

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“DISEÑO DE UNA TERMOFORMADORA BIDIMENSIONAL
PARA LA FABRICACIÓN DE GUARDAS DE
POLICARBONATO DE HASTA 1 METRO DE LONGITUD
APLICADO PARA LA INDUSTRIA METALMECÁNICA 2022”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO**

AUTOR: JORGE ENRIQUE INSIL ARICA
ASESOR: MG. ING. ALFONSO SANTIAGO CALDAS BASAURI

LINEA DE INVESTIGACIÓN: DISEÑO MECÁNICO

Callao, 2022

PERÚ

Document Information

Analyzed document	7. TESIS. Insil Arica, Jorge Enrique.pdf (D142844893)
Submitted	2022-08-12 07:14:00 UTC+02:00
Submitted by	
Submitter email	investigacion.fime@unac.pe
Similarity	1%
Analysis address	investigacion.fime.unac@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	Documento Final Marcos La Serna.pdf Document Documento Final Marcos La Serna.pdf (D121219427)	 5
SA	Documento Final correcciones.pdf Document Documento Final correcciones.pdf (D124369929)	 3
SA	TESIS FINAL V3.docx Document TESIS FINAL V3.docx (D110494853)	 2
W	URL: https://nces.ed.gov/pubs2011/data/Read_ALS_2010_imp_suppr_sas.txt Fetched: 2020-02-09 17:36:27	 1

Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA "DISEÑO DE UNA TERMOFORMADORA BIDIMENSIONAL PARA LA FABRICACIÓN DE GUARDAS DE POLICARBONATO DE HASTA 1 METRO DE LONGITUD APLICADO PARA LA INDUSTRIA METALMECÁNICA 2022" TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO AUTOR: JORGE ENRIQUE INSIL ARICA ASESOR: MG. ING. ALFONSO SANTIAGO CALDAS BASAURI LINEA DE INVESTIGACIÓN: DISEÑO MECÁNICO Callao, 2022 PERÚ INFORMACIÓN BÁSICA Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía Título: "Diseño de una termoformadora bidimensional para la fabricación de guardas de policarbonato de hasta 1 metro de longitud aplicado para la industria metalmecánica 2022" Autor: Jorge Enrique Insil Arica / 0000-0001-9043-9110 / 74654280 Asesor: Mg. Ing. Alfonso Santiago Caldas Basauri / 08581686 Lugar de Ejecución: San Martín de Porres, Lima Unidad de Análisis: Equipo de termoformado Enfoque, Tipo y Diseño de la investigación: Enfoque reduccionista, tipo básico descriptivo y diseño descriptivo simple Tema OCDE: Ingeniería Mecánica

Dedicatoria Esta investigación se la dedico a mis padres y a mi hermana, por su apoyo incondicional y por ser mi sustento en los momentos más difíciles de este camino.

INFORMACIÓN BÁSICA

Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía

Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía

Título: “Diseño de una termoformadora bidimensional para la fabricación de guardas de policarbonato de hasta 1 metro de longitud aplicado para la industria metalmecánica 2022”

Autor: Jorge Enrique Insil Arica / 0000-0001-9043-9110 / 74654280

Asesor: Mg. Ing. Alfonso Santiago Caldas Basauri / 08581686

Lugar de Ejecución: San Martín de Porres, Lima.

Unidad de Análisis: Equipo de termoformado.

Enfoque, Tipo y Diseño de la investigación: Enfoque cuantitativo, tipo tecnológico aplicado y diseño no experimental.

Tema OCDE: Ingeniería Mecánica.

(Resolución N° 019-2021-CU del 20 de enero de 2021)

ACTA N°103 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO E INGENIERO EN ENERGÍA

LIBRO 001 FOLIO N° 129, ACTA N° 103 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS DEL I CICLO TALLER DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN ENERGÍA

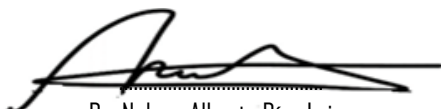
A los 21 días del mes de agosto, del año 2022, siendo las 14:02 horas, se reunieron, en la sala meet: <https://meet.google.com/civ-nwjd-nfn>, el **JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS** para la obtención del **TÍTULO** profesional de **INGENIERO MECÁNICO** de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

Dr. Nelson Alberto Diaz Leiva	: Presidente
Msc. Gustavo Ordoñez Cárdenas	: Secretario
Mag. Juan Adolfo Bravo Félix	: Miembro
Mg. Alfonso Santiago Caldas Basauri	: Asesor

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis del Bachiller **INSIL ARICA JORGE ENRIQUE** quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de **INGENIERO MECÁNICO** sustenta la tesis titulada **“DISEÑO DE UNA TERMOFORMADORA BIDIMENSIONAL PARA LA FABRICACIÓN DE GUARDAS DE POLICARBONATO DE HASTA 1 METRO DE LONGITUD APLICADO PARA LA INDUSTRIA METALMECÁNICA 2022”** cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid- 19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario";

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por **APROBADO** con la escala de calificación cualitativa de **BUENO** y calificación cuantitativa de **QUINCE (15)**, la presente Tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021-CU del 30 de junio del 2021.

Se dio por cerrada la Sesión a las 14:40. horas del día 21 del mes y año en curso.



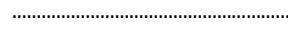
Dr. Nelson Alberto Díaz Leiva
Presidente de Jurado



Msc. Gustavo Ordoñez Cárdenas
Secretario de Jurado



Mg. Juan Adolfo Bravo Félix
Miembro de Jurado



Mg. Alfonso Santiago Caldas Basauri
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA

INFORME N° 16

Visto el ejemplar de la Tesis del Bachiller:

INSIL ARICA JORGE ENRIQUE

Que lleva por título:

"DISEÑO DE UNA TERMOFORMADORA BIDIMENSIONAL PARA LA FABRICACIÓN DE GUARDAS DE POLICARBONATO DE HASTA 1 METRO DE LONGITUD APLICADO PARA LA INDUSTRIA METALMECÁNICA 2022"

A QUIEN CORRESPONDA

El jurado Revisor y evaluador de sustentación de Tesis del I Ciclo Taller de Tesis 2022, designados por Resolución de Consejo de Facultad N° 250-2022-CF-FIME, manifestamos que la sustentación de tesis se llevo a cabo los días Sábado 20 y Domingo 21 de agosto de 2022, en el horario de 09.00 a 15.00 horas, vía Google Meet : <https://meet.google.com/civ-nwjd-nfn> y habiéndose levantado las observaciones realizadas al trabajo de tesis, la misma que en su oportunidad fue revisada cuidadosamente por los miembros del jurado en pleno a través de la sala de Google Meet: <https://meet.google.com/civ-nwjd-nfn> **damos la respectiva conformidad** a la tesis presentada para que continúe con su trámite correspondiente.

Se emite el presente informe favorable para los fines que el interesado considere pertinentes.

Bellavista 22 de setiembre del 2022

Dr. Nelson Alberto Diaz Leiva
Presidente

Msc. Gustavo Ordóñez Cárdenas
Secretario

Mg. Juan Adolfo Bravo Félix
Miembro

Dedicatoria

Esta investigación se la dedico a mis padres y a mi hermana, por su apoyo incondicional y por ser mi sustento en los momentos más difíciles de este camino.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por permitirme llegar hasta este punto de mi vida, a mis padres Jorge y Ana, y mi hermana Mariana por apoyarme en todo momento, su amor incondicional y sus sacrificios que hoy se ven reflejados en mí.

A mis amigos Juan, Rosario y Stephany por darme una voz de aliento cuando más lo requería, por estar presentes cuando los he necesitado.

A los docentes de la FIME por haber transmitido sus conocimientos para formarnos como buenos profesionales.

Al Mg. Ing. Alfonso Caldas, por su apoyo durante este proceso, por sus guías y por su profesionalismo.

