paramétrica para fabricación mediante modelado 3D. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Miguel Hernández de Elche. Elche-España. 2021. pág. 17. [Consulta: 2023-10-29]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11000/26531>
28. **DIGITAL SERVER.** *FUENTE CENTRALIZADA.* [blog]. [Consulta: 21 diciembre 2023]. Disponible en: <https://digitalserver.com.ec/producto/fuente-centralizada-guardian-para-16-camaras-de-seguridad-cctv-12v-20a-120w-modelo-s-250-12/>
29. **DIGITAL SERVER.** *MINI FUENTE DE PODER RIPPA MICRO ATX 600W.* [blog]. [Consulta: 21 diciembre 2023]. Disponible en: <https://digitalserver.com.ec/producto/mini-fuente-de-poder-rippa-micro-atx-600w/>
30. **DIPAC.** *Categoría de productos.* [blog]. [Consulta: 3 marzo 2024]. Disponible en: <https://dipacmanta.com/categoria-producto/tubos/tubo-estructural/>
31. **ELECTRONICS,** *Termocupla tipo k m6 2m 0-800.* [blog]. [Consulta: 25 enero 2024]. Disponible en: <https://www.electronicsecuador.com/producto/termocupla-tipo-k-m6-2m-0-800c/>
32. **EMACIN.** *Polipropileno-PP.* [blog]. [Consulta: 3 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.emacin.com.pe/pdf/Ficha-tecnica-Polipropileno-PP.pdf>
33. **E-MC.** *Cilindros Serie FV/FX.* [blog]. 2013. [Consulta: 21 diciembre 2023]. Disponible en: <https://emc-ecuador.com/neumatica/cilindros-neumaticos/cilindros-serie-fvfx/>

34. **ENGINEERS EDGE.** *Moment of Inertia, Section Modulus, Radii of Gyration Equations. Square and Rectangular Sections.* [En línea]. 2020. [Consulta: 15 diciembre 2023]. Disponible en: https://www.engineersedge.com/material_science/moment-inertia-gyration.htm.
35. **ESCALERA, Manuel & RODRÍGUEZ, Antonio.** *Actuadores Neumáticos* [blog]. [Consulta: 05 agosto 2023]. Disponible en: https://issuu.com/rigogomez7/docs/manuel_jesus_esacalera-antonio_rodr
36. **ESCUDE MILIAN, Elena.** DISEÑO DE ÓRTESIS DE MIEMBRO SUPERIOR APLICABLE A REHABILITACIONES Y COMO EXOESQUELETO. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid-España. 2017. pág. V. [Consulta: 2023-12-18]. Disponible en: <https://oa.upm.es/49194/>
37. **FESTO.** *Generadores de vacío VN.* [blog]. 2023. [Consulta: 21 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.festo.com/media/pim/996/D15000100149996.PDF>
38. **FESTO.** *Ventosas de sujeción por vacío ESG.* [blog]. [Consulta: 21 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.festo.com/media/pim/684/D15000100149684.PDF>
39. **GOROZABEL CANTOS, Layla Jossenka & MARCILLO PARRALES, Kleber Germiniano .** Aplicación mediante tarjeta raspberry pi para el control de un robot móvil para la enseñanza de robótica. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Estatal del Sur de Manabí. Manabí-Ecuador. 2022. pág. 27. [Consulta: 2023-08-05]. Disponible en: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/3546>
40. **GROOVER, Mikell.** *Fundamentos de manufactura moderna* [en línea]. 3ª ed. Ciudad de México -México: McGraw-Hill Interamericana, 2007. [Consulta: 20 septiembre 2023]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/danielaltamar17/fundamentos-de-manufactura-moderna-3edi-groover-39032966>
41. **GUTHEMBERG, A; et al.** “Fractura de radio distal en paciente con determinación de inmunoglobulina G positivo para Covid-19”. *Revista Ecuatoriana de Ortopedia y Traumatología* [en línea], 2020, (Ecuador), vol. 9, págs. 73-78. [Consulta: 5 agosto 2023]. ISSN 0242-8291. Disponible en: <http://revistacientificaseot.com/index.php/revseot/article/view/132>
42. **HIBBELER, R.** *Análisis Estructural* [en línea]. 8va ed. México: Pearson Education, 2012, [Consulta: 14 diciembre 2023]. Disponible en: https://www.academia.edu/15952734/An%C3%A1lisis_Estructural_R_C_Hibbeler_8va_Edici%C3%B3n
43. **HIBBELER, R.** *Estática* [en línea]. 12va ed. México: Pearson Education, 2010. [Consulta: 14 diciembre 2023]. Disponible en: <https://pavisva.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/03/estc3a1tica-de-russel-hibbeler-12va.-edicic3b3n-1.pdf>

44. **HIBBELER, R.** *Mecánica de Materiales* [en línea]. 8va ed. México: Pearson Education, 2011. [Consulta: 14 diciembre 2023]. Disponible en: https://www.academia.edu/73149085/Mec%C3%A1nica_de_Materiales_8_Edici%C3%B3n_Russell_C_Hibbeler
45. **HOSPITAL DEL TRABAJADOR.** *Manual de Órtesis para terapeutas ocupacionales.* [blog]. [Consulta: 05 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.hospitaldeltrabajador.cl/detalle-noticia/2019/ht-desarrolla-completo-manual-de-ortesis-para-terapeutas-ocupacionales>
46. **JUÁREZ LÓPEZ, José Manuel.** Diseño, Simulación y Desarrollo del Sistema de Control Electromecánico Automatizado JMJLUC- AVAT- 01 De una Máquina de Termoformado para la Pequeña y Mediana Empresa. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México-México. 2015. págs. 18-20. [Consulta: 2023-08-01]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/648689554/I-M-15-15-19-CD12>
47. **JUNTA DE ANDALUCIA.** *Sensores.* [blog]. [Consulta: 05 Octubre 2023]. Disponible en: https://www.google.com/search?q=fecha+que+se+hizo+el+tema+sensores+en+la+pagina+junta+de+andalucia&sxsrf=AJOqlzWe9LVbOKHktJkBSMq3NhjfmIO5g%3A1677795747279&source=Int&tbs=cdr%3A1%2Ccd_min%3A1990%2Ccd_max%3A2023&tbm=
48. **KALPAKJIAN, Serope & SCHMID, Steven.** *Manufactura, ingeniería y tecnología* [en línea]. 5ª ed. Monterrey-México: Pearson Educación de México, 2008. [Consulta: 20 septiembre 2023]. Disponible en: <https://dokumen.tips/documents/kalpakjian-5-manufactura-ingenieria-y-tecnologia.html?page=224>
49. **KAMPA.** *Regulador de temperatura Rex-C700 - China Kampa Electric.* [blog]. [Consulta: 25 enero 2024]. Disponible en: <https://es.china-kampa.com/rkc-temperature-controller/409>
50. **KUO, Benjamín.** *Sistema de control automático* [en línea] 7ª ed. Ciudad de México, México: PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, S.A, 1996. [Consulta: 05 octubre 2023]. Disponible en: <https://dademuchconnection.files.wordpress.com/2017/07/sistemas-de-control-automatico-benjamin-c-kuo.pdf>
51. **LA CASA DEL PERNO.** *Resistencia de pernos y tuercas.* [blog]. [Consulta: 19 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.casadelperno.com/es/content/17-resistencia-de-pernos-y-tuercas>
52. **LEE SPRING.** *Resortes de a la medida.* [Blog]. [Consulta: 18 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.leespring.mx/sites/default/files/2019-09/lee-spring-catalog-mx.pdf>
53. **LENOVO.** *IdeaPad Slim 3i 15" 8va Gen - Abyss Blue | Lenovo México.* [blog]. [Consulta: 21 diciembre 2023]. Disponible

- en: [https://www.lenovo.com/mx/es/p/laptops/ideapad/ideapad-serie-s/ideapad-slim-3i-gen-8-\(15-inch-intel\)/82x70003lm](https://www.lenovo.com/mx/es/p/laptops/ideapad/ideapad-serie-s/ideapad-slim-3i-gen-8-(15-inch-intel)/82x70003lm)
54. **LÓPEZ, José.** *Instalar software en tu Raspberry, más fácil todavía con Raspberry Pi Imager.* [blog]. [Consulta: 2023-08-05]. Disponible en: <https://hipertextual.com/2020/04/instalar-software-microsd-raspberry-pi-imager>.
55. **MÁRQUEZ ZURITA, Cristian David.** Control Automático de Temperatura en el Proceso de Termo Formado de Láminas, en la planta "Techoluz" De Tubasec C.A. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2012. págs. 28-38. [Consulta: 2023-10-05]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/2859/1/108T0045.pdf>
56. **MOSQUERA GUERRERO, Juan Jeferson.** Implementación de un dispositivo para monitoreo en tiempo real de la temperatura del motor de combustión, en el rodillo compactador modelo cs533e perteneciente al gobierno autónomo descentralizado provincial de napo. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador, 2022. págs. 17-20. [Consulta: 2023-10-05]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/16179>
57. **MOTT, R.** Diseño de elementos de máquinas [en línea]. 4ta ed. Ciudad de México, México: Pearson Education, 2006, [Consulta: 14 diciembre 2023]. Disponible en: <https://dokumen.tips/documents/disenio-de-elementos-de-maquinas-robert-l-mott10.html?page=237>
58. **MOYA UTRERAS, Alex Ricardo.** Análisis del proceso manual de termoformado de recipientes en láminas de PVC y su incidencia en la productividad de la empresa prosergraf. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad tecnológica INDOAMÉRICA. Quito-Ecuador. 2016. pág. 137. [Consulta: 2024-02-05]. Disponible en: <https://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/431/1/TESIS%20MOYA%20UTRERAS%20ALEX%20RICARDO.pdf>
59. **NORTON, R.** Diseño de Máquina [en línea]. 4ta ed. Ciudad de México, México: The McGraw-Hill, 2011. [Consulta: 14 diciembre 2023]. Disponible en: <https://lsbunefm.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/10/diseo3b1o-de-maquinaria-robert-l-norton-4.pdf>
60. **NOVATRONIC.,** *Final de carrera mini con rodillo 5A 250VAC – Novatronic.* [blog]. [Consulta: 25 enero 2024]. Disponible en: <https://novatronic.com/index.php/product/final-de-carrera-mini-con-rodillo-5a-250vac/>
61. **NUGAR RESISTOR TECHNOLOGY.** *Resistencias de Cerámica. NUGAR* [blog]. [Consulta: 15 diciembre 2023]. Disponible en: <https://nugar-resistor.com/resistencias-de-ceramica/>

62. **ORANGE PI.** *Características y configuración de la tarjeta Orange Pi* [Blog]. [Consulta: 05 agosto 2023]. Disponible en: <https://orangepiweb.es/>
- ORLIMAN - PEDIATRIC.** *Instrucciones de uso y conservación. ORLIMAN.* [blog]. [Consulta: 29 octubre 2023]. Disponible en: <https://ortopedia.com/rehabilitacion/miembro-superior/ferulas-de-mano-y-muneca/ferula-de-inmovilizacion-de-muneca-en-dorsiflexion-35-40.html#/1052-lado-derecho/1061-talla-2>
63. **ORTOPEDIA. COM.** *Férula de Inmovilización de Muñeca.* [blog]. [Consulta: 29 octubre 2023]. Disponible en: <https://ortopedia.com/rehabilitacion/miembro-superior/ferulas-de-mano-y-muneca/ferula-de-inmovilizacion-de-muneca-en-dorsiflexion-35-40.html#/1052-lado-derecho/1061-talla-2>
64. **PINTULAC.** *Aspiradora Sopladora.* [blog]. [Consulta: 20 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.pintulac.com.ec/aspiradora-sopladora-3hp-seco-mojado-stanley.html>
65. **PLASTIGAMA MEXICO.** *Manual Técnico de Termoformado.* [blog]. [Consulta: 20 diciembre 2023]. Disponible en: http://www.plastiglas.com.mx/images/content/PLASTIGLAS_INST/uploads/1167953021504Termoformado.pdf
66. **PLASTIGLAS.** *Manual Técnico termoformado.* [blog]. [Consulta: 3 marzo 2024]. Disponible en: https://www.plastiglas.com.mx/pdfs/literatura/Manual_termoformado.pdf
67. **PORTEN.** *Compresor mini de aire 0,4 HP.* [blog]. [Consulta: 7 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.portentools.com/images/productos/fichas/mini-compresor-pcm-303.pdf>
68. **QUINTEROS, Patricio.** “Automatización de los procesos industriales. *Journal of business and entrepreneurial studies*”. *JBES* [en línea], 2020, (Ecuador), vol. 4, no 2, pág. 126. [Consulta: 11 noviembre 2023]. ISSN 2576-0971. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7888290>
69. **RASPBERRY PI LTD.** *Raspberry Pi 4 Model B specifications – Raspberry Pi. Raspberry Pi.* [blog]. [Consulta: 25 enero 2024] Disponible en: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/>
70. **RASPBERRY PI.** *Tarjeta de desarrollo Raspberry Pi.* [blog]. [Consulta: 05 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.raspberrypi.org>.
71. **RIOBAMBA.** *Información general sobre riobamba.* [blog]. [Consulta: 3 marzo 2024]. Disponible en: <https://riobamba.com.ec/>
72. **SCHEIDER.** *T02CN13T7 - NEMA Contactor.* [blog]. [Consulta: 3 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.se.com/us/en/product/T02CN13T7/nema-contactor-tesys-nonreversing-size-1-27a-10hp-at-460vac-3-pole-3-phase-480vac-50-60hz-coil-open/>

73. **EAFAX.** *Suitcase Vacuum Former.* [blog]. [Consulta: 20 diciembre 2023]. Disponible en: <https://3dwarehouse.sketchup.com/model/ud5b2aceb-7efc-4212-8660-e42542b9b219/Suitcase-Vacuum-Former>
74. **SKF.** *Vida nominal del rodamiento.* [blog]. [Consulta: 19 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/principles-of-rolling-bearing-selection/bearing-selection-process/bearing-size/size-selection-based-on-rating-life/bearing-rating-life>
75. **SMC.** *Selección de cilindros neumáticos SMC.* [blog]. [Consulta: 20 enero 2024]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/117194102/Seleccion-de-cilindros-neumaticos-SMC>
76. **TERÁN PAZMIÑO, Maria Jose.** Proyecto De Exportación De Prótesis Y Órtesis (Vicepresidencia De La República Del Ecuador) Al Gobierno De La República De Perú. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Tecnologica Equinoccial. Quito-Ecuador. 2013. pág. 76. [Consulta:2023-08-04]. Disponible en: https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/6788/1/53821_1.pdf
77. **TK560.** *Proyecto de máquina formadora al vacío.* [blog]. [Consulta: 21 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.tk560.com/vactable4.html>
78. **TRUPER.** *Ficha técnica de compresor de aire.* [blog]. [Consulta: 3 marzo 2024]. Disponible en: https://www.truper.com/ficha_tecnica_pdf/views/ficha-print.php?id=254645
79. **VACA REYES, Robert Boris.** Fabricación de una máquina de termoformado para el laboratorio de procesamiento de plásticos. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Escuela Superior Politécnica Del Litoral. Guayaquil-Ecuador. 2022. pág. 51. [Consulta: 2023-08-02]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57338>
80. **VILLACIS PALACIOS, Alexander Javier.** Construcción de un prototipo robótico vinculado con visión artificial para la asistencia en la eliminación de maleza en cultivos de fresa. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2022. pág. 2. [Consulta: 2023-08-05]. Disponible en: <http://dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/17285>
81. **WATLOW.** *Application guide.* [blog]. [Consulta: 3 marzo 2024]. Disponible en: [heater_application_guide.pdf \(instrumart.com\)](https://www.instrumart.com/heater_application_guide.pdf)

A handwritten signature in blue ink is written over a faint purple rectangular stamp. The stamp contains some illegible text and a logo.

ANEXOS

ANEXO A: DIMENSIONES ESTÁNDAR DE TUBERÍAS (EN PULGADAS).

DESIGNACIONES Y PESOS NOMINALES en Kg/m										
Designación Nominal pulgadas		Espesores (mm)								
		0.6	0.7	0.75	0.8	0.9	1.0	1.2	1.5	2.0
REDONDO DIAM. NOMINAL	1/2	0.18		0.22	0.24	0.26	0.30			
	5/8	0.23		0.28	0.30	0.33	0.37	0.43	0.53	
	3/4	0.27		0.34	0.36	0.40	0.45	0.53	0.65	
	7/8	0.32		0.40	0.42	0.47	0.52	0.62	0.77	
	1			0.46	0.49	0.54	0.60	0.72	0.88	
	1 1/4		0.54	0.57	0.61	0.69	0.76	0.90	1.12	
	1 1/2			0.69	0.74	0.83	0.92	1.09	1.35	
	1 3/4							1.28	1.59	
CUADRADO L.E.	2		0.87	0.93	0.99	1.11	1.23	1.47	1.82	
	5/8			0.34	0.36	0.41	0.53			
	3/4	0.34		0.43	0.45	0.51	0.56	0.67	0.82	
	7/8			0.52	0.55	0.61	0.68	0.81	1.00	
	1	0.46		0.57	0.61	0.68	0.76	0.90	1.12	1.50
	1 1/4			0.72	0.77	0.86	0.95	1.14	1.41	1.90
	1 1/2				0.92	1.04	1.15	1.37	1.70	
	2							1.87	2.32	
RECT. L.E.	1/2 x 1 1/2			0.57	0.62	0.69	0.76	0.91	1.13	
	1 x 2			0.87	0.93	1.04	1.16	1.38	1.72	
	40 x 60							1.84	2.28	3.09

Fuente: (ACEROS AREQUIPA, 2013, pág.24)

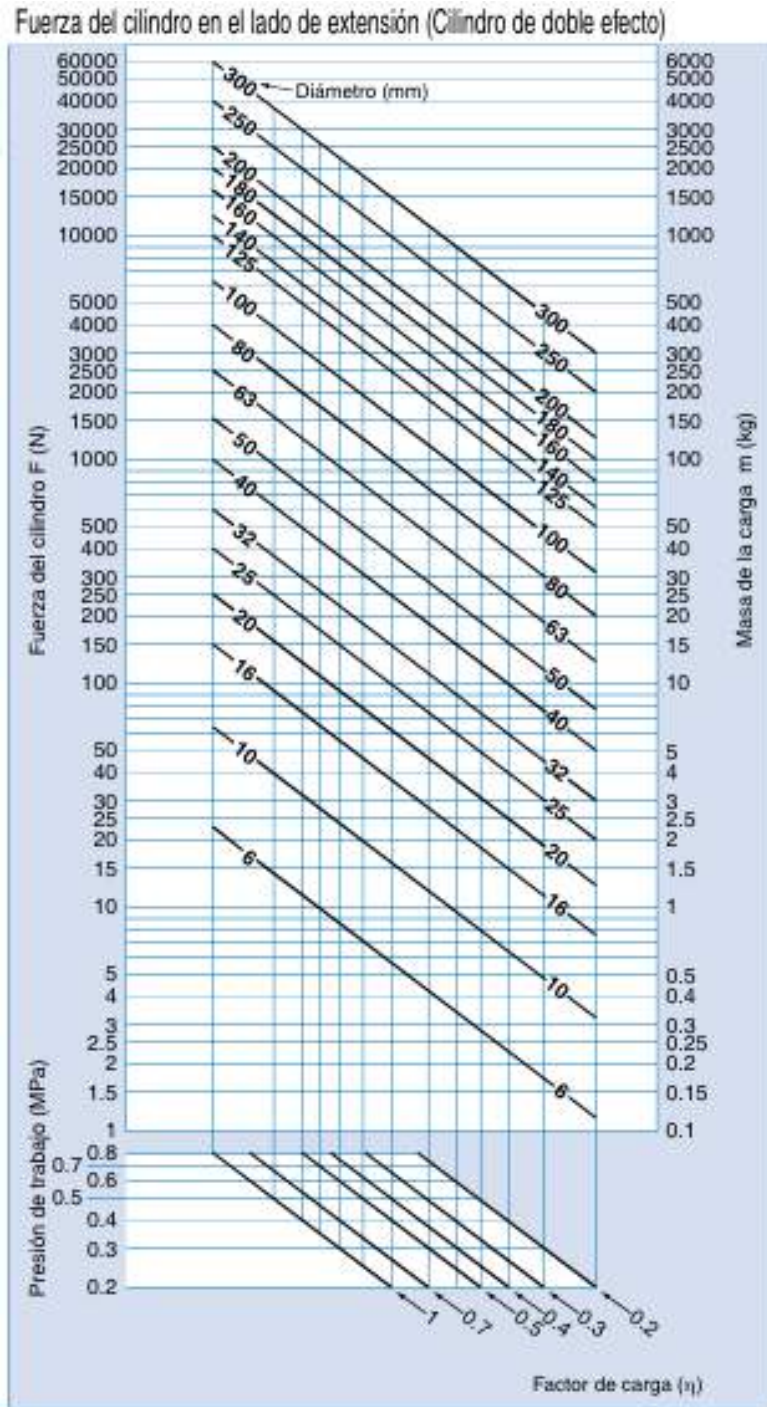
ANEXO B: PROPIEDADES FÍSICAS DE MATERIALES DE INGENIERÍA.

Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de rigidez J		Relación de Poisson ν	Densidad de peso γ	Densidad de masa ρ	Gravedad específica
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lb/pulg ³	Mg/m ³	
Aleaciones de aluminio	10.4	71.7	3.9	26.8	0.34	0.10	2.8	2.8
Cobre al berilio	18.5	127.6	7.2	49.4	0.29	0.30	8.3	8.3
Latón, bronce	16.0	110.3	6.0	41.5	0.33	0.31	8.6	8.6
Cobre	17.5	120.7	6.5	44.7	0.35	0.32	8.9	8.9
Hierro fundido gris	15.0	103.4	5.9	40.4	0.28	0.26	7.2	7.2
Hierro fundido dúctil	24.5	168.9	9.4	65.0	0.30	0.25	6.9	6.9
Hierro fundido maleable	25.0	172.4	9.6	66.3	0.30	0.26	7.3	7.3
Aleaciones de magnesio	6.5	44.8	2.4	16.8	0.33	0.07	1.8	1.8
Aleaciones de níquel	30.0	206.8	11.5	79.6	0.30	0.30	8.3	8.3
Acero al carbón	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Acero, aleaciones	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Acero inoxidable	27.5	189.6	10.7	74.1	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de titanio	16.5	113.8	6.2	42.4	0.34	0.16	4.4	4.4
Aleaciones de zinc	12.0	82.7	4.5	31.1	0.33	0.24	6.6	6.6

* Propiedades de algunos metales y aleaciones. International Nickel Co., Inc. - NY. Metals Handbook. American Society for Metals, Materials Park, OH.

Fuente: (NORTON, R., 2011, pág. 680)

ANEXO C: FUERZA DEL CILINDRO EN EL LADO DE EXTENSIÓN Y CONTRACCIÓN.

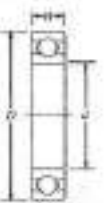


Fuente: (SMC, 2024, pág. 2)

ANEXO D: DATOS PARA SELECCIONAR RODAMIENTOS DE UNA HILERA DE BOLAS Y RANURA PROFUNDA.

TABLA 14-3 Datos para seleccionar rodamientos de una hilera de bolas y ranura profunda, tipo Central

A. Serie 6200



Número de catálogo	Dimensiones básicas del rodamiento								Número de rodamiento		Peso del rodamiento	Capacidad básica de carga exterior C ₀	Capacidad básica de carga dinámica C
	d				D				Ej	Cm			
	mm	polg	mm	polg	mm	polg	mm	polg					
6200	10	0.3937	20	0.7874	9	0.3543	0.024	0.950	0.954	0.03	520	800	
6201	12	0.4724	22	0.8661	10	0.3937	0.024	0.975	1.007	0.06	675	1080	
6202	15	0.5906	25	0.9843	11	0.4331	0.024	0.990	1.103	0.03	790	1320	
6203	17	0.6693	28	1.0748	12	0.4724	0.024	0.987	1.200	0.04	1010	1600	
6204	20	0.7874	32	1.2598	14	0.5511	0.029	0.999	1.514	0.23	1400	2210	
6205	25	0.9843	36	1.4173	15	0.5906	0.029	1.020	1.672	0.29	1610	2430	
6206	30	1.1811	40	1.5748	16	0.6299	0.029	1.006	1.808	0.44	2120	3150	
6207	35	1.3780	45	1.7323	17	0.6693	0.030	1.014	1.954	0.66	2550	3600	
6208	40	1.5748	50	1.9688	18	0.7087	0.030	1.011	2.074	0.82	3050	4000	
6209	45	1.7717	55	2.1263	19	0.7480	0.030	1.008	2.201	0.89	3450	4500	
6210	50	1.9688	60	2.3618	20	0.7874	0.030	1.000	2.308	1.02	4000	6000	
6211	55	2.1657	65	2.5793	21	0.8268	0.030	1.001	2.402	1.30	4500	7000	
6212	60	2.3618	70	2.7763	22	0.8661	0.030	1.013	2.496	1.33	5200	8000	
6213	65	2.5587	75	2.9733	23	0.9055	0.030	1.012	2.590	1.68	5800	9000	
6214	70	2.7548	80	3.1703	24	0.9449	0.030	1.010	2.684	2.31	6800	10500	
6215	75	2.9518	85	3.3673	25	0.9843	0.030	1.007	2.778	2.64	7900	12000	
6216	80	3.1488	90	3.5643	26	1.0236	0.030	1.004	2.872	3.09	9000	13500	
6217	85	3.3458	95	3.7613	27	1.0630	0.030	1.002	2.966	3.87	10000	15000	
6218	90	3.5428	100	3.9583	28	1.1024	0.030	1.001	3.060	4.74	11000	16500	
6219	95	3.7393	105	4.1553	29	1.1418	0.030	1.000	3.154	5.73	12000	18000	
6220	100	3.9363	110	4.3523	30	1.1811	0.030	1.000	3.248	6.84	13000	19500	
6221	105	4.1333	115	4.5493	31	1.2205	0.030	1.000	3.342	8.15	14000	21000	
6222	110	4.3303	120	4.7463	32	1.2599	0.030	1.000	3.436	9.69	15000	22500	
6223	115	4.5273	125	4.9433	33	1.2993	0.030	1.000	3.530	11.4	16000	24000	
6224	120	4.7243	130	5.1403	34	1.3387	0.030	1.000	3.624	13.4	17000	25500	

Fuente: (Mott, R., 2006, pág. 607)

ANEXO E: ESPECIFICACIONES CILINDRO FVB-32X400-S.

Diámetro del cilindro (mm)	32	40	50	63	80	100
Tipo de actuación	Doble efecto					
Medio de trabajo	Aire limpio (filtración de 40 micras)					
Tipo de montaje	Tipo básico FVFA FVFB FVCA FVCBFV LB FVTC FVTC-M					
Tipo de conexión de extremo de varilla	Tipo básico TY TI TF TB					
Presión de trabajo (MPa)	0,1 – 0,9					
Máx. presión (MPa)	1,35					
Temperatura de trabajo (°C)	-5-70					
Rango de velocidad (mm)	50-800					
Tipo de bufer	Cojin ajustable					
Carrera de amortiguación (mm)	2			32		

Fuente: (E-MC, 2013, parr. 1)

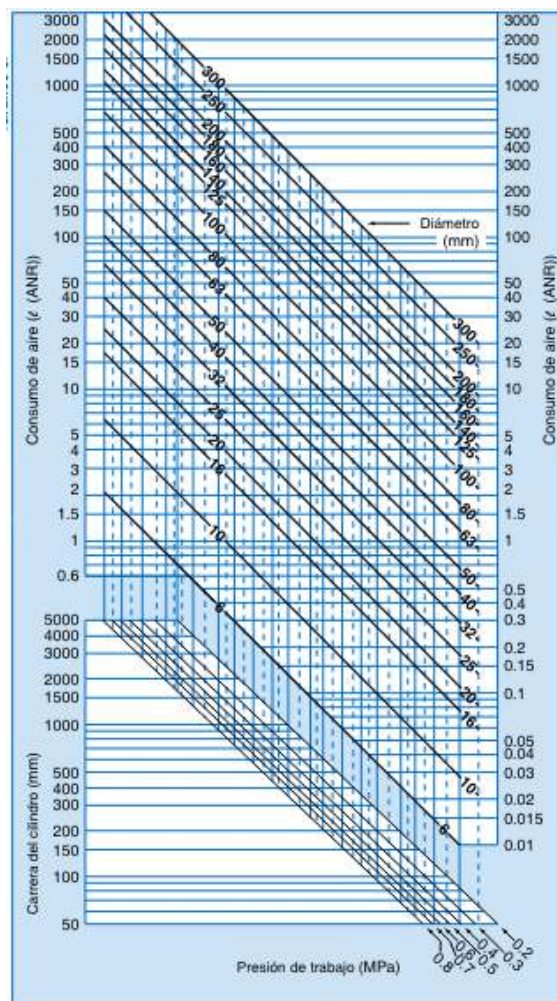
ANEXO F: ESPECIFICACIONES DEL COMPRESOR PRETUL 20L LUBRICADO

Especificaciones	
Capacidad del tanque	20 L
Potencia máxima	2 1/2 HP
Potencia nominal	1 1/2 HP
Presión máxima de operación	116 psi
Flujo de aire	4.2 CFM @ 40 psi / 3.2 CFM @ 90 psi
Nivel de ruido	90 dBA máximo
Velocidad	3,450 rpm
Tipo	Monofásico
Consumo	12 A
Tensión / Frecuencia	127 V / 60 Hz

Especificaciones	
Dimensiones (Base x Altura x Fondo) Incluye manubrio	34 x 58 x 53 cm
Peso	21 kg
Empaque individual	Caja
Inner	1

Fuente: (TRUPER, 2024, págs. 1-2)

ANEXO G: CONSUMO DE AIRE DEL CILINDRO



Fuente: (SMC, 2024, pág. 2)

ANEXO H: RESORTE DE PLÁSTICO.