ÍNDICE

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCCIÓN.....	10
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	12
1.2. Formulación del problema	15
1.2.1. Problema general.....	15
1.2.2. Problemas específicos.....	15
1.3. Objetivos	16
1.3.1. Objetivo general.....	16
1.3.2. Objetivos específicos.....	16
1.4. Justificación.....	16
1.4.1. Justificación social	16
1.4.2. Justificación teórica.....	16
1.4.3. Justificación metodológica	16
1.5. Delimitantes de la investigación	17
1.5.1. Teórica.....	17
1.5.2. Temporal.....	17
1.5.3. Espacial	17
II. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Antecedentes: Internacional y nacional.....	18
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	18
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	21
2.2. Bases teóricas.....	26
2.2.1. Equipo de termoformado	26
2.2.2. Parámetros del proceso de termoformado.....	27
2.2.3. Técnicas de termoformado	28
2.2.4. Guarda de seguridad	29
2.2.5. Polímeros.....	30
2.2.6. Policarbonato	31
2.2.7. PMMA.....	33

2.2.8. PET	35
2.2.9. PETG	37
2.2.10. Transferencia de calor	38
2.2.11. Balance de energía para sistemas cerrados.....	41
2.2.12. Transferencia de calor por radiación superficies negras....	42
2.2.13. Resistencia Calefactora	42
2.2.14. Efecto Joule	43
2.2.15. Actuadores neumáticos	43
2.2.16. Válvulas direccionales	44
2.2.17. Diseño de estructuras	45
2.2.18. PLC.....	47
2.3. Marco conceptual	48
2.4. Definición de términos básicos	49
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	50
3.1. Hipótesis	50
3.1.1. Hipótesis general	50
3.1.2. Hipótesis específicas	50
3.1.3. Operacionalización de variable	51
IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	52
4.1. Diseño metodológico	52
4.2. Método de investigación	52
4.3. Población y muestra	52
4.4. Lugar de estudio y periodo de desarrollo.....	53
4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....	53
4.6. Análisis y procesamiento de datos.	53
4.7. Aspectos éticos en Investigación.....	54
V. RESULTADOS	55
5.1. Resultados descriptivos.....	55
5.1.1. Análisis de materia prima.....	55
5.1.2. Generalidades del equipo	58
5.1.3. Componentes de la propuesta.....	58
5.1.4. Cálculos térmicos.....	60

5.1.5. Cálculos neumáticos.....	72
5.1.6. Cálculos de estructuras	73
5.1.7. Diseño de programación.....	101
5.1.8. Radio de flexión	101
5.1.9. Manual de usuario y restricciones de diseño	102
5.1.10. Listado de materiales.....	107
5.1.11. Costo del equipo	108
5.1.12. Diseño final de la termoformadora	109
5.1.13. Recopilación de resultados.....	110
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	111
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados .	111
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares	112
6.2.1. Estudios internacionales	112
6.2.2. Estudios nacionales.....	113
VII. CONCLUSIONES.....	115
VIII. RECOMENDACIONES	117
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118
X. ANEXOS	125
ANEXO A. Matriz de consistencia	125
ANEXO B. Certificados de instrumentos de medición	126
ANEXO C. Certificado de policarbonato	128
ANEXO D. Reporte de ensayo	129
ANEXO E. Actuador neumático.....	132
ANEXO F. Licencias de softwares.....	134
ANEXO G. Circuitos Electroneumáticos	135
ANEXO H. Planos.....	140
ANEXO I. Carta de Autorización.....	146

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Accidentes de trabajo por parte del cuerpo lesionada – España 2018	12
Figura 1.2. Accidentes de trabajo en extremidades superiores – España 2018	12
Figura 1.3. Número de accidentes registrados – enero 2022	13
Figura 1.4. Porcentajes de accidentes Perú – enero 2022	14
Figura 1.5. Porcentajes de accidentes Perú – enero 2022	14
Figura 2.1. Representación del polietileno	30
Figura 2.2. Desarrollo del polietileno	30
Figura 2.3. Aplicaciones del policarbonato.....	31
Figura 2.4. Tipos de válvulas (1/2)	44
Figura 2.5. Tipos de válvulas (2/2)	45
Figura 2.6. Pilotos de válvulas	45
Figura 2.7. PLC	48
Figura 5.1. Medición de voltaje de operación.....	60
Figura 5.2. Medición de amperaje de operación	61
Figura 5.3. Temperatura de falla – Ensayo 1	63
Figura 5.4. Temperatura de falla – Ensayo 2	64
Figura 5.5. Temperatura de falla – Ensayo 3	64
Figura 5.6. Pruebas de quemado.....	64
Figura 5.7. Prueba de doblado N°1	66
Figura 5.8. Perfil resultante de la prueba N° 1	66
Figura 5.9. Prueba de doblado N° 2.....	67
Figura 5.10. Perfil resultante de la prueba N° 2	67
Figura 5.11. Prueba de doblado N° 3.....	67
Figura 5.12. Perfil resultante de la prueba N° 3	67
Figura 5.13. Prueba de doblado N° 4.....	68
Figura 5.14. Perfil resultante de la prueba N° 4	68
Figura 5.15. Prueba de doblado N° 5.....	68
Figura 5.16. Perfil resultante de la prueba N° 5	69
Figura 5.17. Tiempos de calentamiento para láminas de policarbonato	71

Figura 5.18. Estructura base de la dobladora	74
Figura 5.19. Numeración de elementos de la estructura base	74
Figura 5.20. Placa dobladora	75
Figura 5.21. Datos AutoCAD	75
Figura 5.22. Ubicación de las fuerzas actuantes sobre las placas	76
Figura 5.23. Diagrama de Cuerpo Libre – Viga 1 y 2 por peso propio	77
Figura 5.24. Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flector – Viga 1 y 2 por peso propio	78
Figura 5.25. Simulación de Viga 1-2 por peso propio	79
Figura 5.26. Diagrama de Cuerpo Libre – Viga 3 por peso propio	80
Figura 5.27. Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flector – Viga 3 por peso propio	81
Figura 5.28. Simulación de la Viga 3 por peso propio	82
Figura 5.29. Diagrama de Cuerpo Libre – Viga 4 por peso propio	82
Figura 5.30. Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flector – Viga 4 por peso propio	83
Figura 5.31. Simulación Viga 4 por peso propio	84
Figura 5.32. Diagrama de Cuerpo Libre – Viga 5 por peso propio	85
Figura 5.33. Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flector – Viga 5 por peso propio	86
Figura 5.34. Simulación de la viga 5 por peso propio	87
Figura 5.35. Diagrama de Cuerpo Libre – Columna 1	87
Figura 5.36. Simulación de la columna 1 por peso propio	89
Figura 5.37. Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flector – Viga 1 y 2 con carga	90
Figura 5.38. Simulación de la Viga 1-2 bajo carga	91
Figura 5.39. Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flector – Viga 3 con carga	92
Figura 5.40. Simulación de la viga 3 bajo carga	93
Figura 5.41. Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flector – Viga 4 con carga	94
Figura 5.42. Simulación de Viga 4 bajo carga	95

Figura 5.43. Distribución de fuerzas en placa posición vertical.....	96
Figura 5.44. Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flector – Viga 5 con carga	97
Figura 5.45. Simulación de Viga 5 bajo carga.....	98
Figura 5.46. Diagrama de Cuerpo Libre – Columna 1 con carga	99
Figura 5.47. Simulación de Columna 1 bajo carga.....	100
Figura 5.48. Tope de flexión – vista lateral	102
Figura 5.49. Tope de flexión – vista isométrica	102
Figura 5.50. Diseño final de la termoformadora	109

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Histórico de accidentes en manos y dedos – España 2013-2018	13
Tabla 2.1. Propiedades del Policarbonato (1/2)	32
Tabla 2.2. Propiedades del Policarbonato (2/2)	33
Tabla 2.3. Propiedades del Metil Metacrilato (1/2)	34
Tabla 2.4. Propiedades del Metil Metacrilato (2/2)	35
Tabla 2.5. Propiedades del PET (1/2)	36
Tabla 2.6. Propiedades del PET (2/2)	37
Tabla 2.7. Propiedades del PETG (1/2)	37
Tabla 2.8. Propiedades del PETG (2/2)	38
Tabla 3.1. Operacionalización de Variable.....	51
Tabla 5.1. Comparativo de propiedades de materiales (1/2)	55
Tabla 5.2. Comparativo de propiedades de materiales (2/2)	56
Tabla 5.3. Comparativo de accesibilidad – Espesor 08 mm	57
Tabla 5.4. Comparativo de accesibilidad – Espesor 10 mm	57
Tabla 5.5. Pruebas de tiempo de estabilidad operativa de resistencia	63
Tabla 5.6. Tiempos requeridos para las muestras	66
Tabla 5.7. Secuencia del equipo de termoformado.....	101
Tabla 5.8. Simbologías de riesgo, recomendaciones y prohibiciones (1/2)	103
Tabla 5.9. Simbologías de riesgo, recomendaciones y prohibiciones (2/2)	104
Tabla 5.10. Rangos de Longitud	105
Tabla 5.11. Listado de materiales	107
Tabla 5.12. Costos de materiales.....	108
Tabla 5.13. Costos de mano de obra	109
Tabla 5.14. Compilado de costos.....	109
Tabla 10.1. Matriz de consistencia.....	125