NÚMERO DE PARTE	COLOR	DIÁMETRO DEL ORIFICIO		DIÁMETRO EXTERIOR		DIÁMETRO DE POSTE		ANCHO DEL MATERIAL X PARED		CARGA APROX. @ ALTURA SÓLIDA		LONGITUD SIN CARGA		CONSTANTE		ALTURA SÓLIDA		GRUPO DE PRECIO
		PULG.	MM	PULG.	MM	PULG.	MM	PULG.	MM	LB.	KG	PULG.	MM	LB/PULG.	KG/MM	PULG.	MM	
LL 038 038 U000	R									0.991	0.449	0.375	9.525	3.70	0.066	0.108	2.738	L1
LL 038 038 U10G	O							.030	0.76	1.498	0.679	0.375	9.525	5.59	0.100	0.108	2.738	L1
LL 038 038 U20G	Y	.375	9.525	.350	8.890	.150	3.810	x	x	1.636	0.742	0.375	9.525	6.11	0.109	0.108	2.738	L1
LL 038 038 U30G	G							.082	2.08	1.811	0.822	0.375	9.525	6.76	0.121	0.108	2.738	L1
LL 038 038 U40G	V									2.041	0.926	0.375	9.525	7.62	0.136	0.108	2.738	L1
LL 038 050 U000	R									0.991	0.449	0.500	12.700	2.65	0.047	0.127	3.220	L2
LL 038 050 U10G	O							.030	0.76	1.498	0.679	0.500	12.700	4.00	0.071	0.127	3.220	L2
LL 038 050 U20G	Y	.375	9.525	.350	8.890	.150	3.810	x	x	1.636	0.742	0.500	12.700	4.37	0.078	0.127	3.220	L2
LL 038 050 U30G	G							.082	2.08	1.811	0.822	0.500	12.700	4.84	0.086	0.127	3.220	L2
LL 038 050 U40G	V									2.041	0.926	0.500	12.700	5.46	0.098	0.127	3.220	L2
LL 050 050 U000	R									1.905	0.864	0.500	12.700	5.40	0.096	0.148	3.753	L2
LL 050 050 U10G	O							.042	1.07	2.881	1.307	0.500	12.700	8.16	0.146	0.148	3.753	L2
LL 050 050 U20G	Y	.500	12.700	.485	12.319	.218	5.537	x	x	3.147	1.427	0.500	12.700	8.91	0.159	0.148	3.753	L2
LL 050 050 U30G	G							.112	2.84	3.484	1.580	0.500	12.700	9.87	0.176	0.148	3.753	L2
LL 050 050 U40G	V									3.925	1.780	0.500	12.700	11.12	0.199	0.148	3.753	L2
LL 050 075 U000	R									1.985	0.900	0.750	19.050	3.56	0.064	0.193	4.912	L3
LL 050 075 U10G	O							.042	1.07	3.002	1.362	0.750	19.050	5.38	0.096	0.193	4.912	L3
LL 050 075 U20G	Y	.500	12.700	.470	11.938	.218	5.537	x	x	3.278	1.487	0.750	19.050	5.88	0.105	0.193	4.912	L3
LL 050 075 U30G	G							.112	2.84	3.630	1.646	0.750	19.050	6.50	0.116	0.193	4.912	L3
LL 050 075 U40G	V									4.090	1.855	0.750	19.050	7.33	0.131	0.193	4.912	L3
LL 075 075 U000	R									4.340	1.969	0.750	19.050	8.18	0.146	0.221	5.607	L3
LL 075 075 U10G	O							.062	1.57	6.563	2.977	0.750	19.050	12.37	0.221	0.221	5.607	L3
LL 075 075 U20G	Y	.750	19.050	.720	18.288	.343	8.712	x	x	7.167	3.251	0.750	19.050	13.51	0.241	0.221	5.607	L3
LL 075 075 U30G	G							.172	4.37	7.935	3.599	0.750	19.050	14.96	0.267	0.221	5.607	L3
LL 075 075 U40G	V									8.941	4.056	0.750	19.050	16.85	0.301	0.221	5.607	L3
LL 075 100 U000	R									4.340	1.969	1.000	25.400	5.85	0.104	0.259	6.588	L4
LL 075 100 U10G	O							.062	1.57	6.563	2.977	1.000	25.400	8.84	0.158	0.259	6.588	L4
LL 075 100 U20G	Y	.750	19.050	.720	18.288	.343	8.712	x	x	7.167	3.251	1.000	25.400	9.65	0.172	0.259	6.588	L4
LL 075 100 U30G	G							.172	4.37	7.935	3.599	1.000	25.400	10.69	0.191	0.259	6.588	L4
LL 075 100 U40G	V									8.941	4.056	1.000	25.400	12.04	0.215	0.259	6.588	L4
LL 100 100 U000	R									8.133	3.689	1.000	25.400	11.64	0.208	0.303	7.699	L4
LL 100 100 U10G	O							.085	2.16	12.298	5.578	1.000	25.400	17.60	0.314	0.303	7.699	L4
LL 100 100 U20G	Y	1.000	25.400	.965	24.511	.469	11.913	x	x	13.431	6.092	1.000	25.400	19.23	0.343	0.303	7.699	L4
LL 100 100 U30G	G							.230	5.84	14.870	6.745	1.000	25.400	21.28	0.380	0.303	7.699	L4
LL 100 100 U40G	V									16.755	7.600	1.000	25.400	23.98	0.428	0.303	7.699	L4
LL 100 125 U000	R									8.133	3.689	1.250	31.750	8.95	0.160	0.343	8.717	L5
LL 100 125 U10G	O							.085	2.16	12.298	5.578	1.250	31.750	13.53	0.242	0.343	8.717	L5
LL 100 125 U20G	Y	1.000	25.400	.965	24.511	.469	11.913	x	x	13.431	6.092	1.250	31.750	14.77	0.264	0.343	8.717	L5
LL 100 125 U30G	G							.230	5.84	14.870	6.745	1.250	31.750	16.36	0.292	0.343	8.717	L5
LL 100 125 U40G	V									16.755	7.600	1.250	31.750	18.43	0.329	0.343	8.717	L5

Fuente: (Lee Spring, 2015, pág. 307)

ANEXO I: PROPIEDADES DE LA ATMÓSFERA A GRAN ALTITUD

Altitud, z , m	Temperatura, T , °C	Presión, P , MPa	Densidad, ρ , kg/m ³	Viscosidad dinámica, μ , kg/m·s	Densidad, ρ , kg/m ³	Viscosidad, μ , kg/m·s	Conductividad térmica, k , W/m·K
0	15.00	101.32	1.225	1.825	1.225	1.789×10^{-5}	0.0253
100	12.70	98.95	1.200	1.800	1.200	1.783×10^{-5}	0.0252
200	10.40	96.41	1.179	1.779	1.179	1.777×10^{-5}	0.0252
300	8.10	93.72	1.156	1.756	1.156	1.771×10^{-5}	0.0251
400	5.80	90.88	1.134	1.734	1.134	1.764×10^{-5}	0.0250
500	3.50	87.88	1.112	1.712	1.112	1.758×10^{-5}	0.0249
600	1.20	84.72	1.090	1.690	1.090	1.752×10^{-5}	0.0248
700	-1.10	81.40	1.068	1.668	1.068	1.745×10^{-5}	0.0247
800	-3.40	77.83	1.044	1.644	1.044	1.738×10^{-5}	0.0246
900	-5.70	74.01	1.020	1.620	1.020	1.731×10^{-5}	0.0245
1000	-8.00	69.95	0.995	1.595	0.995	1.724×10^{-5}	0.0244
1100	-10.30	65.65	0.969	1.569	0.969	1.717×10^{-5}	0.0243
1200	-12.60	61.11	0.942	1.542	0.942	1.710×10^{-5}	0.0242
1300	-14.90	56.33	0.914	1.514	0.914	1.703×10^{-5}	0.0241
1400	-17.20	51.31	0.885	1.485	0.885	1.696×10^{-5}	0.0240
1500	-19.50	46.05	0.855	1.455	0.855	1.689×10^{-5}	0.0239
1600	-21.80	40.55	0.824	1.424	0.824	1.682×10^{-5}	0.0238
1700	-24.10	34.81	0.792	1.392	0.792	1.675×10^{-5}	0.0237
1800	-26.40	28.83	0.759	1.359	0.759	1.668×10^{-5}	0.0236
1900	-28.70	22.61	0.724	1.324	0.724	1.661×10^{-5}	0.0235
2000	-31.00	16.15	0.688	1.288	0.688	1.654×10^{-5}	0.0234
2100	-33.30	9.45	0.650	1.250	0.650	1.647×10^{-5}	0.0233
2200	-35.60	2.51	0.610	1.210	0.610	1.640×10^{-5}	0.0232
2300	-37.90	-4.57	0.569	1.169	0.569	1.633×10^{-5}	0.0231
2400	-40.20	-11.63	0.526	1.126	0.526	1.626×10^{-5}	0.0230
2500	-42.50	-18.68	0.481	1.081	0.481	1.619×10^{-5}	0.0229
2600	-44.80	-25.72	0.435	1.035	0.435	1.612×10^{-5}	0.0228
2700	-47.10	-32.75	0.387	0.987	0.387	1.605×10^{-5}	0.0227
2800	-49.40	-39.77	0.338	0.938	0.338	1.598×10^{-5}	0.0226
2900	-51.70	-46.78	0.288	0.888	0.288	1.591×10^{-5}	0.0225
3000	-54.00	-53.78	0.236	0.836	0.236	1.584×10^{-5}	0.0224
3100	-56.30	-60.77	0.183	0.783	0.183	1.577×10^{-5}	0.0223
3200	-58.60	-67.75	0.129	0.729	0.129	1.570×10^{-5}	0.0222
3300	-60.90	-74.72	0.074	0.674	0.074	1.563×10^{-5}	0.0221
3400	-63.20	-81.68	0.019	0.619	0.019	1.556×10^{-5}	0.0220
3500	-65.50	-88.63	0.004	0.564	0.004	1.549×10^{-5}	0.0219
3600	-67.80	-95.57	0.000	0.509	0.000	1.542×10^{-5}	0.0218
3700	-70.10	-102.50	0.000	0.454	0.000	1.535×10^{-5}	0.0217
3800	-72.40	-109.42	0.000	0.399	0.000	1.528×10^{-5}	0.0216
3900	-74.70	-116.33	0.000	0.344	0.000	1.521×10^{-5}	0.0215
4000	-77.00	-123.23	0.000	0.289	0.000	1.514×10^{-5}	0.0214

Fuente: (Cengel, 2007, pág.863)

ANEXO J: PROPIEDADES DE LA ATMÓSFERA A GRAN ALTITUD

Temp., T , °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, c_p , J/kg·K	Conductividad térmica, k , W/m·K	Difusividad térmica, α , m ² /s	Viscosidad dinámica, μ , kg/m·s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	956	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309

Fuente: (Cengel, 2007, pág.863)

ANEXO K: MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA DE TERMOFORMADO PARA LA ELABORACIÓN DE VALVAS DE FÉRULAS ANTEBRAQUIALES.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO MÁQUINA DE
TERMOFORMADO

POVEDA DENNYS, SOLORZANO LUIS

2023 - 2024

1. INTRODUCCIÓN

Para la máquina automatizada de termoformado se diseñó un manual de control y mantenimiento sobre la máquina de termoformado con el fin de proporcionar una guía detallada sobre la configuración, operación y mantenimiento.

El manual está dirigido a operadores que trabajan con la estación de termoformado. Este incluye instrucciones para operar la maquinaria de manera segura y directrices sobre el mantenimiento preventivos y correctivos que se deben realizar para garantizar un óptimo funcionamiento y una larga vida útil.

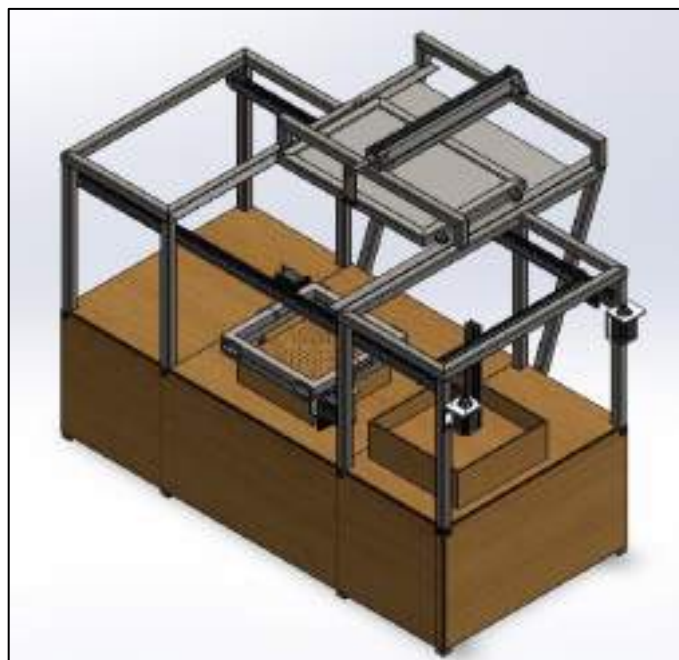


Ilustración 1. Diseño de la máquina de termoformado

1.1 DESCRIPCIÓN.

La función principal de la máquina termoformadora es producir valvas de férulas antebraquiales a partir de láminas de polipropileno de forma automatizada. Tiene un diseño atractivo y fácil operación para cualquier operador.

Todos los componentes deben estar situados en la posición inicial para que la máquina funcione, es decir, cilindros con el pistón retraído, el sistema de sujeción en la posición inicial y las lumbrreras abiertas. Se digitaliza el tiempo de calentamiento a través del panel de control y la temperatura a trabajar en el controlador de temperatura. Luego se presiona el botón de inicio y las operaciones se detallan a continuación.

- El sistema de transporte toma una plancha de polipropileno de la caja de almacenamiento y la traslada al área de sujeción.
- Los cilindros del sistema de sujeción se extienden hasta su posición media, es decir 50mm.
- El sistema de transporte deja la plancha y regresa a su posición inicial.
- Las compuertas del sistema de sujeción se cierran.
- Los cilindros del sistema de sujeción y calefacción se extienden en su totalidad.
- Se espera el tiempo de calentamiento digitado.
- Los cilindros del sistema de sujeción y calefacción se retraen completamente.
- Se realiza el formado mediante el vacío de la aspiradora.
- Las compuertas del sistema de sujeción se abren.
- El sistema de sujeción se dirige a la zona media, toma la plancha de polipropileno y transporta al área de producto terminado.

2. DETALLES TÉCNICOS.

Para el correcto funcionamiento del componente de la máquina se debe contar con una fuente de 110V AC y una de 12V DC. De igual forma, se requiere de una aspiradora de al menos 3HP para generar el vacío requerido.

Además, se necesita dos fuentes de aire comprimido. El compresor 1 debe cumplir con características como una capacidad de 20 Litros y una presión de 135psi y el compresor 2 con una capacidad de 3 Litros y una presión de 46psi.

Las dimensiones de la máquina de termoformado son las siguientes:

- Largo: 1360 mm
- Ancho: 654 mm
- Alto: 1100 mm

3. INFORMACIÓN DE SEGURIDAD.

Para poder operar, dar mantenimiento o reparar la máquina, es de suma importante que haya leído el manual de usuario detenidamente para evitar situaciones peligrosas o accidentes.

3.1. ADVERTENCIAS.

En esta sección del manual se da a conocer sobre las distintas señales de advertencia y su ubicación en la máquina. Si no se logra visualizar las señaléticas, se recomienda limpiar el área con un trapo ligeramente húmedo con agua, evite hacer uso disolventes o exceso de agua. No seguir esta información y las señales de emergencia, puede causar lesiones y accidentes.

- **Advertencia: Leer manual técnico antes de usar**

Esta etiqueta está ubicada al lado derecha de la máquina de termoformado, lugar que es visible para el operario.

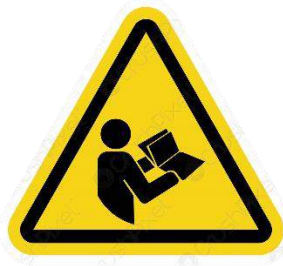


Ilustración 2. Símbolo de leer manual técnico antes de usar

- **Advertencia: Riesgo de quemadura**

Esta etiqueta está ubicada en el módulo de calor, en la parte trasera de la máquina de termoformado.



Ilustración 3. Símbolo de riesgo de quemadura

- **Advertencia: Riesgo eléctrico**

Esta etiqueta está ubicada en la tapa de la caja. En esta caja se encuentra el sistema de control y las conexiones eléctricas de la máquina de termoformado.



Ilustración 4. Símbolo de riesgo eléctrico

- **Advertencia: Riesgo de atrapamiento**

Esta etiqueta está ubicada en el sistema de transporte, en la parte frontal de la máquina de termoformado.



Ilustración 5. Símbolo de riesgo de atrapamiento

3.2 PREVENCIÓN CONTRA QUEMADURAS

Si ocurre algún atasco o algún comportamiento inusual en el módulo de calentamiento, es importante tomar medidas inmediatas para garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento de la máquina. Por lo tanto, se debe apagar la máquina y esperar hasta que se enfríe antes que se realiza alguna actividad de revisión o corrección.

4. SECCION DE OPERACIÓN

4.1. ENCENDIDO Y APAGADO DEL SISTEMA

Para poner en marcha la máquina, se debe verificar que esté completamente armada y que no haya ninguna obstrucción en sistema de transporte, en los rieles del módulo de calor y en los bastidores.