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal el diseñar un equipo de termoformado bidimensional para la fabricación de guardas de seguridad de policarbonato para la industria metalmecánica, debido a que este material provee una protección ante los peligros presentes en la maquinaria industrial gracias a su alta resistencia al impacto y a su transparencia, siendo esta una investigación de tipo tecnológico de nivel aplicado, debido a que no modificó los componentes utilizados en los procesos de termoformado, sino se adecuaron al proceso bidimensional, se utilizaron las fichas técnicas del policarbonato para determinar las condiciones necesarias para que se pueda efectuar el proceso, también se realizaron pruebas para comprobar las mismas y si la resistencia era capaz de generar el suficiente calor para llevar el policarbonato hasta su temperatura de moldeo, se diseñó y simuló la estructura, se seleccionó un actuador neumático existente en el mercado, se parametrizó la alimentación neumática y la secuencia para que debería seguir el proceso. Obteniéndose el diseño de y características de un equipo de termoformado para fabricar guardas de policarbonato de hasta 1 metro de longitud con una temperatura de resistencias de 115°C, y un tiempo de proceso de 4 minutos 27 segundos, con 02 actuadores de 150 mm de carrera, 40 mm de diámetro de émbolo y 6 bares de presión de operación, estructura de acero inoxidable AISI 304 de 1650 x 450 x 900 mm, alimentación neumática de 4.78 l/min, 6 bares de presión y PLC 6ED1052-1MD00-0BA7 Siemens, sus respectivos módulos analógico y digitales; y sensores de temperatura tipo K. El cuál es capaz de generar el calor suficiente para llevar al policarbonato a la temperatura de moldeo, sin dañarlo y generar el doblez.

Palabras clave: Termoformado, bidimensional, policarbonato, guardas, metalmecánica.

ABSTRACT

The main objective of this research was to design a two-dimensional thermoforming equipment for the manufacture of polycarbonate safety guards for the metalworking industry, because this material provides protection against the dangers present in industrial machinery thanks to its high resistance to corrosion. impact and its transparency, this being an applied-level technological research, due to the fact that the components used in the thermoforming processes were not modified, but were adapted to the two-dimensional process, the polycarbonate technical sheets were used to determine the necessary conditions for the process to be carried out, tests were also carried out to verify the same and if the resistance was capable of generating enough heat to bring the polycarbonate up to its molding temperature, the structure was designed and simulated, an existing pneumatic actuator on the market was selected, the pneumatic supply and the sequence for which the process should follow were parameterized. Obtaining the design and characteristics of a thermoforming equipment to manufacture polycarbonate guards up to 1 meter in length with a resistance temperature of 115°C, and a process time of 4 minutes 27 seconds, with 02 actuators of 150 mm stroke, 40 mm piston diameter and 6 bars of operating pressure, AISI 304 stainless steel structure of 1650 x 450 x 900 mm, pneumatic supply of 4.78 l/min, 6 bar pressure and PLC 6ED1052-1MD00-0BA7 Siemens, their respective analog and digital modules; and K-type temperature sensors. Which is capable of generating enough heat to bring the polycarbonate to molding temperature, without damaging it and generating bending.

Keywords: Thermoforming, two-dimensional, polycarbonate, guards, metalworking.

INTRODUCCIÓN

Una parte no grata del trabajo con equipos industriales son los accidentes, acontecimientos no deseados que generan daños a los trabajadores, a la máquina en si misma o a las instalaciones; ante esta situación, como parte de la jerarquía de controles encontramos los controles de ingeniería, aquellos que se encargan de modificar los equipos para minimizar las consecuencias de algún accidente.

En ese aspecto, la mayor parte de los equipos cuentan con guardas que si bien protegen al trabajador ante un accidente, también dificultan tanto su proceso productivo como sus trabajos de inspección, por lo que optan por retirarlas para trabajar más fácilmente, dejándolos nuevamente expuestos al peligro.

El policarbonato, un material descubierto en el siglo pasado es una alternativa útil ante esta situación, porque gracias a sus características de dureza y a su transparencia, podría cumplir esta función, pero existe una carencia que equipos que sirvan para conformar este material en las formas deseadas.

Existe un método que sirve para conformar planchas de material polimérico en las formas que uno quiere, el termoconformado, que como su nombre lo indica utiliza la adición de calor para llevar al material a un estado de deformación suficiente para conformarlo.

Si bien es el proceso más estudiado, para la fabricación de guardas de seguridad no es muy eficiente, ya que este proceso requiere de un molde para obtener la forma deseada, y de una cantidad de material mayor para fabricarlo, por lo que se elevan los costos de fabricación mediante este método.

Por lo que esta investigación busca diseñar un equipo que siga los fundamentos del termoformado y aplicarlo en zonas específicas del material base, para que, una vez alcanzado la temperatura de deformado, mecánicamente se obtenga el ángulo requerido.

En la sección I observaremos el planteamiento del problema que consiste en la descripción de la realidad problemática, la formulación de los problemas de investigación, determinar los objetivos de investigación, la justificación y las delimitaciones con las que cuenta para realizar la misma.

En la sección II tendremos el marco teórico, en el que se presentarán los antecedentes de esta investigación tanto nacionales como internacionales, las bases teóricas, el marco conceptual y la definición de términos básicos.

En la sección III tendremos la formulación de las hipótesis de la investigación, la determinación de las variables de investigación y su operacionalización, indicadores con los cuales veremos el cumplimiento de los objetivos.

En la sección IV veremos el marco metodológico, que incluye la determinación del tipo y nivel de investigación, el método que seguiremos para obtener nuestros resultados, población y muestra, lugar de estudio, las técnicas para la recolección de datos, los métodos de análisis, procesamiento de los datos obtenidos, cálculos de diseño y los aspectos éticos de la investigación.

En la sección V veremos los resultados del diseño.

En la sección VI veremos la discusión de los resultados obtenidos de los cálculos realizados en la sección IV, con las hipótesis y los antecedentes de la investigación.

En la sección VII veremos las conclusiones de la investigación y en la sección VIII las recomendaciones para futuras investigaciones.

En la sección IX presentaremos la bibliografía consultada según la norma ISO 690, siguiendo los lineamientos de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía.

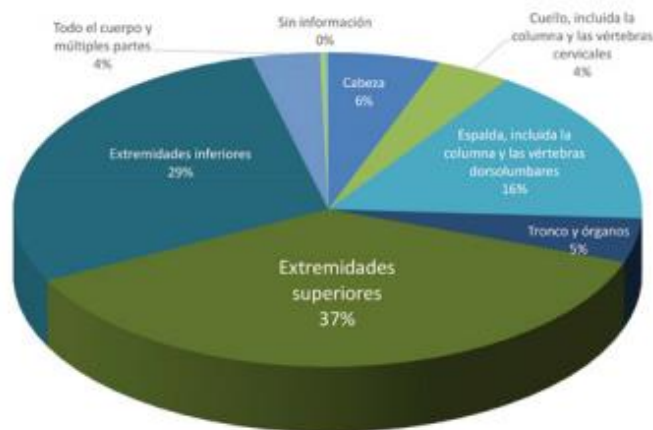
Finalmente, en la sección X presentaremos los anexos del proyecto de investigación, como la matriz de consistencia y los instrumentos con los cuales se recolectarán datos para el desarrollo de la misma.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

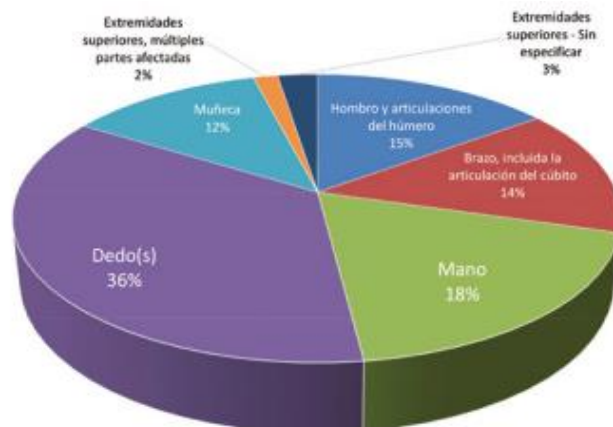
En el contexto mundial Cebrián (2020,pp.53) indica que en España en el 2018 se registraron un total de 532 977 accidentes de trabajo siendo un 37% ocurridos en las extremidades superiores, seguidos por los ocurridos en las extremidades inferiores con un 29% como podemos observar en la figura 1.1. De los accidentes ocurridos en las extremidades superiores, el 54 % ocurre en dedos y manos según podemos observar la figura 1.2. Indica que en entre los años 2008-2013 se observó una disminución de los casos de accidentes, pero desde los años 2013-2018 se observó un incremento de estos sucesos.