Los compresores deben estar conectados adecuadamente a las diferentes electroválvulas y al generador de vacío y las electroválvulas a sus respectivos cilindros, con el fin de evitar fugas de aire. La aspiradora debe estar conectada a la caja de vacío. Todo el sistema eléctrico debe estar conectado correctamente de los equipos a la caja de control.

Se debe colocar 5 láminas de polipropileno de 30cm x 30cm en la caja de almacenamiento y el molde de la férula en la caja de vacío. Las condiciones iniciales de los equipos se muestran en la ilustración 6.



Ilustración 6. Interfaz en estado base

Si en el panel de control se acciona el switch de encendido/apagado en la posición de encendido, el sistema de calentamiento y la interfaz gráfica se encenderán. Véase en la ilustración 7.



Ilustración 7. Interfaz – switch encendido

Al accionar el switch de ENCENDER, se debe ingresar tiempo que la plancha de plástico va a estar expuesta al calor. Esta opción permitirá al operario ajustar el parámetro en el futuro para el calentamiento de otros materiales. Véase en la ilustración 8.



Ilustración 8. Interfaz – Setear tiempo de calentamiento

De igual manera, se debe ingresar la temperatura con la que se va a trabajar. La temperatura a la cual funcionará la máquina es de a 450°C. Si se desea editar este parámetro, es necesario modificar el controlador de temperatura.

Para modificar el controlador, se debe seguir los siguientes pasos. En primer lugar, se oprime el botón de *set*, luego, se seleccione la temperatura mediante las flechas de izquierda, abajo y arriba. Por último, se oprime el botón *set* para asignar el parámetro. Véase en la ilustración 9.



Ilustración 9. Calibración de temperatura

Una vez se haya ingresado el tiempo de calentamiento y la temperatura, se oprime botón de INICIAR para poner en marcha el proceso. En la interfaz gráfica se observa el desarrollo del proceso mediante el encendido y apagado de focos, como se observa en la ilustración 10.



Ilustración 10. Interfaz – Botón de Iniciar proceso

4.2. MODO AUTOMÁTICO

Una vez se oprima el botón INICIAR, se da inicio al proceso automatizado de termoformado. El proceso de termoformado constara de 3 etapas, como se describe a continuación.

Etapa 1: Materia prima

En esta etapa, el sistema robótico de transporte moviliza la plancha de polipropileno de la zona de almacenamiento a la zona de termoformado mediante una sujeción por ventosa y generación de vacío. Véase en la ilustración 12

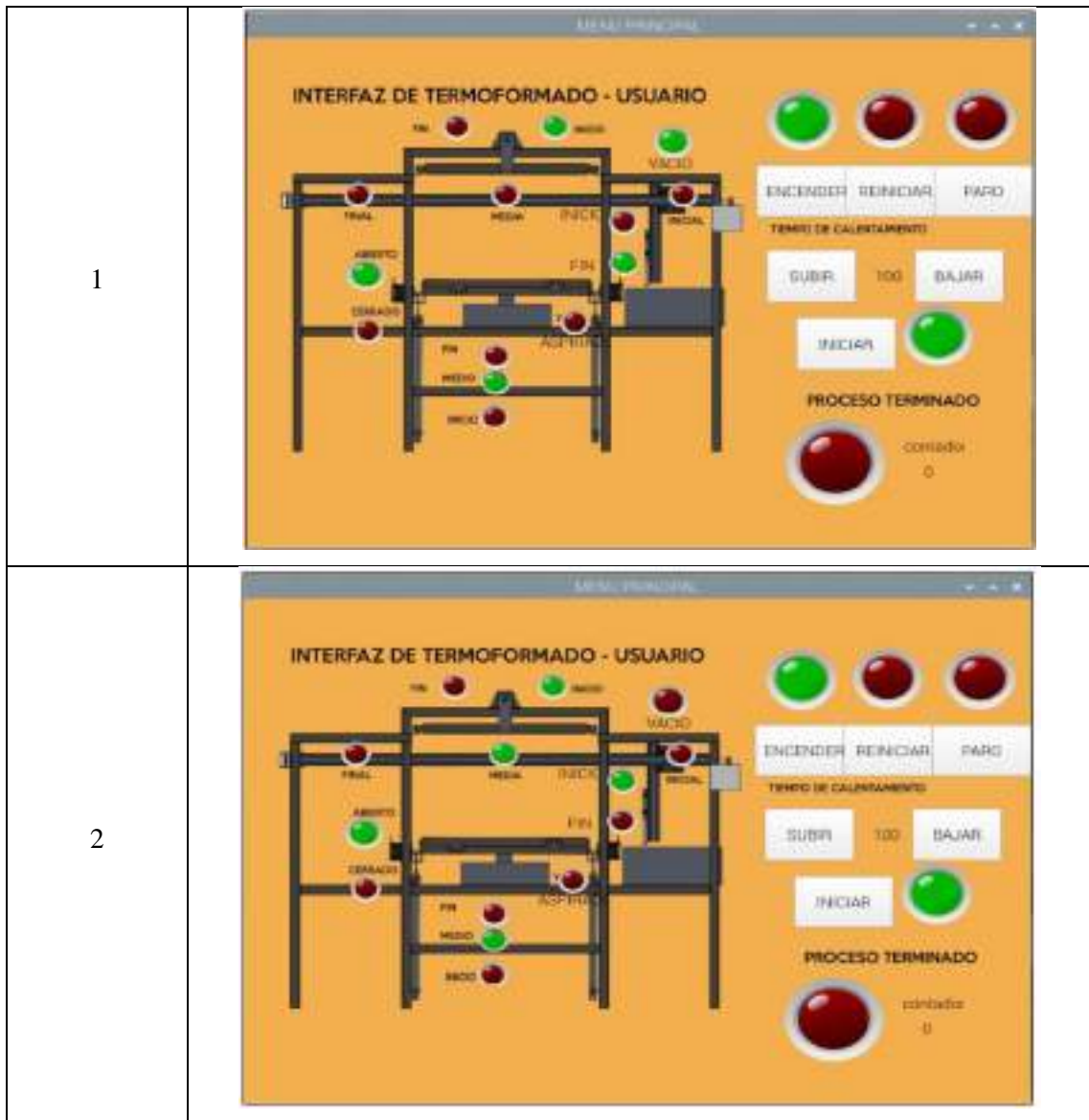


Ilustración 12. Interfaz – Etapa 1

En la ilustración 12 (1), el sistema de transporte está en su estado inicial. En la ilustración 12 (2), las compuertas del sistema de sujeción deben estar abiertas y sus cilindros en la posición media, después que el sistema de transporte deje la plancha de polipropileno en el sistema de sujeción, este retornara a su estado inicial.

Etapa 2: Termoformado

En esta etapa, se realizará el proceso de termoformado a través de un sistema de sujeción, el accionamiento neumático de los sistemas, tanto de sujeción como de calentamiento, por último, la generación al vacío. Véase en la ilustración 13.

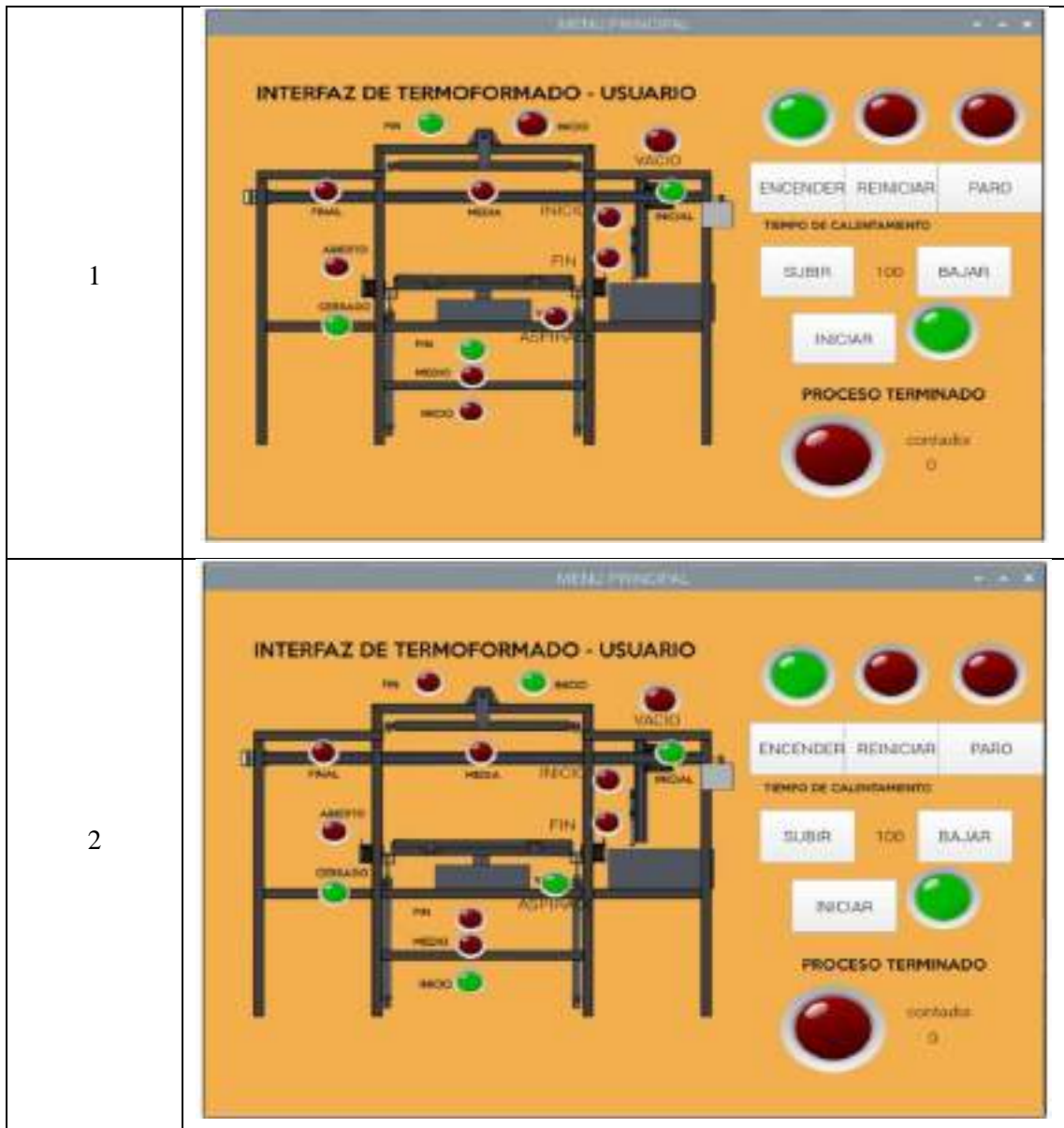


Ilustración 13. Interfaz – Etapa 2

En la ilustración 13 (1), las puertas de sujeción se cierran y los cilindros, tanto del sistema de sujeción como del módulo de calor se desplazan hasta su posición de fin. Posterior al tiempo de calentamiento establecido, se observa en la ilustración 13 (2) el retorno de los cilindros a su posición de inicio. Después, se enciende el vacío para el formado de la férula por 15 segundos.

Etapa 3: Producto terminado

En esta etapa, el sistema de transporte desplaza la lámina desde la etapa de termoformado hasta la etapa de producto terminado mediante el accionamiento de la ventosa y el generador de vacío.

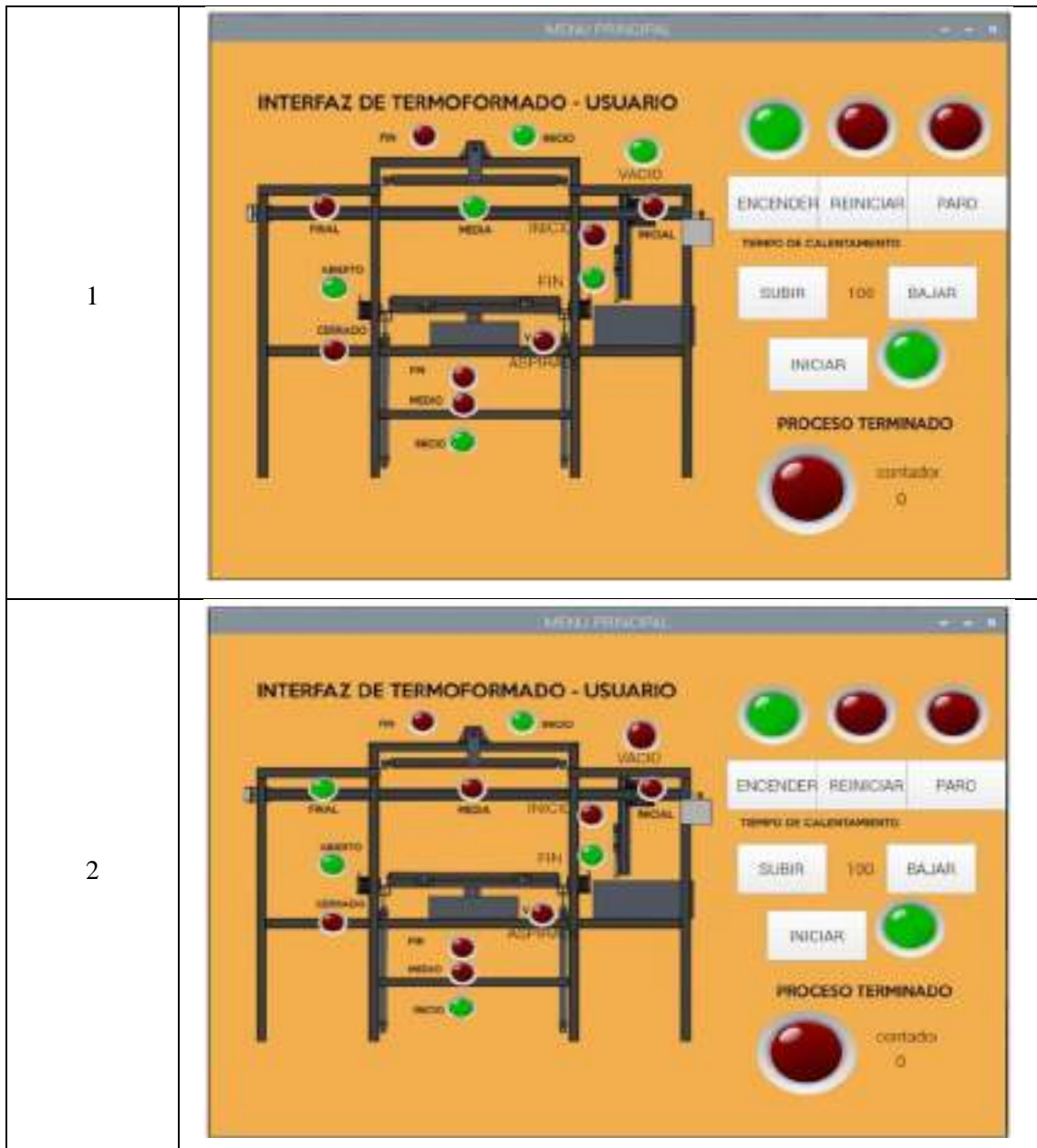


Ilustración 14. Interfaz – Etapa 3

En la ilustración 13 (1), las compuertas se abren y el sistema de transporte se mueve hasta la posición media, donde el sistema sujetará la plancha de plástico. Posterior, en la ilustración 13 (2) se ve el sistema de transporte que se desplaza hasta su posición final, donde deja la plancha de plástico.

Finalmente, cuando el proceso de producción que consta de 5 repeticiones termine, se encenderá el foco de proceso terminado y el sistema de transporte se moverá hasta su posición inicial. Véase en la ilustración 15.



Ilustración 15. Interfaz – Proceso Terminado

4.3. PARADA DE EMERGENCIA DEL SISTEMA

En el caso de ocurra alguna emergencia, como un fallo mecánico, un atrapamiento o algún acontecimiento inesperado durante el proceso, se debe oprimir el botón de APAGADO DE EMERGENCIA inmediatamente, esto permitirá que todo el proceso productivo de detenga de manera inmediata.

4.4. REINICIO DEL SISTEMA

Posterior al paro de emergencia, todos los equipos que conforman a la máquina de termoformado deben regresar a su posición inicial. Para aquello, se debe retirar el molde de la termoformadora, el botón de emergencia debe desactivarse y luego presionar el botón de REINICIO.



Ilustración 15. Botones de reinicio y apagado de emergencia

5. MANTENIMIENTO

Para la limpieza de la máquina se debe eliminar el polvo o suciedad acumulada. Para ello, la máquina debe estar apagada y el módulo de calor frío. Posteriormente, se utiliza una franela seca o húmeda para limpiar todo el sistema. Es importante evitar el uso de aceite, desinfectante o gasolina en el proceso.

Para el mantenimiento del compresor y la aspiradora se deberá seguir las recomendaciones del fabricante. A continuación, en la tabla 1 se muestra recomendaciones para el mantenimiento de algunos equipos y sistemas.

Tabla 1. Plan de Mantenimiento

	Antes de cada uso	Semanal	Mensual	Trimestral
Máquina de termoformado				
Limpieza de polvo o suciedad acumulada.	X			
Revisión del estado general de la máquina.	X			
Inspección de componentes móviles y lubricación si es necesario		X		
Compresor				
Revisión del nivel de aceite y cambio de aceite si es necesario.	X			
Limpieza de la caja del cigüeñal			X	
Revisión del filtro depurador y comprobación de la válvula de seguridad y el manómetro			X	

Drenaje del tanque				X
Aspiradora				
Limpieza del polvo o suciedad acumulada.	X			
Limpieza de filtro de aire.			X	
Sistema de Transporte				
Limpieza de rieles y ajuste de tornillos.	X			
Sistema de calentamiento				
Monitoreo del controlador de temperatura.		X		
Verificación y calibración de sensores de temperatura			X	
Sistema de control				
Revisión general de las conexiones eléctricas.	X			
Verificación de software y actualizaciones			X	

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

ANEXO L: DESARROLLO DE LA PROGRAMACIÓN.

```
//pines entradas

//sensores
const int Sini = 22;
const int Smed = 23;
const int Sfin = 24;
// pulsadores
const int Benc = 4;
const int Bsta = 5;
const int Beme = 2;
const int Bres = 3;
//Salidas
const int r_v1a = 29; //valvula accionamineto de calentamiento A
const int r_v1b = 30; //valvula accionamineto de calentamiento B
const int r_v2a = 31; //valvula accionamineto de sujeccion
const int r_v2b = 32; //valvula accionamineto de sujeccion
const int r_v3a = 33; //valvula accionamineto de sujeccion
const int r_v3b = 34; //valvula accionamineto de sujeccion
const int r_v4a = 35; //valvula transporte de ventosa A
const int r_v4b = 36; //valvula trasnporte de ventosa B

const int r_gen = 25; //encendido general
const int r_asp = 26; //aspiradora
const int r_vac = 27; //generador de vacio
const int r_tem = 28; //resistencias

// motores transporte
const int en_a = 12;
const int pul_a = 10;
const int dir_a = 11;
// motores compuerta
const int en_b = 8;
const int pul_b = 6;
const int dir_b = 7;
```

```

int PasosM = 9900; // paso para la mitad
int PasosF = 20300; // pasos para el final

int PasosC = 380; // pasos para cerrar compuerta

int maximo = 2; // numero de repeticiones

bool on = 1; // con que se enciende 1 enciendmo high y con low para los rele

// estados

bool m1=false;
bool m2=false;
bool m3=false;
bool m4=false;
bool m5=false;
bool m6=false;
bool m7=false;
bool m71=false;
bool m8=false;
bool m9=false;
bool m91=false;
bool m10=false;
bool m11=false;
bool m12=false;
bool m13=false;
bool m14=false;
bool m15=false;
bool m16=false;
bool m17=false;
bool m18=false;
bool m19=false;

//estado sensores y botones
//sensores

```

```

bool E_Sini = 22;
bool E_Smed = 23;
bool E_Sfin = 24;
// pulsadores
bool E_Benc = false;
bool E_Bsta = false;
bool E_Beme = false;
bool E_Bres = false;

bool E_Benc1 = false;
bool E_Bsta1 = false;
bool E_Beme1 = true;
bool E_Bres1 = false;
//Salidas

// contador

bool contador=true;
unsigned long cont=0;
int num=1;
unsigned long pasos1=0;
unsigned long pasos2=0;

bool PIn=false;
bool PM=false;
bool PF=false;

bool PP1=false;
bool PP0=false;

bool actd=false;
bool actd1=false;
// tiempos

bool act_T=false;
unsigned long ti;

```

```

unsigned long ta = millis();

bool tb = false; // temporizador para bajar cilindro
bool ts = false; // temporizador para subir cilindro
bool ts1 = false; // temporizador para subir plataforma(tiempo corto)
bool tss1 = false; // temporizador para subir plataforma
bool tcal = false; // temporizador para subir plataforma
bool tsb = false; // temporizador para subir plataforma
bool tasp = false; // temporizador para aspirado
bool act = true;

unsigned long t_c1 = 2000; // tiempo de subido y bajada del cilindro transporta ventosa
unsigned long t_esp1 = 1000; // tiempo de subida de plataforma (tiempo corto)
unsigned long t_ss1 = 5000; // tiempo de subida de plataforma
unsigned long t_sb = 6000; // tiempo de bajada de plataforma
unsigned long t_cal = 425; // tiempo de calentamiento en segundos los demas en milisegundos
unsigned long t_asp = 15000; // tiempo de aspiración
int vel1=300; //velocidad motor banda
int vel2=3000; //velocidad motor compuerta

unsigned long tiempoActual;
unsigned long tiempoAnterior = 0;
unsigned long intervaloPaso = 1000; // Intervalo serial

void setup()
{

digitalWrite(r_gen,0 == on);
digitalWrite(r_tem,0 == on);
digitalWrite(r_v4a,0 == on);
digitalWrite(r_v4b,0 == on);
digitalWrite(r_vac,0 == on);
digitalWrite(r_v2a,0 == on);
digitalWrite(r_v3a,0 == on);
digitalWrite(r_v2b,0 == on);
digitalWrite(r_v3b,0 == on);

```



```
digitalWrite(r_v1a,0 == on);
digitalWrite(r_v1b,0 == on);
digitalWrite(r_asp,0 == on);

Serial.begin(9600);
pinMode(Sini,INPUT);
pinMode(Smed,INPUT);
pinMode(Sfin,INPUT);
pinMode(Benc,INPUT);
pinMode(Bsta,INPUT);
pinMode(Beme,INPUT);
pinMode(Bres,INPUT);
pinMode(r_v1a,OUTPUT);
pinMode(r_v1b,OUTPUT);
pinMode(r_v2a,OUTPUT);
pinMode(r_v2b,OUTPUT);
pinMode(r_v3a,OUTPUT);
pinMode(r_v3b,OUTPUT);
pinMode(r_v4a,OUTPUT);
pinMode(r_v4b,OUTPUT);
pinMode(r_gen,OUTPUT);
pinMode(r_asp,OUTPUT);
pinMode(r_vac,OUTPUT);
pinMode(r_tem,OUTPUT);
pinMode(en_a,OUTPUT);
pinMode(pul_a,OUTPUT);
pinMode(dir_a,OUTPUT);
pinMode(en_b,OUTPUT);
pinMode(pul_b,OUTPUT);
pinMode(dir_b,OUTPUT);
digitalWrite(en_a,LOW);
digitalWrite(en_b,LOW);
digitalWrite(r_gen,0 == on);
digitalWrite(r_tem,0 == on);
digitalWrite(r_v4a,0 == on);
digitalWrite(r_v4b,0 == on);
```

```
digitalWrite(r_vac,0 == on);
digitalWrite(r_v2a,0 == on);
digitalWrite(r_v3a,0 == on);
digitalWrite(r_v2b,0 == on);
digitalWrite(r_v3b,0 == on);
digitalWrite(r_v1a,0 == on);
digitalWrite(r_v1b,0 == on);
digitalWrite(r_asp,0 == on);
}
```

```
void loop()
```

```
{

    leer();
    tiempoActual = millis();
    if(Serial.available())
    {
        char op=Serial.read();
        if(op == 'A')
        {
            E_Benc1=true;
        }

        if(op == 'B')
        {
            E_Bres1=true;
        }

        if(op == 'C')
        {
            E_Beme1=false;
        }

        if(op == 'D')
        {
            E_Bsta1=true;
        }
    }
}
```

```

}

if(op == 'd')
{
    E_Bsta1=false;
}

if(op == 'E')
{
    t_cal=t_cal+5;
}

if(op == 'F')
{
    t_cal=t_cal-5;
    if(t_cal<=10)
    {
        t_cal=10;
    }
}

if(act)
{
    m1=((E_Benc + m1*!m2)*E_Beme) > 0;
    m2=(((m1*E_Benc*E_Bsta*E_Sini + m19*E_Sini*contador +
m2*!m3)*E_Beme)*contador) > 0;
    m3=((m2*tb + m3*!m4)*E_Beme) > 0;
    m4=((m3*ts + m4*!m5)*E_Beme) > 0;
    m5=((m4*PM*E_Smed + m5*!m7)*E_Beme) > 0;
    m7=((m5*ts1 + m7*!m71)*E_Beme) > 0;
    m71=((m7*ts + m71*!m8)*E_Beme) > 0;
    m8=((m71*PIn*E_Sini + m8*!m9)*E_Beme) > 0;
    m9=((m8*PP1 + m9*!m91)*E_Beme) > 0;
    m91=((m9*tss1 + m91*!m10)*E_Beme) > 0;
}

```

```

m10=((m91*tcal + m10!*m11)*E_Beme) > 0;
m11=((m10*tsb + m11!*m12)*E_Beme) > 0;
m12=((m11*tasp + m12!*m13)*E_Beme) > 0;
m13=((m12*PP0 + m13!*m14)*E_Beme) > 0;
m14=((m13*PM*E_Smed + m14!*m15)*E_Beme) > 0;
m15=((m14*tb + m15!*m16)*E_Beme) > 0;
m16=((m15*ts + m16!*m17)*E_Beme) > 0;
m17=((m16*PF*E_Sfin + m17!*m18)*E_Beme) > 0;
m18=((m17*tb + m18!*m19)*E_Beme) > 0;
m19=((m18*ts + m19!*m2)*E_Beme) > 0;
Salidas();
}

```

```

if(!act)
{
digitalWrite(r_gen,0 == on);
digitalWrite(r_tem,0 == on);
digitalWrite(r_v4a,0 == on);
digitalWrite(r_v4b,0 == on);
digitalWrite(r_vac,0 == on);
digitalWrite(r_v2a,0 == on);
digitalWrite(r_v3a,0 == on);
digitalWrite(r_v2b,0 == on);
digitalWrite(r_v3b,0 == on);
digitalWrite(r_v1a,0 == on);
digitalWrite(r_v1b,0 == on);
digitalWrite(r_asp,0 == on);
}

```

```

if(E_Bres)
{

digitalWrite(r_v4b,1 == on);
digitalWrite(r_v1b,1 == on);
delay(t_sb);
digitalWrite(r_v4b,0 == on);

```

```

digitalWrite(r_v1b,0 == on);

delay(1000);
digitalWrite(r_v2b,1 == on);
digitalWrite(r_v3b,1 == on);
delay(t_sb);
digitalWrite(r_v2b,0 == on);
digitalWrite(r_v3b,0 == on);

while(pasos2!=0)
{
    digitalWrite(dir_b,HIGH);
    moverM2();
    pasos2--;
}
while(pasos1!=0)
{
    digitalWrite(dir_a,LOW);
    moverM1();
    pasos1--;
}
pasos1 = 0;
contador=true;
actd=false;
num=1;
pasos2 = 0;
pasos1 = 0;
E_Benc1 = false;
E_Bsta1 = false;
E_Beme1 = true;
E_Bres1 = false;
act=true;
E_Beme=true;
}

if(!E_Beme)

```

```

{
  act = false;
}

temporizadores();
if (tiempoActual - tiempoAnterior >= intervaloPaso)
{
  enviarSerial();
  tiempoAnterior = tiempoActual;
}
}

```

```

void leer()
{
  E_Sini=digitalRead(Sini);
  E_Smed=digitalRead(Smed);
  E_Sfin=digitalRead(Sfin);
  E_Benc=(digitalRead(Benc)+E_Benc1)>0;
  E_Bsta=(digitalRead(Bsta)+E_Bsta1)>0;
  E_Beme=(digitalRead(Beme)*E_Beme1)>0;
  E_Bres=(digitalRead(Bres)+E_Bres1)>0;
  if(num>maximo)contador=false;
  if(E_Bsta)actd=true;
  if(!contador && m19 && E_Sini)
  {
    actd1=true;
    actd=false;
    act=false;
  }
}

```

```

void Salidas()
{

```

```
digitalWrite(r_gen,m1 == on);
digitalWrite(r_tem,m1 == on);
digitalWrite(r_v4a,(m2 || m14 || m17) == on);
digitalWrite(r_v4b,(m3 || m7 || m15 || m18) == on);
if(m2 || m14)digitalWrite(r_vac,HIGH == on);
if(m7 || m18)digitalWrite(r_vac,LOW == on);
```

```
digitalWrite(r_v2a,(m5 || m9 || m91 ) == on);
digitalWrite(r_v3a,(m5 || m9 || m91) == on);
```

```
digitalWrite(r_v2b,m10 == on);
digitalWrite(r_v3b,m10 == on);
```

```
digitalWrite(r_v1a,m9 == on);
digitalWrite(r_v1b,m10 == on);
```

```
digitalWrite(r_asp,m11 == on);
```

```
// mueve a la mitad
```

```
if(m4 || m13)
```

```
{
```

```
    if(pasos1==PasosM)
```

```
    {
```

```
        PM=true;
```

```
    }else
```

```
    {
```

```
        PM=false;
```

```
        digitalWrite(dir_a,HIGH);
```

```
        moverM1();
```

```
        pasos1++;
```

```
    }
```

```
}
```

```
// mueve al inicio
```

```
if(m71 || m19)
```

```

{

if(pasos1==0)
{
  PIn=true;
  pasos1=0;
}else
{
  digitalWrite(dir_a,LOW);
  moverM1();
  pasos1--;
  PIn=false;
}
}

// mueve al final
if(m16)
{
  if(pasos1==PasosF)
  {
    PF=true;
  }else
  {
    PF=false;
    digitalWrite(dir_a,HIGH);
    moverM1();
    pasos1++;
  }
}

// cierra compuerta
if(m8)
{

  if(pasos2==PasosC)
  {

```



```

    PP1=true;
}else
{
    PP1=false;
    digitalWrite(dir_b,LOW);
    moverM2();
    pasos2++;
}
}

// abre compuerta
if(m12)
{

    if(pasos2==0)
    {
        PP0=true;
        pasos2=0;
    }else
    {
        PP0=false;
        digitalWrite(dir_b,HIGH);
        moverM2();
        pasos2--;
    }
}

if(m19)
{
    PP1=false;
    PP0=false;
}
}

void temporizadores()

```

```

{

// temporizador para bajar el cilindro de la ventosa
if(m2 || m14 || m17)
{
    delay(1);
    cont++;
    if(cont>=t_c1)
    {
        tb=true;
        cont=0;
    }
}else
{
    tb=false;
}

// temporizador para subir el cilindro de la ventosa

if(m3 || m7 || m15 || m18)
{
    delay(1);
    cont++;
    if(cont>=t_c1)
    {
        ts=true;
        cont=0;
    }
}else
{
    ts=false;
}

// temporizador para subir plataforma un poco

if(m5)

```

```
{
  delay(1);
  cont++;
  if(cont>=t_esp1)
  {
    ts1=true;
    cont=0;
  }
}else
{
  ts1=false;
}
```

// temporizador para subir plataforma

```
if(m9)
{
  delay(1);
  cont++;
  if(cont>=t_ss1)
  {
    tss1=true;
    cont=0;
  }
}else
{
  tss1=false;
}
```