Figura 1.1. Accidentes de trabajo por parte del cuerpo lesionada – España 2018



Fuente: José Luis Cebrián (2020, p.53).

Figura 1.2. Accidentes de trabajo en extremidades superiores – España 2018



Fuente: José Luis Cebrián (2020, p.53).

Tabla 1.1. Histórico de accidentes en manos y dedos – España 2013-2018

	2018	2017	2016	2015	2014	2013
Total AT CB en jornada	532977	515082	489065	458023	424625	404284
AT CB en mano y dedos	106964	101030	93127	86466	79305	77275
% AT CB en mano y dedos	20.07	19.61	19.04	18.88	18.68	19.11

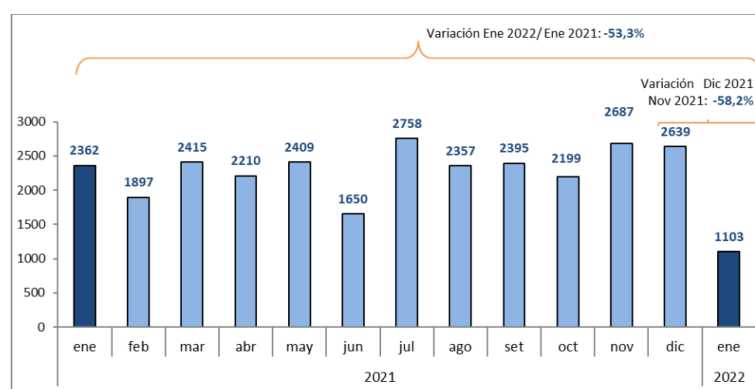
Fuente: José Luis Cebrián (2020, p.53).

Nota: Datos obtenidos del Ministerio de Trabajo – España.

En el contexto latinoamericano Becerra (2022) en su artículo indicaba que la suma total de gastos producidos por accidentes laborales ascendía a los 2 billones de pesos colombianos, cifra que solo incluye la cantidad de ingresos perdidos por trabajador según indicaba la presidenta del Consejo Colombiano de Seguridad Adriana Solano Luque. Indicó que los sectores con mayor tasa de accidentabilidad son la agricultura, ganadería, caza y silvicultura con un 13.75 por cada 100 trabajadores y seguido por la minería con un 12.59, industrias manufactureras con 7.7.

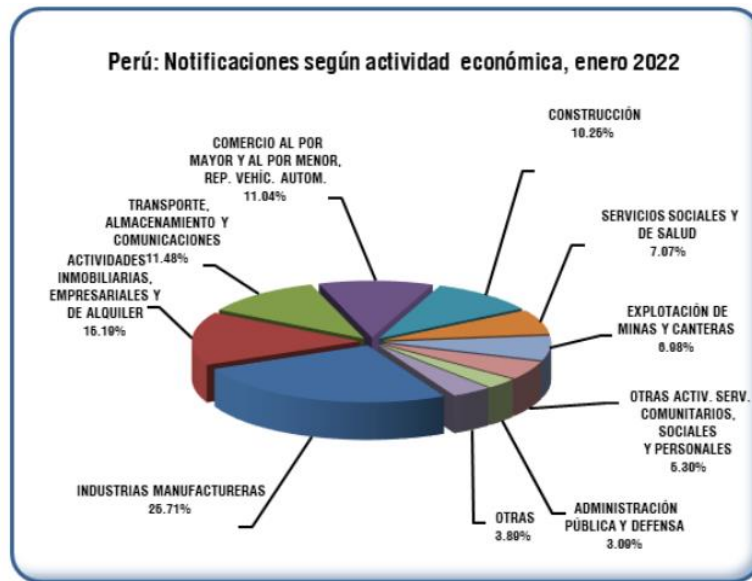
En nuestro país se tienen las estadísticas del Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo tan solo en enero del 2022 se han reportado 1103 accidentes de trabajo, de los cuales el 6.08 % (68 de los casos) se han producido por atrapamiento de miembros en las máquinas, además de que un 13.33 % (147 de los casos) se produce por golpes por objetos, que podrían ser resultado de la expulsión de partículas, piezas o partículas de las máquinas industriales. Tal como podemos observar en la figura 1.3.

Figura 1.3. Número de accidentes registrados – enero 2022



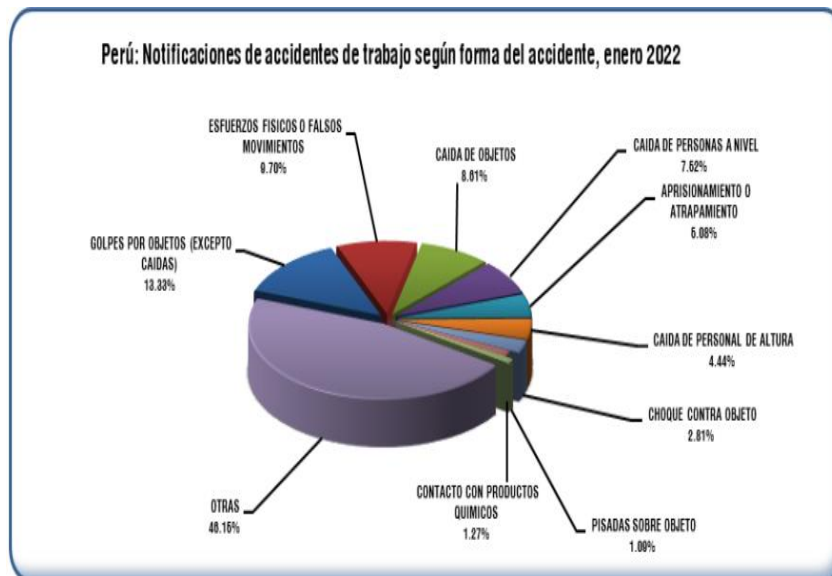
Fuente: Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo (2022).

Figura 1.4. Porcentajes de accidentes Perú – enero 2022



Fuente: Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo (2022).

Figura 1.5. Porcentajes de accidentes Perú – enero 2022



Fuente: Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo (2022).

Ante esta situación, una primera alternativa es el uso de guardas de acero al carbono o acero inoxidable (dependiendo del rubro de la industria), pero estas guardas dificultan o imposibilitan observar los procesos de los equipos, siendo en casos retiradas. Por ello, se opta por el policarbonato como materia prima

para estas guardas, ya que posee tanto dureza como características de transparencia.

El policarbonato al ser un material polimérico termoplástico, uno de sus procesos de modificación es el termoformado, proceso en el cual se calienta un material hasta su punto de deformación, sin llegar a su temperatura de degradación, y mediante mecanismos de inyección de presión de aire, vacío, accionamiento mecánico o gravedad, darle la forma que uno desea.

Pero las investigaciones realizadas por Forero, Santana y Leonardo (2018), Ventura y Cotacallapa (2017), O López y Lozano (2021) nos presentan diseños de máquinas o procesos de termoformado por vacío, el cual, ante la necesidad de un molde para fabricar un producto, elevaría su costo, Albán y Jiménez (2019) presentaron un equipo de termoformado para la fabricación de vajilla utilizando hojas de achira, mientras que investigaciones realizadas por Cadena y Salazar (2021), Porras (2018) o Triveño (2020), nos presentan el uso de la teoría de termoconformado para obtener otros productos de material polimérico, existiendo un desarrollo de la teoría de cómo manejar estos materiales, pero no el desarrollo de un proceso más efectivo. También se han realizado estudios sobre equipos de termoformados como es el caso de la investigación de Chavarry y Mendoza (2021) y de mejora de un equipo por Arbeláez Toro et al. (2019).

Por lo tanto, se investigó la adecuación del proceso de termoformado para no afectar toda la plancha, sino focalizarla en un área específica la cual será deformada.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Cómo se diseña una termoformadora bidimensional para fabricar guardas de policarbonato de hasta 1 metro de largo?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las condiciones a las que debe estar sometido el policarbonato para que se realice el proceso de termoformado y no pierda sus propiedades?

- ¿Qué tiempo se requiere para lograr el proceso de termoformado sin perder propiedades?
- ¿Qué sistemas y componentes son necesarios para el proceso de termoformado bidimensional de policarbonato?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Diseñar una termoformadora bidimensional para fabricar guardas de policarbonato de 1 metro de largo.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar las condiciones a las que debe estar sometido el policarbonato para que se realice el termoformado sin perder sus propiedades.
- Determinar el tiempo requerido para el proceso de termoformado sin perder sus propiedades.
- Determinar los sistemas y componentes necesarios para el proceso de termoformado bidimensional de policarbonato.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación social

La presente investigación busca masificar el uso del policarbonato en la industria, lo que permitirá colocar una barrera física que alejará a los trabajadores del peligro de las piezas móviles de las máquinas que en muchos casos han generado accidentes, con el añadido de que el policarbonato al ser transparente, permite la inspección visual de los equipos, lo que facilita el trabajo de prevención ante fallas de la máquina.

1.4.2. Justificación teórica

La presente investigación contribuye a la ampliación de la teoría de termoformado, principalmente en la caracterización de las resistencias calefactoras, utilizando las fórmulas de transferencia de calor expuestas por Cengel y Ghajar (2011).

1.4.3. Justificación metodológica

La investigación contribuye con un método para la selección de resistencias calefactoras, de manera que estas cumplan con las condiciones a las que el material debe ser sometido para generar el proceso deseado.

1.5. Delimitantes de la investigación

1.5.1. Teórica

Para la presente investigación no se encontraron antecedentes con la misma temática ya que, la gran mayoría están referidas a termoformadoras tridimensionales de molde positivo o negativo.

1.5.2. Temporal

La investigación se ciñe al cronograma de la tesis, por lo que se cuenta con tiempos determinados, restringiendo los tiempos de análisis de sistemas.

1.5.3. Espacial

La investigación se ciñe a componentes y materiales que se encuentren y sean comerciales en Perú, restringiendo el uso de algunos materiales o componentes.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes: Internacional y nacional

2.1.1. Antecedentes internacionales

Para Cadena y Salazar (2021) en su tesis “Diseño y construcción de una máquina de termoformado con compresión para la fabricación de cubrebocas, controlado mediante un sistema neumático, para la micro empresa tejidos Martínez” realizaron estudios para determinar el comportamiento del polipropileno y el poliéster frente a cargas térmicas y mecánicas, ya que estos 02 materiales son la materia prima utilizada en la fabricación de mascarillas, se realizaron los cálculos para el diseño de los sistemas (calentamiento, control y formado) y la construcción de un equipo de termoformado, basándose en las teorías de transferencia de calor, mecánica de materiales, electroneumática y matricería.

El objetivo de esta investigación fue el de diseñar una máquina para el conformado de mascarillas mediante termoformado, para lo cual, recopilamos información de los procesos de termoformado, caracterizamos la mascarilla a fabricar y calculamos los sistemas del equipo.

Primero determinamos los requisitos que el equipo debe poseer, como la seguridad, facilidad de operatividad, económica y tamaño, luego se procedió a ponderar todos los sistemas requeridos por el equipo: formado, calentamiento y control de la temperatura; para luego proceder a los cálculos de diseño, como el cálculo de resistencias y tiempo en los moldes hembra y macho, cálculo del sistema neumático y diseño de la estructura de apoyo y finalmente el diseño del sistema de control.

Las conclusiones obtenidas por este trabajo fueron: i) El equipo cuenta con moldes de fundición de aluminio, y resistencias de 450 Watts y 200 Watts de potencia, ii) El equipo requiere de 28 min para llegar a la temperatura de operación, 145 °C, y tiene una capacidad de fabricación de 2 mascarillas cada 28 segundos.

De esta investigación nos guiaremos para realizar los cálculos térmicos, los cálculos neumáticos y diseño de la estructura.

Para López y Lozano (2021) en su tesis “Diseño de una máquina termoformadora multifuncional didáctica para el laboratorio de procesos en la Fundación Universidad de América” realizaron su investigación para dotar a los estudiantes de la Fundación Universidad de América con un equipo de termoformado para que estudien este proceso y aumenten sus conocimientos con este tipo de procesos.

Los autores definieron como objetivo el diseño de una máquina de termoformado multifuncional didáctica mediante el establecimiento de parámetros básicos de funcionamiento, diseño de componentes y redacción del instructivo de funcionamiento.

Los autores determinaron los requerimientos del equipo, tales como que sea compacta, garantice la seguridad del operario, que incluya los procesos de termoformado por vacío, presión y mecánico, que se puedan evidenciar los procesos, diseño económico, luego determinaron los principios que utilizaría el equipo para el calentamiento de la materia prima y finalmente el cálculo de los sistemas que lo componen.

Llegándose así a la generación de los planos necesarios para la construcción de un equipo de termoformado por vacío, presión y mecánico.

De esta tesis, se utilizará los procesos de estudio de las estructuras, y parte de las secciones del marco teórico.

Para Arbeláez Toro et al. (2019) en su artículo “Intervención tecnológica para la reconversión y automatización de una máquina termoformadora por vacío de una sola estación” nos indicaban que el proceso de termoformado es aquel en el cual se calienta una lámina de polímero termoplástico hasta su temperatura de ablandamiento, y luego por medio de vacío, presión de aire, accionamiento mecánico o gravedad, adquiere otra forma, y comentaban que la industria manufacturera, implementaban máquinas de termoformado de vanguardia para un proceso de termoformado continuo.

El objetivo del artículo es el de mostrar los procesos mediante el cual se automatizó un equipo de termoformado por vacío, de una sola estación y de operación manual.

Para lograr estos objetivos, primero describieron a detalle los problemas que acarrea este equipo, luego describir los sistemas que componen el sistema tales como: i) Sistema mecánico, ii) Sistema neumático y de vacío, iii) Sistema térmico, iv) Sistema térmico y de control. Luego se procedió a reconvertir sistema por sistema, cambiándoles componentes, o llegando a rediseñar por completo todo el sistema, para finalmente realizar pruebas de control y calidad. Lográndose así una automatización exitosa del equipo intervenido, entre las mejoras implementadas encontramos un riel de desplazamiento de las resistencias calefactoras, adecuación de cilindros neumáticos, el cambio de resistencias eléctricas y centralización de los circuitos de potencia y control.

De este artículo utilizaremos el material de la resistencia a utilizar, también como base para definir los pasos del proceso para conseguir el termoformado.

Según Albán y Jiménez (2019) en su tesis “Construcción de un prototipo de termoformador matricial para la elaboración de vajilla desechable biodegradable en base a hojas de Achira. (*Canna Indica L*)” observaron la gran cantidad de residuos inorgánicos generados por la población que no se reutiliza debido a la inexistencia de equipos termoformadores de material biodegradable que puedan suplir el uso de plásticos (que representan parte de estos contaminantes).

Se determinó como objetivo general el diseño de un prototipo de termoformador para vajilla a base de hojas de achira, mediante la caracterización del molde de la vajilla y el diseño de los sistemas del equipo.

Los autores realizaron los cálculos, construcción del prototipo y fabricación de muestras de vajilla para someterlas a pruebas con diferentes productos para evaluar el comportamiento de la vajilla y definir si la vajilla es apta para su uso.

Luego de las pruebas se llegaron a las siguientes conclusiones: i) El equipo utiliza una resistencia calefactora de 120 °C, a 110 voltios y 8 amperios, ii) Se requiere de 110 °C, 5 minutos de presión de 39 cm para generar la vajilla de hojas de achira.

De esta investigación usaremos sus lineamientos para el cálculo de resistencias calefactoras y los tiempos del proceso.

Para Forero, Santana y Leonardo (2018) en su tesis “Diseño de máquina termoformadora didáctica para el laboratorio de materiales de ingeniería de la

Universidad Distrital Francisco José de Caldas” indicaban que el descubrimiento de los materiales poliméricos, representaron un cambio en la historia de la industria, comercio y la vida doméstica, en este sentido, uno de los procesos más usados para trabajar estos materiales es el termoconformado o termoformado, que consiste en el calentamiento de una placa de semielaborado termoplástico para luego darle forma en un molde mediante presión positiva o negativa, y siendo menester de la Universidad Francisco José de Caldas de suministrar ambientes aptos para aprendizaje tales como los laboratorios, los cuales no poseen equipos suficientes para enseñar al alumnado los nuevos procesos de fabricación. Por lo tanto, el diseño de una termoformadora funcional y didáctica ayudará a los docentes en el proceso de enseñanza.