// temporizador para calentamiento

```
if(m91)
{
  delay(1);
  cont++;
```

```
if(cont>=(t_cal*1000))
{
    tcal=true;
    cont=0;
    num++;
}
}else
{
    tcal=false;
}

// temporizador para bajar plataforma
```

```
if(m10)
{
    delay(1);
    cont++;
    if(cont>=t_sb)
    {
        tsb=true;
        cont=0;
    }
}else
{
    tsb=false;
}
}
```

```
// temporizador para aspirado
```

```
if(m11)
{
    delay(1);
    cont++;
    if(cont>=t_asp)
    {
        tasp=true;
    }
}
```

```

    cont=0;
}
}else
{
    tasp=false;
}
}

void enviarSerial()
{
    Serial.print(E_Sini);
    Serial.print(",");
    Serial.print(E_Smed);
    Serial.print(",");
    Serial.print(E_Sfin);
    Serial.print(",");
    Serial.print(E_Benc);
    Serial.print(",");
    Serial.print(E_Bsta);
    Serial.print(",");
    Serial.print(E_Beme);
    Serial.print(",");
    Serial.print(E_Bres);
    Serial.print(",");
    Serial.print(m3 || m7 || m15 || m18); // INICIO CILINDRO 0
    Serial.print(",");
    Serial.print(m2 || m14 || m17); // FIN CILINDRO 0
    Serial.print(",");
    Serial.print(m10); // INICIO CILINDRO 1
    Serial.print(",");
    Serial.print(m5 ); // med CILINDRO 1
    Serial.print(",");
    Serial.print(m9); // fin CILINDRO 1
    Serial.print(",");
    Serial.print(m10); // inicio CILINDRO 2
    Serial.print(",");

```

```

Serial.print(m9); // fin CILINDRO 1
Serial.print(",");
Serial.print(m2 || m14); // vacio on
Serial.print(",");
Serial.print(m7 || m18); // vacio off
Serial.print(",");
Serial.print(m11); // asp
Serial.print(",");
Serial.print(pasos2); // pasos2
Serial.print(",");
Serial.print(t_cal); // tiempo
Serial.print(",");
Serial.print(num-1); // numero de repeticiones
Serial.print(",");
Serial.print(actd); // activacion
Serial.print(",");
Serial.print(actd1); // desactivacion
Serial.println();
}

```

```

void moverM1()

```

```

{

    digitalWrite(pul_a,HIGH);
    delayMicroseconds(vel1); // Breve retardo para el pulso
    digitalWrite(pul_a, LOW);
    delayMicroseconds(vel1); // Breve retardo para el pulso

}

```

```

void moverM2()

```

```

{

    digitalWrite(pul_b,HIGH);
    delayMicroseconds(vel2); // Breve retardo para el pulso
    digitalWrite(pul_b, LOW);
    delayMicroseconds(vel2); // Breve retardo para el pulso

}

```

}

ANEXO M: LISTA DE COMPONENTES DEL PROTOTIPO.

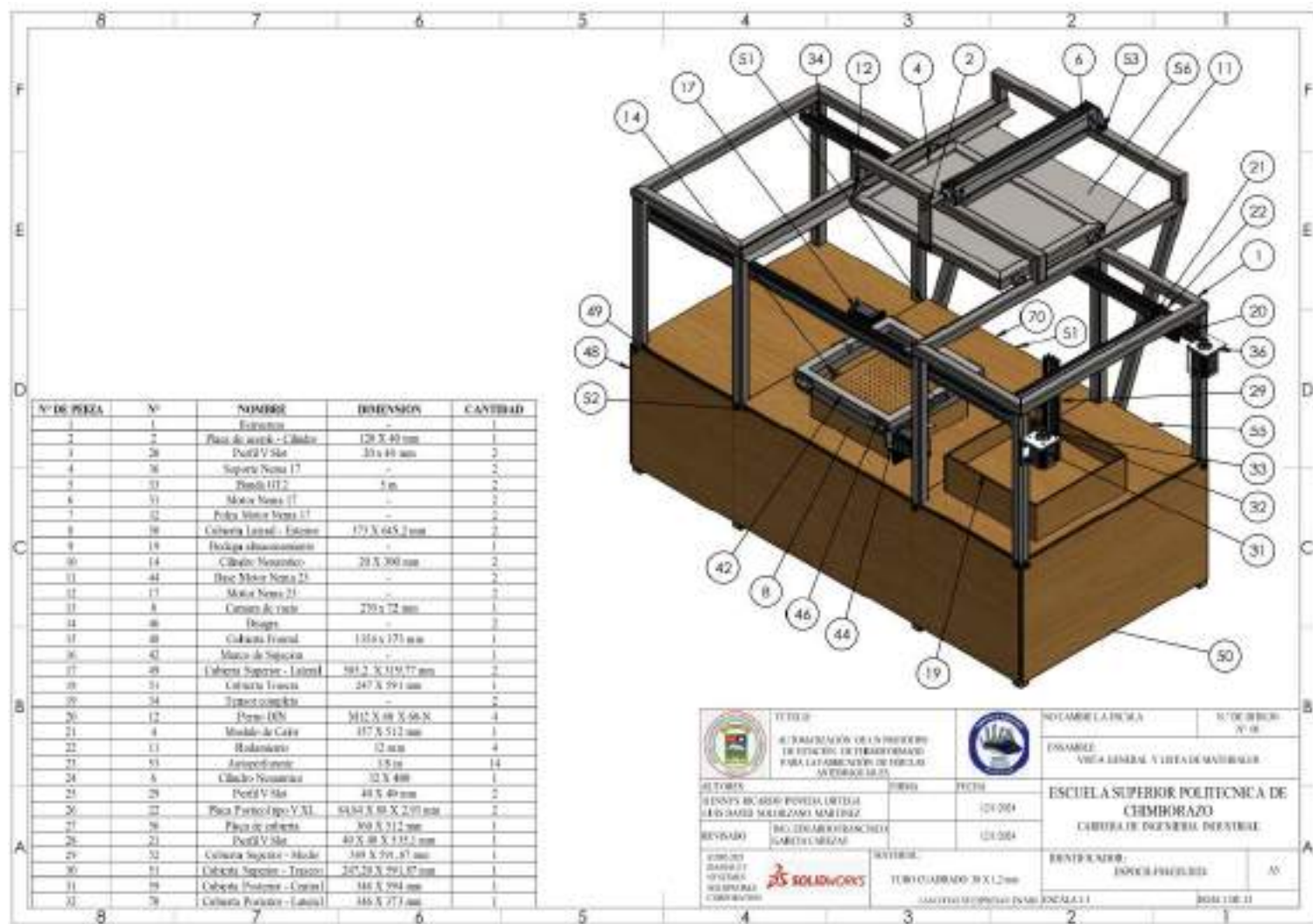
ESTRUCTURA			
ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Tubo cuadrado 30x1,2mm	7	\$ 6,00	\$ 42,00
Tubo cuadrado 25x1,2mm	2	\$ 3,00	\$ 6,00
Perfil en L 25x1,2mm	3	\$ 3,00	\$ 9,00
Plancha de acero ASMT	2	\$ 18,00	\$ 36,00
Perfil de Aluminio 20x40 serie 20	3,94	\$ 15,00	\$ 59,10
ELEMENTOS VARIOS			
Cortes de lamina	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Disco de corte	5	\$ 2,00	\$ 10,00
Disco de desbaste	1	\$ 1,50	\$ 1,50
Disco de pulido	1	\$ 2,00	\$ 2,00
Masilla	1	\$ 7,00	\$ 7,00
Autoperforantes 1/8	35	\$ 0,10	\$ 3,50
Broca 1/8	1	\$ 1,50	\$ 1,50
Broca 1/4	1	\$ 1,75	\$ 1,75
Broca 1/16	1	\$ 0,75	\$ 0,75
Tuercas hexagonales	4	\$ 0,10	\$ 0,40
Perno Hexagonal 1,2mm	4	\$ 0,50	\$ 2,00
Clavos	1	\$ 1,50	\$ 1,50
Electrodos 6011	3,5	\$ 1,50	\$ 5,25
Electrodos 6013	1	\$ 1,50	\$ 1,50
Sorpote de esquina seria 20	10	\$ 0,89	\$ 8,90
Placa porticla en V	2	\$ 16,79	\$ 33,58
Banda de 6 mm	9	\$ 4,02	\$ 36,18
Perno allen M5x08	20	\$ 0,08	\$ 1,60
Perno allen M5X20	2	\$ 0,08	\$ 0,16
Perno allen M2X20	4	\$ 0,10	\$ 0,40
Placa micro fin-carrera	2	\$ 2,67	\$ 5,34
Polea dentada con rodamiento	2	\$ 2,45	\$ 4,90

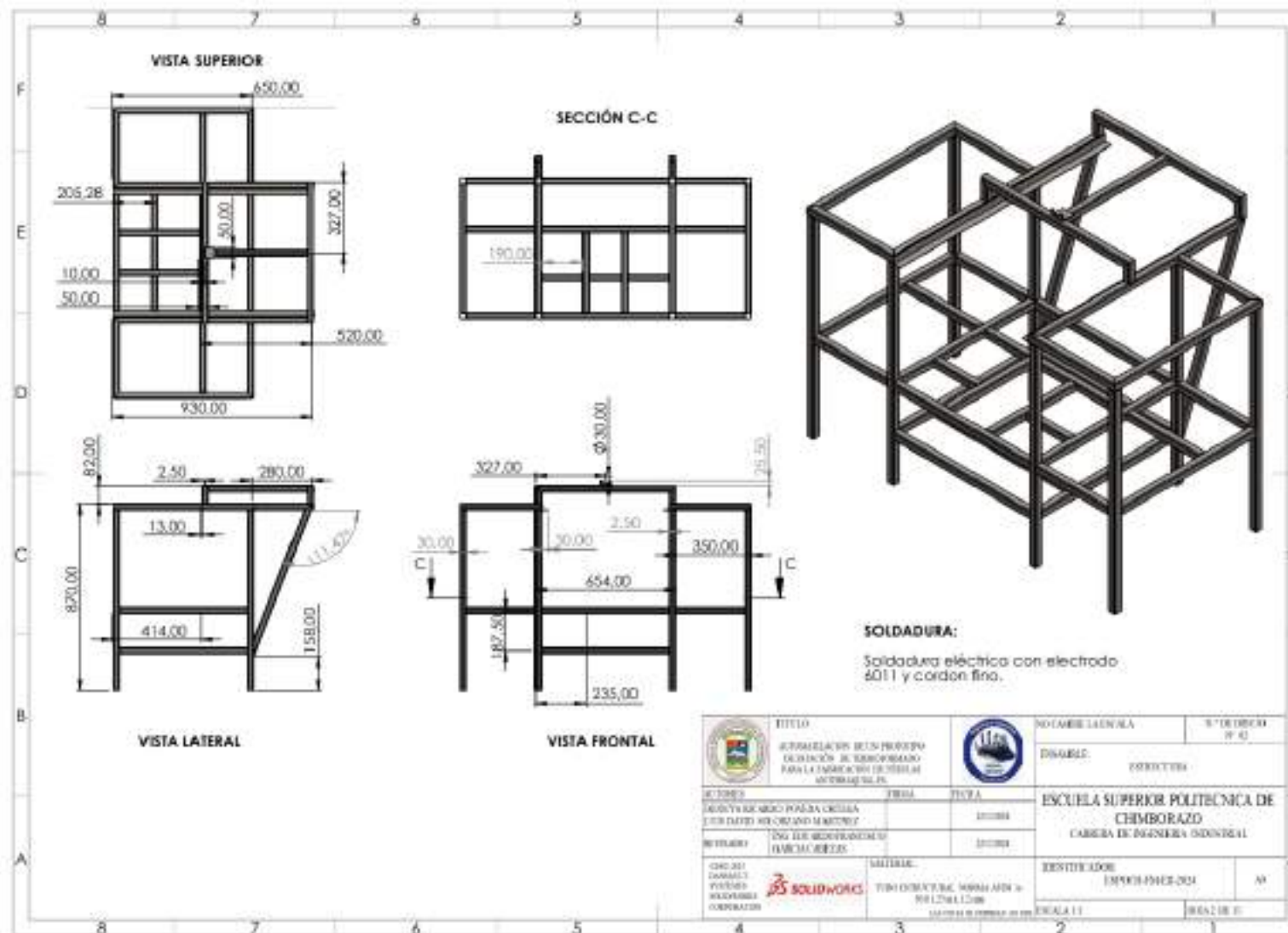
Tuerca hexagonal M2	4	\$ 0,08	\$ 0,32
Tuerca hexagonal M5	2	\$ 0,08	\$ 0,16
Tuerca T rectangular M5	20	\$ 0,17	\$ 3,40
Lamina de PP	1	\$ 82,84	\$ 82,84
Pelador de cable	1	\$ 5,00	\$ 5,00
Alicate	1	\$ 2,50	\$ 2,50
Lijas A080	5	\$ 0,50	\$ 2,50
Acople de taladro 1/8	1	\$ 2,00	\$ 2,00
Acople de taladro mixto	1	\$ 2,00	\$ 2,00
Abrazaderas	4	\$ 0,50	\$ 2,00
Bisagras	4	\$ 0,50	\$ 2,00
Arandelas 3 mm	20	\$ 0,08	\$ 1,60
Cinchos 12 cm	2	\$ 2,50	\$ 5,00
Taípe	1	\$ 1,00	\$ 1,00
Goma de madera	1	\$ 5,00	\$ 5,00
ELECTRICO/ELECTRÓNICO			
Aspiradora	1	\$ 70,09	\$ 70,09
Motr NEMA 23	2	\$ 25,00	\$ 50,00
Motor NEMA 17	2	\$ 15,00	\$ 30,00
Controlador de tem C-700	1	\$ 38,00	\$ 38,00
Drivers TB 6600	4	\$ 16,00	\$ 64,00
Raspberry PI	1	\$ 150,00	\$ 150,00
Arduino Mega	1	\$ 27,00	\$ 27,00
Cable gemelo AWG	15	\$ 0,60	\$ 9,00
Cable de 8 hilos	5	\$ 0,30	\$ 1,50
Terminales	50	\$ 0,05	\$ 2,50
Adaptador HDM a mini HDMI	1	\$ 8,00	\$ 8,00
Módulo de 8 relés	1	\$ 8,00	\$ 8,00
Módulo de 4 relés	1	\$ 4,50	\$ 4,50
Borneras de conexión	6	\$ 0,25	\$ 1,50
NEUMÁTICA			
Cilindro neumático 32x400	1	\$ 150,00	\$ 150,00
Cilindro neumático 20x300	2	\$ 100,00	\$ 200,00
Electroválvula 5/3	2	\$ 100,00	\$ 200,00
Electroválvula 5/2	1	\$ 55,00	\$ 55,00

Electroválvula bies tal	1	\$ 30,00	\$ 30,00
Ventosa	1	\$ 7,00	\$ 7,00
Generador de vacío	1	\$ 45,00	\$ 45,00
Racores 1/8 estranguladores	8	\$ 2,50	\$ 20,00
Manguera de 6 mm	5	\$ 0,45	\$ 2,25
Manguera de 8 mm	2	\$ 0,75	\$ 1,50
Acople de 1/5	1	\$ 5,00	\$ 5,00
Acople en T	1	\$ 1,50	\$ 1,50
TOTAL			\$ 1.595,47