El objetivo general de la investigación fue el diseño de una máquina termoformadora didáctica para el laboratorio de materiales de ingeniería, mediante la consulta de documentación, cálculos de diseño y redacción de manuales.

Para cumplir con los objetivos de la investigación, se recopiló información referente a los procesos de termoformado, tipos de moldes y materiales adecuados para el proceso, que se expusieron en el marco teórico, luego se realizó el parametrizado del equipo, y ponderación de cada sistema, para elegir el más óptimo y funcional para el equipo, y una vez elegido la mejor alternativa, se procedió a calcular mediante las fórmulas de elementos de máquinas y teorías respectivas, los distintos sistemas de la máquina como por ejemplo el sistema de calentamiento, la estructura, sistema neumático.

Finalmente, los autores consiguieron diseñar un equipo de termoformado, recopilando la información sobre los procesos de termoformado, el cálculo de los sistemas que lo componen y la redacción del manual de usuario.

De esta investigación usaremos de guía el cálculo de resistencias y el cálculo de estructuras elemento por elemento.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Para Chavarry y Mendoza (2021) en su tesis “Análisis estructural y térmico de una máquina termoformadora de botas de caucho de uso industrial para mejorar su rendimiento y disminuir su costo de operación” observaron la falta de

condiciones necesarias para garantizar la calidad de los productos termoformados y la seguridad del personal de operación, ya que si bien las empresas grandes que poseen este tipo de tecnologías buscan siempre la mejora continua, es la pequeña empresa la que no cuenta con sistemas eficientes, siendo sus principales deficiencias el tiempo y energía que requiere el vulcanizado, las altas temperaturas, procedimiento manual y elevado peso de los actuadores neumáticos.

Para la investigación los autores definieron el siguiente objetivo principal el análisis estructural y térmico del equipo para mejorar el rendimiento y disminuir sus costos operativos mediante los siguientes objetivos específicos: recolección de datos de operación, realizar el análisis estructural y térmico y proponer alternativas de solución.

Para la recolección de información se realizó mediante entrevistas y fichas de observación en la cual se tomaron las temperaturas de las resistencias del equipo en estudio y se procedió a realizar los estudios térmicos y estructurales, para luego proceder a realizar la propuesta de mejoras.

Finalmente, los autores llegaron a las siguientes conclusiones: i) Las temperaturas de operación de los moldes son de 158.2 a 171.4 °C, ii) Los factores de seguridad se encuentran dentro de los parámetros requeridos para el tipo de proceso. Y realizaron las siguientes recomendaciones para optimizar el equipo: i) Realizar los cambios por elementos estructurales de ASTM A36, ii) Implementación de aislantes térmicos, iii) Implementar un soporte en la base para evitar las vibraciones en la estructura.

De esta investigación se utilizarán los cálculos térmicos y estructurales, como referencia para los tiempos de calentamiento y selección de materiales y perfiles para la estructura.

Según Cayo (2021) en su tesis "Análisis de la regulación nacional e internacional de Bisfenol A en plásticos de uso alimentario y su implicancia en la salud pública peruana" se propuso estudiar los riesgos a la salud del uso del Bisfenol A, debido a que en varios países, incluido Perú, han prohibido la comercialización de biberones de policarbonato por su impacto a la salud.

La autora definió el siguiente objetivo: Analizar de la regulación nacional e internacional del Bisfenol A en plásticos de uso alimentario, mediante la comparación de las regulaciones nacionales e internacionales de Bisfenol A y evaluar la seguridad del Bisfenol A.

Se realizó una recopilación documental sobre las investigaciones realizadas sobre el uso del Bisfenol A y sus derivados (policarbonato) en la industria alimentaria, principalmente en los biberones y vasos de entreno para infantes, y realizó una comparación entre las normativas internacionales y nacionales respecto a la regulación del uso del, y análisis de riesgos del bisfenol A.

Llegándose a las siguientes conclusiones: i) La exposición del bisfenol A en alimentos presenta un riesgo potencial al no ser considera una sustancia segura, ii) A la fecha de la investigación no se encuentran aprobadas las regulaciones nacionales en el uso de este compuesto en productos de contacto directo con alimentos dirigidos a la población lactante e infantil.

De esta investigación se utilizarán sus estudios para las restricciones en el uso del equipo diseñado.

Para Triveño Luque (2020) en su tesis “Diseño de una máquina extrusora de plástico para fabricación de pallets para la empresa envasadora Majes E.I.R.L.” indicó que la envasadora Majes E.I.R.L. en su proceso productivo utiliza envases reciclables, lo que generaba un impacto ambiental positivo, se veía minimizado por la generación de mermas durante el proceso de producción de estos envases, otro problema que se evidenció fueron los inconvenientes que presentaban los pallets de madera, que si bien eran mucho más económicos que los de plástico y metal, requerían de un mantenimiento más continuo para seguir operando y presentaban un riesgo de contaminación cruzada, por lo que se buscó diseñar un equipo que pueda utilizar esa merma para la producción de pallets de plástico.

El autor propuso como objetivo principal el diseñar una máquina extrusora de plástico capaz de producir pallets de plástico reciclado, mediante el diseño mecánico de los componentes y selección de materiales, accesorios y equipos. Para realizar los cálculos se tuvo en cuenta que la materia prima a utilizar estaba compuesta por 70% de PET virgen y 30% de PET reciclado, ya que este último

al reciclarse pierde parte de sus propiedades; se realizaron los cálculos correspondientes al diseño de un tornillo sin fin al que el autor denominó “husillo”, también se diseñó el eje del equipo; para el análisis de esfuerzos se utilizó el software ANSYS 2020 RS mediante la técnica de elementos finitos, se calcularon los parámetros del motorreductor y de la transmisión por engranajes y el cálculo térmico de las resistencias calefactoras para lograr la fusión del plástico y el tipo que se utilizarían, resistencias, y finalmente se realizó el estudio económico del equipo.

Obteniéndose las siguientes conclusiones: i) El diseño del equipo es viable, capaz de fabricar las piezas necesarias para armar pallets de plástico, sustentado en cálculo de elementos de máquinas, iv) El diseño de los pallets presentaron un problema, y era que requería de clavos para el armado de los pallets, siendo su principal debilidad, v) Se seleccionaron los elementos y materiales necesarios para la máquina, como por ejemplo sistema de transmisión de engranajes por el tamaño de la misma, o rodamientos axiales de rodillos.

Esta investigación usaremos el procedimiento para determinar si un material o estructura es apto para el diseño, después de la simulación en el software.

Según Porras (2018) en su tesis “Diseño de una máquina recicladora orientada a la producción de filamentos de plástico ABS para la impresión 3d en la PUCP” indica que como parte de la revolución de la fabricación digital, las impresiones 3d han incursionado en muchos ámbitos, desde la fabricación de comida en el espacio, hasta diseños de trajes de moda, en esta línea la PUCP posee distintos espacios académicos donde se trabaja con este tipo de tecnologías, en los cuales los primeros modelos o prototipos son dejados de lado una vez que se termina con su impresión, convirtiéndose de un modelo funcional en un agente contaminante y también en pérdida de capital, pues no se recupera, por lo que se propone un método para reutilizar ese material para generar la materia prima que se utiliza en estos procesos.

Siendo su objetivo el diseño mecánico de una máquina que pueda procesar el modelo de plástico, desde su triturado, derretido, extruido en forma de filamento para su uso en la impresión 3d y control electrónico de los sistemas.

Para el diseño de este equipo, el autor procedió a describir y calcular las subestaciones o sistemas que lo componen, y debido a la cantidad de elementos sometidos a esfuerzos, utilizó el software Autodesk Inventor 2017 para realizar el análisis de esfuerzos utilizando la técnica de elementos finitos, las estaciones que describió y calculó fueron estación de trituración compuesta de discos con 2 dientes para poder triturar el modelo, también describió la estación de extrusión cuyo elemento principal fue un tornillo sin fin al que denominó husillo de extrusión, la subestación de enrollado compuesto y el sistema de control que controlaba las velocidades de los motores de los sistemas y también las resistencias del sistema de extrusión.

Obteniéndose finalmente los siguientes resultados y observaciones, se consigue diseñar un equipo que posee la capacidad para el reciclado de plástico a través de una resistencia de tipo enrollable, y mediante las distintas bocas de extrusión se conseguiría filamentos de 1.75, 2.85 y 3.00 mm de diámetro, a una capacidad de 5 Kg de ABS por hora, siendo la extrusora de diseño modular, permitiendo el ensamble por separado, siendo sus observaciones el costo de los motorreductores DC y del servicio de corte láser (método seleccionado por el autor).

De esta investigación usaremos los métodos para analizar la estructura y sus componentes, y los límites que no deberán ser sobrepasados para considerar que el material sea apto.

Según Ventura y Cotacallapa (2017) en su tesis “Estudio del proceso de termoformado de láminas de PVC” expresan que el proceso de termoformado es un proceso de transformación del plástico en el que se calienta una plancha del material y que toma la forma del molde sobre el que se coloca, siendo sus ventajas el uso de pocas herramientas, costo bajo de ingeniería y menor tiempo; siendo los espesores de termoformado desde 0.2 mm hasta los 6 mm a más.

La investigación tuvo como objetivo general el de estudiar el proceso de termoformado de láminas de PVC mediante: i) Determinar las variables a controlar en el proceso de termoformado, ii) Determinar las condiciones óptimas para la obtención de buenas piezas termoformadas y iii) Establecer las limitaciones del proceso de termoformado.

Para cumplir estos objetivos primero se analizó los equipos y sistemas existentes, principalmente el sistema de calentamiento y control de este, reemplazándose el sistema de control de las resistencias eléctricas a fin de conseguir más rápido la temperatura de calentamiento necesaria, también se procedió a revisar los conductores del equipo ya que presentaban problemas durante la operación de la termoformadora, se propuso un sistema de rieles para las resistencias eléctricas a fin de retirarlas del área de influencia debido a que no permitían la operación, para después definir la secuencia de termoformado; luego se procedió a realizar pruebas experimentales con el fin de medir el tiempo, la potencia, la temperatura y las observaciones del PVC y revisar las tendencias del mismo.

Llegándose así a las siguientes conclusiones: i) El parámetro principal a controlar es la temperatura, la cual se consigue mediante un adecuado control de las resistencias eléctricas (Potencia), Si no se llega a controlar este parámetro ocurrirán problemas de pliegues y rupturas.

Esta investigación presenta las fallas que se presentan en láminas de PVC, que, si bien no son la materia prima de esta tesis, orienta sobre los parámetros que se deben cuidar para tener no dañar el material y tener un buen acabado.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Equipo de termoformado

Es todo aquel equipo mediante el cual un material polímero adquiere una forma diferente a las que se pueden conseguir mediante el corte y rectificado de las piezas.

Para Fermin Capella (1996) el equipo o maquinaria de termoformado consta de las siguientes partes:

- Fuente calefactora.
- Estación de conformado.
- Sistema neumático (vacío y/o presión de aire).
- Mecanismos de estirado y transporte de lámina.
- Sistema eléctrico o electrónico de automatismos.
- Accesorios adicionales (manejo, ajuste y recorte).

Para Cadena y Salazar (2021, p. 35) “El termoformado cuenta con 3 etapas principales: calentamiento, formado y extracción”.

Según Cadena y Salazar (2021) la etapa de calentamiento es variable dependiendo del material a utilizar, ya que es necesario evitar las temperaturas donde el material se funde y pierde propiedades, ya que solo es necesario que ceda ante las placas de moldeo, las principales técnicas de calentamiento son la conducción, convección y radiación, la etapa de formado, dependiendo si es un proceso tridimensional o bidimensional, será requerido un molde o un sistema de topes para realizar el proceso, finalmente, en la etapa de extracción, principalmente en los procesos tridimensionales se debe realizar el diseño del proceso, de tal manera que el producto final sea de fácil extracción, en el caso del moldeo bidimensional, se busca que la pieza no quede atrapada en el sistema de topes.

2.2.2. Parámetros del proceso de termoformado

En el proceso de termoformado influyen diferentes parámetros o características, las cuales tienen influencia directa en el proceso y en los productos.

Para Espinoza Correa (2015) en su estudio sobre el termoformado de envases (termoformado tridimensional) determina que las variables que se involucran en el proceso de termoformado son:

- i) La temperatura que debe alcanzar la lámina.
- ii) Tiempo de cierre de precalentamiento.
- iii) Presión de cierre de precalentamiento.
- iv) Superficie de contacto.
- v) Acabado superficial.
- vi) Geometría del envase.
- vii) Geometría de punzón.
- viii) Velocidad y longitud de desplazamiento de punzón.
- ix) Refrigeración del molde.

Paralelamente Taco Cahuana (2015) en su investigación sobre como optimizar los procesos de termoformado, indica que los parámetros a tener en cuenta en el proceso de termoformado son los siguientes:

- i) Temperatura de conformado.

- ii) Tiempo de calentamiento.
- iii) Tiempo de enfriamiento.
- iv) Presión o vacío.

Tanto la investigación de Espinoza Correa (2015) como de Taco Cahuana (2015), se basan en los procesos de termoformado tridimensionales o de fabricación de productos mediante moldes, pero para nuestro caso, que se orienta al termoformado bidimensional, no se tomarían en cuenta los parámetros o variables que tengan relación directa con el molde, por lo tanto, los parámetros principales para el proceso de termoformado bidimensional vendrían siendo:

- i) Temperatura del proceso.
- ii) Tiempo de calentado.

2.2.3. Técnicas de termoformado

Según el manual técnico de termoformado de Plastiglas de México (2009) indican que el termoformado es uno de los métodos para transformar planchas de polímeros en otros productos con otras formas, y se pueden conseguir mediante técnicas bidimensionales o tridimensionales.

- **Termoformado bidimensional**

En esta técnica podemos encontrar al doblado por calentamiento lineal y el formado en frío.

- **Doblado por calentamiento lineal:** Proceso que se consigue mediante el calentamiento de la plancha a través de una resistencia calefactora y su posterior conformado según el ángulo que se desee formar.
- **Formado en frío:** Proceso en el cual se utiliza un marco curvo para dar la forma al polímero, cuyo radio debe ser como mínimo 180 veces el espesor del material.

- **Termoformado tridimensional**

En este tipo de procesos, se requiere de un equipo de vacío, aire a presión, equipos mecánicos o una combinación de los anteriores para conseguir que las placas obtengan la forma deseada, estos métodos son:

- **Formado libre o por gravedad.**
- **Formado mecánico con molde hembra y macho.**

- Formado libre a presión o vacío de aire.
- Formado a vacío y presión – molde hembra.
- Formado a presión con ayuda de pistón molde hembra.
- Formado a vacío con retorno y molde macho.
- Formado a presión con ayuda de molde hembra y vacío.

2.2.4. Guarda de seguridad

Según el INSHT [Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo] (2000), institución española, en su norma NTP 552, norma orientada a la protección de máquinas, se refieren a que una guarda o resguardo es “un medio de protección que impide o dificulta el acceso de las personas o de sus miembros al punto o zona de peligro de una máquina” (p.1), definición con la cual se concibe una guarda como todo aquella barrera que impida el acceso a un peligro o en su defecto mitigue las consecuencias de una falla de máquina con potencial de causar accidentes.

El INSHT (2000) clasifica los resguardos en 3 tipos:

- Fijos: Son aquellos que se mantienen en su posición sea a través de soldadura o de fijación por medios de tornillos, requiere de herramientas para poder ser retiradas.
- Móviles: Aquellas que son articuladas o guiadas, no requieren de herramientas para ser retiradas y para su correcto funcionamiento requieren de un dispositivo de enclavamiento.
- Regulables: Aquellas que incorporan partes regulables en su diseño, pueden ser de ajuste manual o automático.

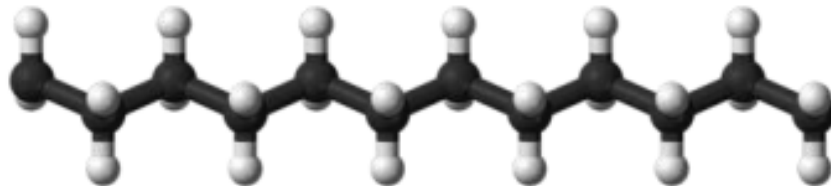
El INSHT (2000) también menciona los requisitos generales que debe cumplir un resguardo, los cuales son:

- Ser de fabricación sólida y resistente.
- No ser fuente de peligros suplementarios.
- No ser de fácil puesta fuera de funcionamiento.
- Estar situados a la distancia necesaria del peligro.
- No limitar más de lo imprescindible la observación del ciclo de trabajo.
- Permitir intervenciones indispensables.
- Retener la mayor cantidad de proyecciones.