Realizado por: Poveda D., Solorzano L., 2024

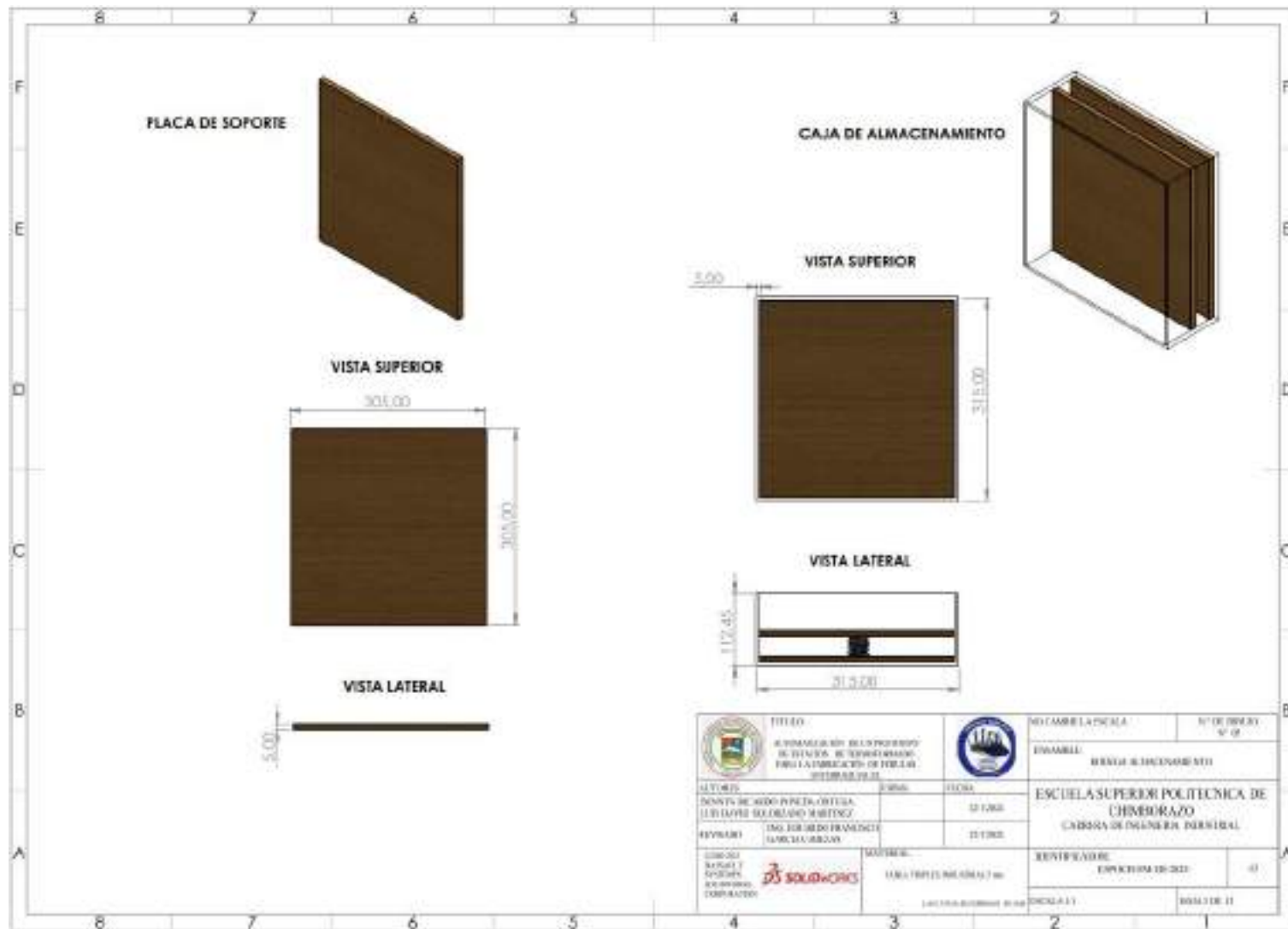
ANEXO N: PLANOS DE CONSTRUCCION.



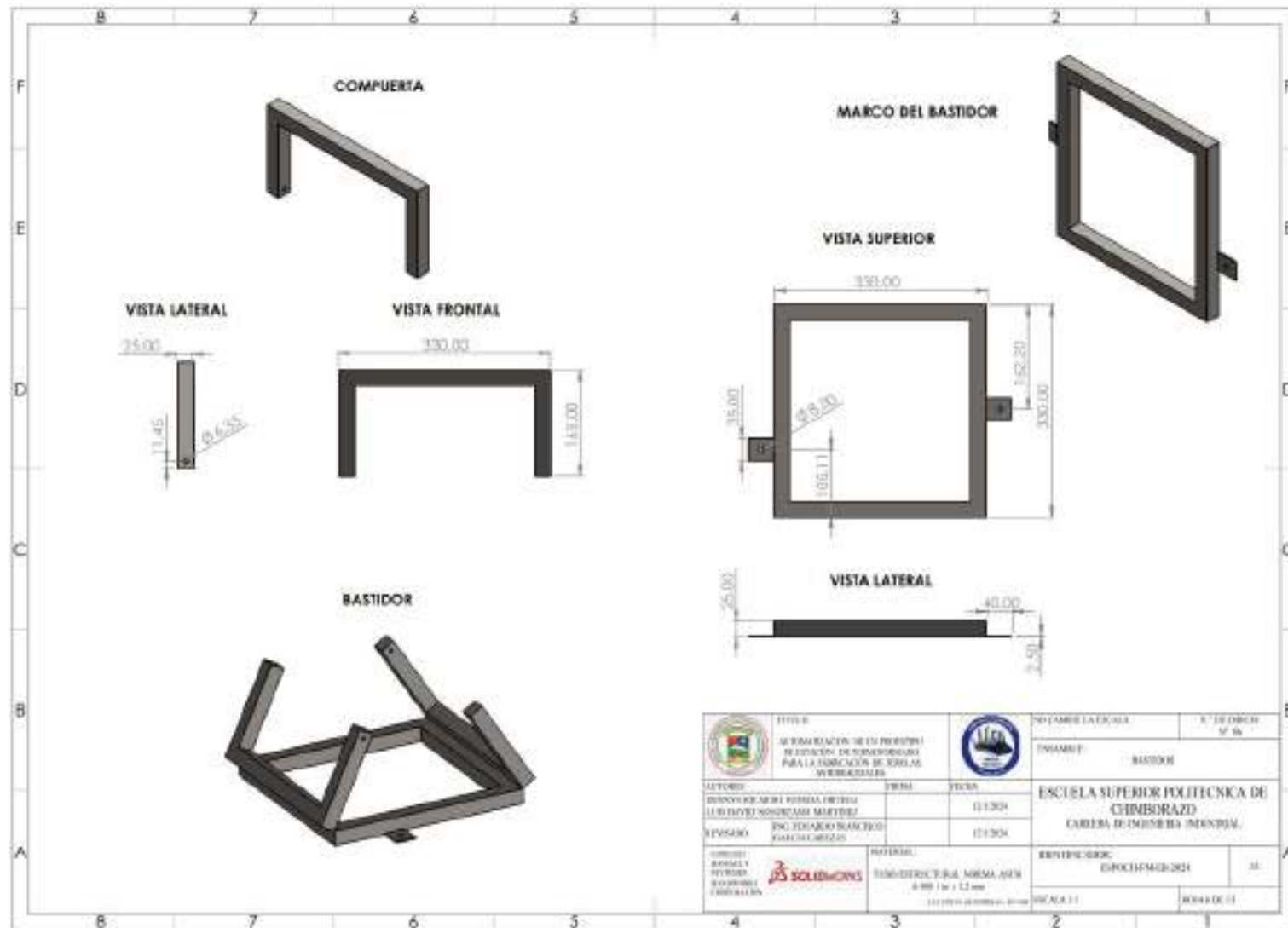




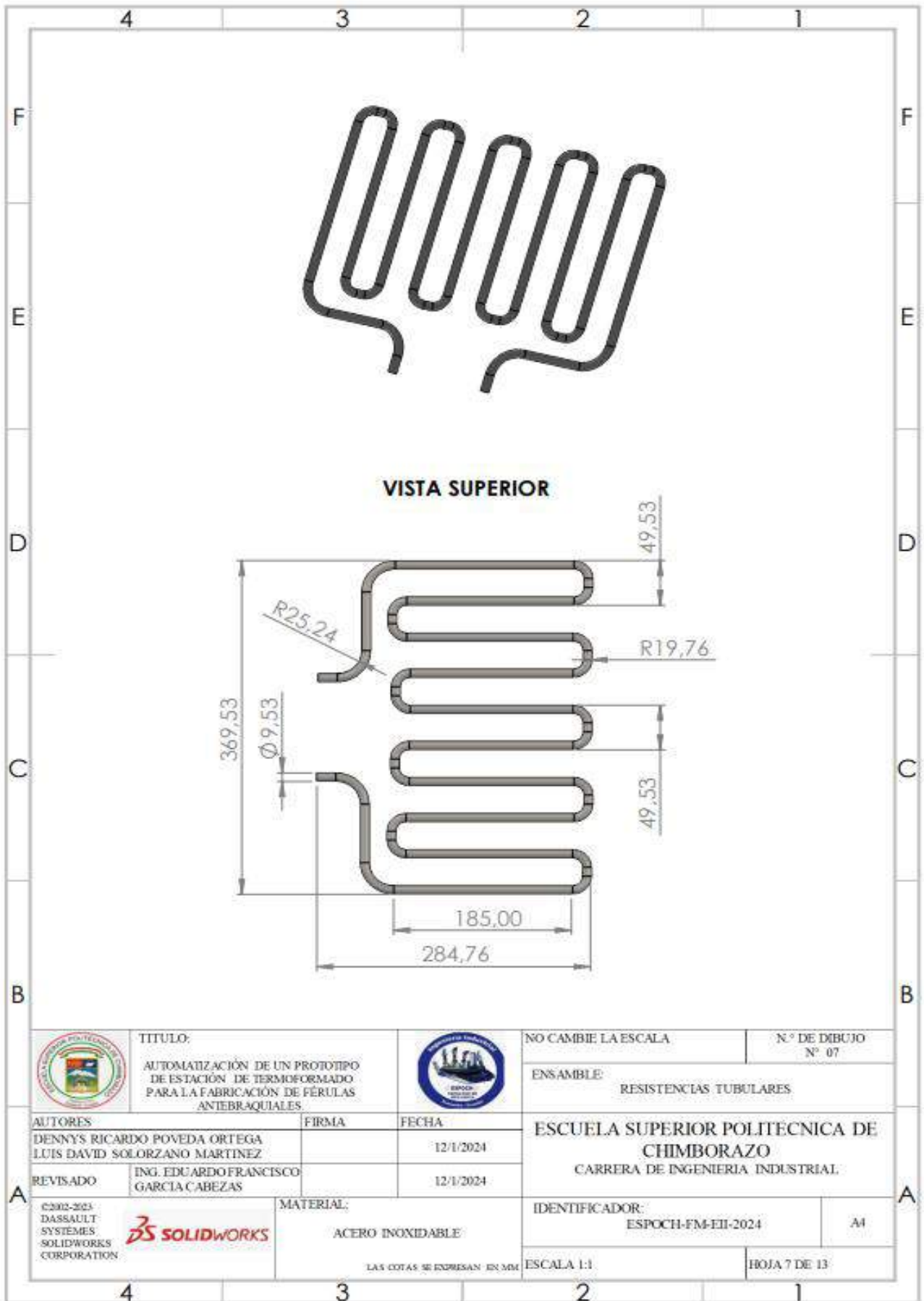




	TÍTULO	NO CAMBIA LA ESCALA	Nº DE TUBOS
	EL DISEÑO DE UN PROYECTO DE ESTACIÓN DE TRATAMIENTO PARA LA FABRICACIÓN DE TUBOS DE ALUMINIO.		Nº DE
AUTORES DENNIS DE ADO PACHELA ORTIGA LUIS DAVID SOLÓRZANO MARTÍNEZ	FECHA	ESCALA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
	FECHA	FECHA	CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
COORDINADOR MARIO J. ESPINOZA DIRECTOR GENERAL INSTITUTO VASCO 	MATERIA: DISEÑO TÉCNICO III		REPRESENTANTE ESPACIO PARA FIRMA
	INSTITUCIÓN: INSTITUTO VASCO		FECHA DE ENTREGA: 2023



	TÍTULO SE FORMACIÓN DE UN PROYECTO DE EDIFICIO DE TIPO RESIDENCIAL PARA LA ASOCIACIÓN DE SERVIDORES VEREDALES			Nº DE AMBIENTACIÓN N° 10
	AUTORES DIGNO REYES FERRAZ, DIEGO LUIS FLORES SANCHEZ, MARCELO			FECHA 11/1/2024
REVISOR ING. EDUARDO BLANCO GARCÍA GARCÍA		FECHA 11/1/2024		INSTITUCIÓN ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROYECTO RESOLVI TÉCNICA ESTRUCTURAL CONCRETO		MATERIAL CONCRETO DE LA MISMA AREA 4.800 1 m x 1.2 m		REVISOR DIEGO FERRAZ
		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL		FECHA DE EJECUCIÓN 11/1/2024



TITULO:
 AUTOMATIZACIÓN DE UN PROTOTIPO
 DE ESTACIÓN DE TERMOFORMADO
 PARA LA FABRICACIÓN DE FÉRULAS
 ANTEBRAQUIALES.



NO CAMBIE LA ESCALA

N.º DE DIBUJO
 N.º 07

ENSAMBLE:
 RESISTENCIAS TUBULARES

AUTORES
 DENNY RICARDO POVEDA ORTEGA
 LUIS DAVID SOLORZANO MARTINEZ

FIRMA
 [Signature]

FECHA
 12/1/2024

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE
 CHIMBORAZO

CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

REVISADO
 ING. EDUARDO FRANCISCO
 GARCIA CABEZAS

FIRMA
 [Signature]