2.2.5. Polímeros

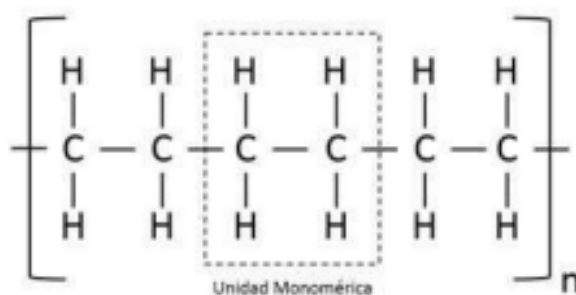
Se define a los polímeros como cadenas grandes de unidades repetitivas simples llamadas monómeros, siendo estos de origen naturales como el caucho o la celulosa, o de origen sintético, como el nylon o polietileno.

Figura 2.1. Representación del polietileno



Fuente: López, Mendizábal y Ortega (2017, p. 2).

Figura 2.2. Desarrollo del polietileno



Fuente: López, Mendizábal y Ortega (2017, p. 2).

Según López, Mendizábal y Ortega (2017) en la actualidad los polímeros resaltan por su capacidad de transformarse en herramientas hechas a la medida para satisfacer requerimientos específicos como por ejemplo el policloruro de vinilo (PVC) utilizado en gran cantidad en plomería, los polietilenos y polipropilenos en la industria de fabricación de envases y contenedores, los elastómeros o hules en las llantas, mangueras, cojinetes.

Definiendo así a los polímeros a aquellos materiales que poseen una facilidad para ser conformados para las diferentes necesidades de la industria y de la vida doméstica, siendo este mismo uno de sus puntos en contra, pues su uso masificado y la falta de gestión de estos cuando se desechan genera un impacto ambiental negativo, debido a que se degradan muy lentamente.

2.2.6. Policarbonato

El policarbonato es un polímero termoplástico transparente, cuyas características principales es su peso reducido, ductilidad, alta dureza y gran resistencia al impacto, siendo utilizado en la producción de discos compactos, lentes de seguridad y blindaje para lunas de automóviles (Elgegren et al., 2012). Descrito en el año 1898 por Alfred Eirnhorn como producto de las condensaciones de los difenoles con fosfógeno que denominó como policarbonato, y que debido a la pureza del mismo y a su bajo peso molecular fue dejado de lado durante casi 50 años, hasta que, en la década del 50, tanto Herman Shell para la firma Bayer, como Daniel Fox para General Electric, redescubrieron este material en 1953 y 1955 respectivamente. Siendo le inicio de su producción en masa en 1956 por Bayer y 1973 por General Electric (De Arco Bacca, Ramírez Lasso y Serrano Díaz, 2009).

Entre los usos que se le da al policarbonato según De Arco, Ramírez y Serrano (2009) encontramos:

- Electrotécnica: Regletas, porta válvulas, carcasas de ordenadores, CD's.
- Óptica: Partes de microscopio, carcasas de prismáticos, cámaras fotográficas, proyectores de diapositivas, colectores de luz.
- Maquinaria: Componentes de regulación neumática, mirillas, entre otros.
- Electrodomésticos: Filtros de cafeteras, carcasas de máquinas (máquina de afeitar, aspiradora, impresoras, etc.).
- Diversos: Tapas de protección, viseras, cascos de motorista, gafas de protección, escudos de protección para policías, acristalamiento de seguridad anti astilla.

Figura 2.3. Aplicaciones del policarbonato



Fuente: PLÁSTICOS DE INGENIERÍA S.A.C. (sin fecha).

Los tipos de policarbonato que podemos encontrar en el mercado son los siguientes:

- Policarbonato alveolar:

Este tipo de planchas de policarbonato está conformado por láminas paralelas deparadas por un conjunto de cámaras o alveolos, que determinan su espesor según la cantidad de alveolos. Debido a su estructura en malla, posee un peso muy ligero y por eso es útil para techos (INTERWALL S.A.C. - A, sin fecha).

- Policarbonato sólido:

A comparación del policarbonato alveolar, este no posee láminas paralelas o alveolos, sino que se compone de una pieza única de policarbonato, posee una consistencia visual similar al vidrio o los cristales templados, siendo una de sus principales características su resistencia, llegando a ser hasta 250 veces la del vidrio, siendo ideales para zonas que requieren alta resistencia al impacto. (INTERWALL S.A.C. - B, sin fecha).

Algunas de las propiedades del policarbonato son las siguientes:

Tabla 2.1. Propiedades del Policarbonato (1/2)

Propiedades de Policarbonato			
Característica Técnica	Método	Unidad	Valor
Generales			
Densidad	ISO 1183	g/cm ³	1.2
Dureza Rockwell	D-78	Escala M	-
Ópticas			
Transmisión lumínica	DIN 5036	%	86
Índice de refracción	T3	n ^D ₂₀	1.585
Mecánicas			
Módulo de flexión	ISO 489	MPa	-
Resistencia a la flexión	ISO 178	MPa	> 95
Módulo de tracción	ISO 527	MPa	2200
Resistencia a la tracción	ISO 527	MPa	60
Alargamiento	ISO 527	%	80
Térmicas			
Temperatura Vicat (VST/A 50)	ISO 306	°C	145

Fuente: Arteplástica - A (sin fecha).

Tabla 2.2. Propiedades del Policarbonato (2/2)

Propiedades de Policarbonato			
Característica Técnica	Método	Unidad	Valor
Térmicas			
Temperatura de deformación térmica (A/N)	ISO R75	°C	135
Capacidad térmica específica	-	J/g*K	1.17
Coeficiente de dilatación térmica lineal	DIN 53328	K ⁻¹ x 10 ⁻⁵	6.5
Conductividad térmica	DIN 52612	W/m*K	0.2
Temperatura de degradación		°C	> 280
Temperatura máxima de uso – uso continuo		°C	115
Temperatura máxima de uso – uso durante periodo corto		°C	130
Temperatura de moldeo		°C	180 – 210
Resistencia de impacto			
Izod (con entalla)	ISO 180	KJ/m ²	-
Charpy (con entalla)	ISO 179	KJ/m ²	10
Charpy (sin entalla)	ISO 179	KJ/m ²	NB
Eléctricas			
Constante dieléctrica (50 HZ)	DIN 53483	-	3.0
Resistividad volumétrica	DIN 53482	Ω*cm	10 ¹⁵
Resistividad superficial	DIN 53482	Ω	> 10 ¹⁵
Resistividad dieléctrica	DIN 53481	kV/mm	> 30
Factor de disipación	DIN 53483	-	8 x 10 ⁻⁴

Fuente: Arteplástica - A (sin fecha).

Nota: Datos obtenidos de la ficha técnica de Policarbonato de Arte Plástica.

2.2.7. PMMA

El PMMA o Polimetilmetacrilato es uno de los miembros más importante de la familia de los poliacrílicos y ésteres metacrílicos, posee un conjunto de buenas propiedades entre los que destacan su claridad óptica, alto esfuerzo, buena estabilidad dimensional, alta resistencia a la fotodegradación oxidativa, duro, rígido pero quebradizo, con alta resistencia hidrolítica ante los medios ácidos y alcalinos (Romo, 2008).

López, Carrión y Espejo (2014) nos resume las características principales del PMMA:

- Posee una transparencia de 93%, logrando así ser el más transparente de los plásticos.
- Buen aislante eléctrico a bajas frecuencias.
- De 10 a 20 veces más resistentes al impacto que el vidrio.
- Baja densidad, 1.18 g/cm^3 , aproximadamente la mitad del vidrio.
- Facilidad de mecanizado y moldeo.

Entre las aplicaciones del PMMA encontramos:

- Señalización.
- Luminarias.
- Cúpulas acristaladas para helicópteros.
- Colectores solares.
- Baños y lavabos.

Entre las propiedades del acrílico tenemos:

Tabla 2.3. Propiedades del Metil Metacrilato (1/2)

Propiedades del PMMA			
Característica Técnica	Método	Unidad	Valor
Generales			
Densidad	ISO 1183	g/cm^3	1.19
Dureza Rockwell	ISO 2039-2	