FECHA
 12/1/2024



MATERIAL:
 ACERO INOXIDABLE

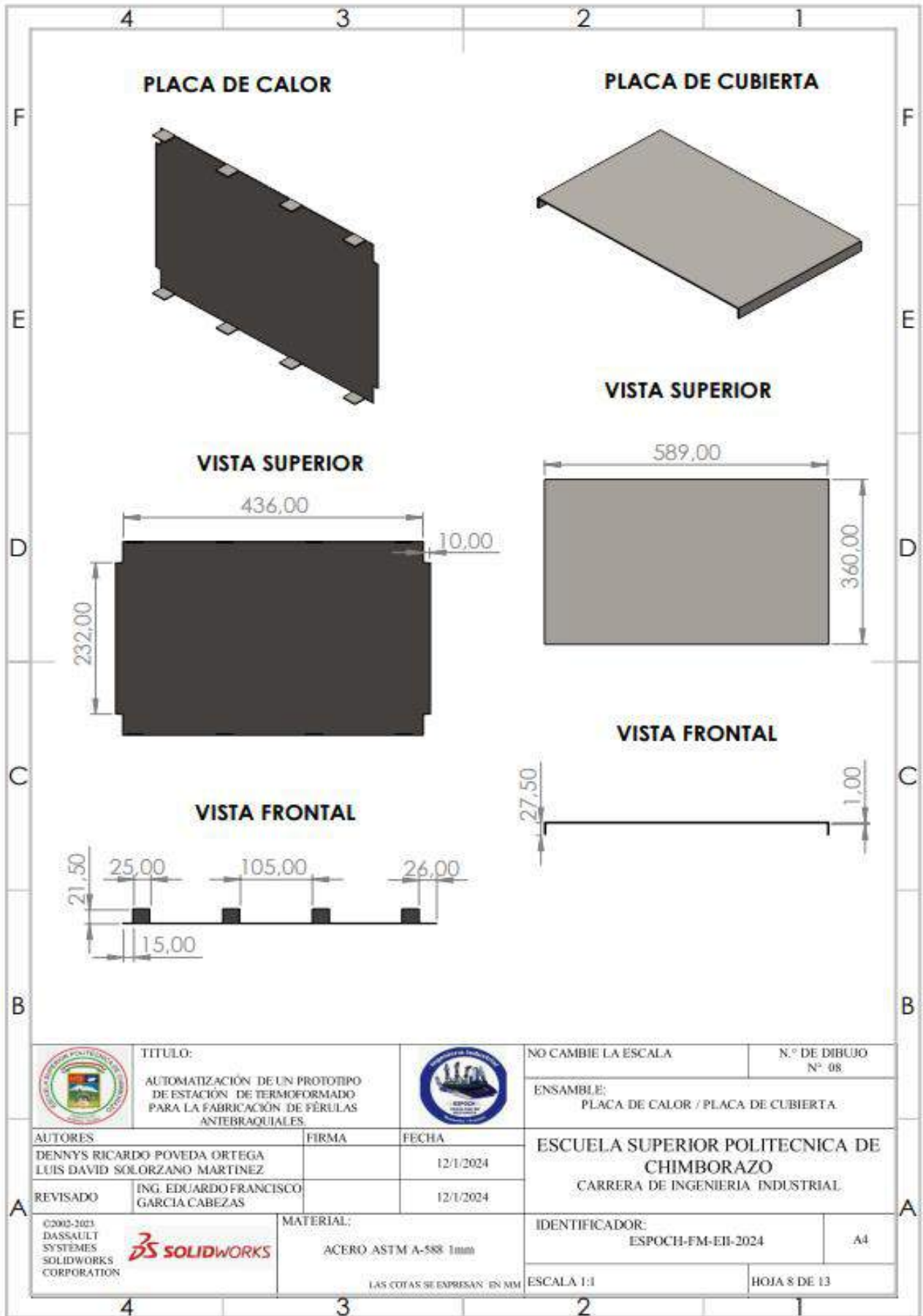
IDENTIFICADOR:
 ESPOCH-FM-EII-2024

A4

C2012-2023
 DASSAULT
 SYSTEMES
 SOLIDWORKS
 CORPORATION

ESCALA 1:1
 HOJA 7 DE 13

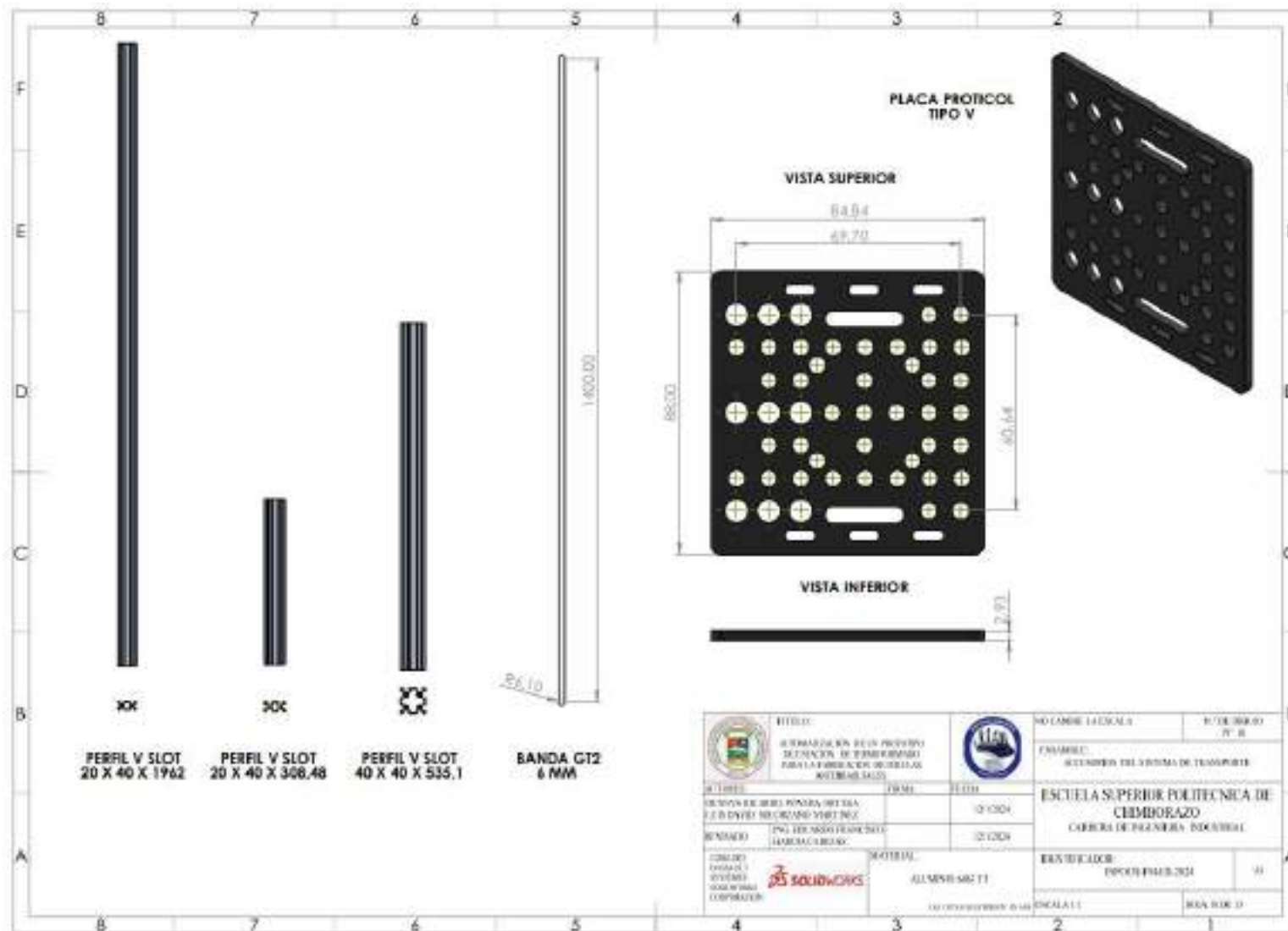
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

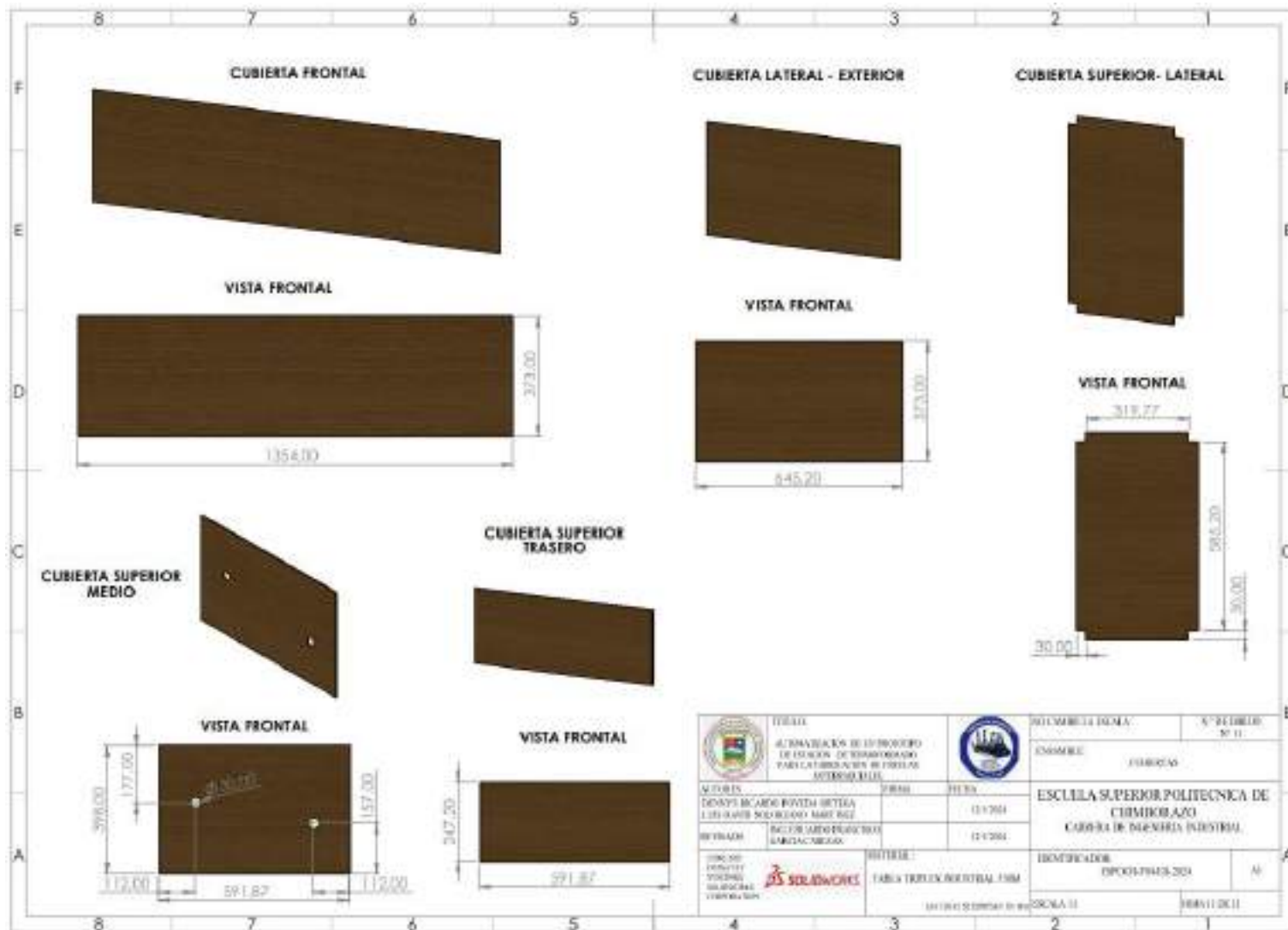


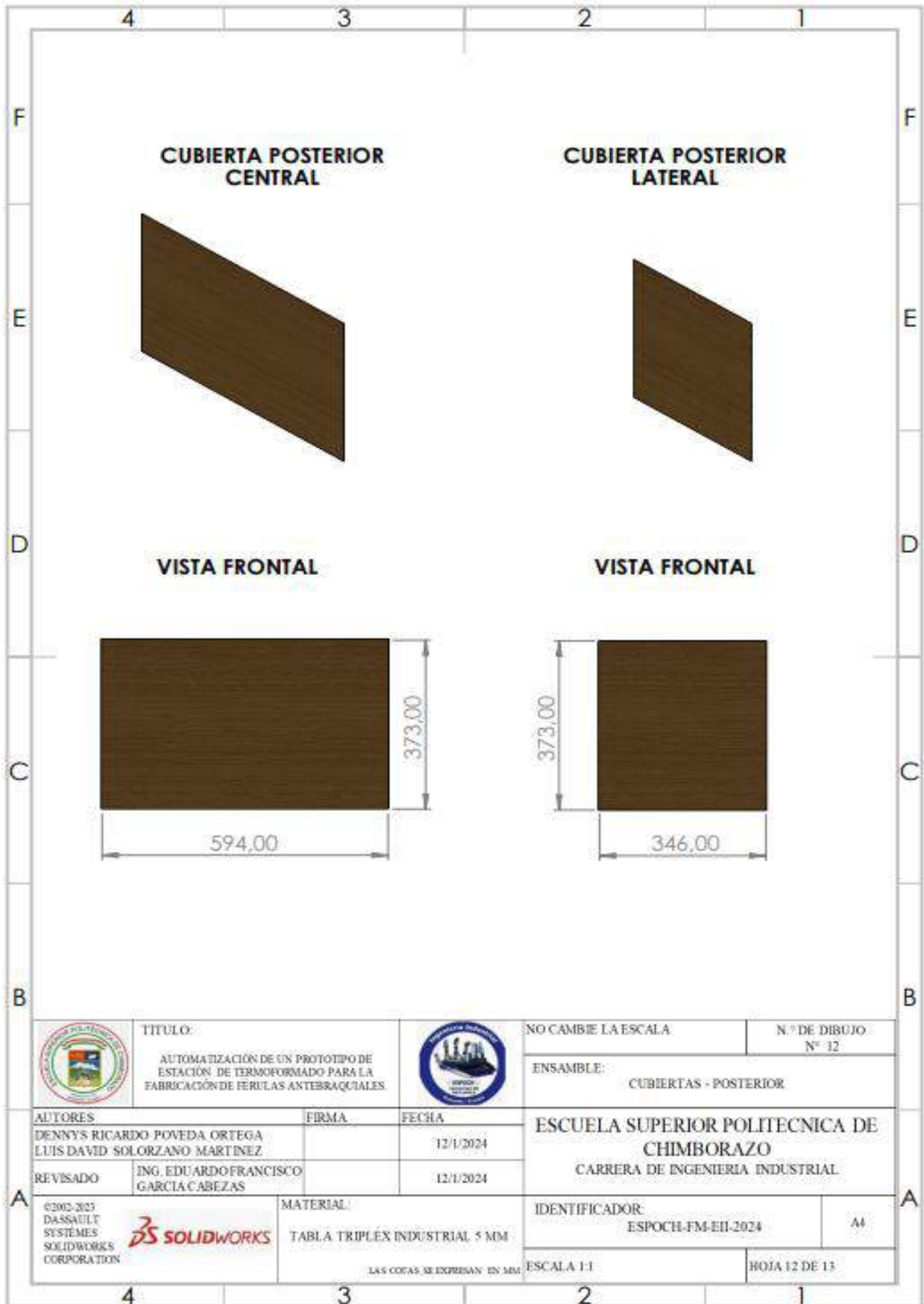
	TITULO: AUTOMATIZACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN DE TERMOFORMADO PARA LA FABRICACIÓN DE FÉRULAS ANTEBRAQUIALES.			NO CAMBIE LA ESCALA	N.º DE DIBUJO Nº 08	
	ENSAMBLE: PLACA DE CALOR / PLACA DE CUBIERTA					
AUTORES DENNY RICARDO POVEDA ORTEGA LUIS DAVID SOLORZANO MARTINEZ		FIRMA	FECHA 12/1/2024	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL		
REVISADO ING. EDUARDO FRANCISCO GARCIA CABEZAS			12/1/2024			
©2002-2023 DASSAULT SYSTEMES SOLIDWORKS CORPORATION 		MATERIAL: ACERO ASTM A-588 1mm LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		IDENTIFICADOR: ESPOCH-FM-EI-2024		A4
				ESCALA 1:1	HOJA 8 DE 13	



	TÍTULO: ASIGNACIÓN DE PROPIEDAD DE UN BIEN DE INTERÉS PÚBLICO PARA LA FABRICACIÓN DE BOLLAS SOBREMONTABLES		NOMBRE LA MATERIA: DISEÑO DE MECANISMO DEL SOBREMONTABLE	N.º DE DISEÑO: N.º 01
	ALUMNO: EDUINOS ACUERO PAVÓN CRISTINA ESTUDIOS SOBREMONTABLES		FECHA: 01/10/2024	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
INSTITUCIÓN: INSTITUTO VECES 3 SOLUZIONI	INSTITUTO: AERO VITAMIN	FECHA: 01/10/2024	IDENTIFICACIÓN: DISEÑO 01-01-2024	O
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO			ESCALA: 1:1	(FIRMAR)







TITULO:
AUTOMATIZACION DE UN PROTOTIPO DE ESTACION DE TERMOFORMADO PARA LA FABRICACION DE FERULAS ANTEBRAQUIALES.



NO CAMBIE LA ESCALA. N.º DE DIBUJO N.º 12
ENSAMBLE: CUBIERTAS - POSTERIOR

AUTORES	FIRMA	FECHA
DENNY RICARDO POVEDA ORTEGA LUIS DAVID SOLORIZANO MARTINEZ		12/1/2024
REVISADO	ING. EDUARDO FRANCISCO GARCIA CABEZAS	12/1/2024

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

©2002-2025 DASSAULT SYSTEMES SOLIDWORKS CORPORATION 	MATERIAL:
	TABLA TRIPLEX INDUSTRIAL 5 MM LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM



IDENTIFICADOR: ESPOCH-FM-EII-2024	A4
ESCALA 1:1	HOJA 12 DE 13





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 22 / 07 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Dennys Ricardo Poveda Ortega Luis David Solorzano Martinez
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Mecánica
Carrera: Ingeniería Industrial
Título a optar: Ingeniero Industrial
 Ing. Eduardo Francisco García Cabezas, Mgs. Director del Trabajo de Titulación  Ing. Carlos José Santillán Mariño, Msg. Asesor del Trabajo de Titulación

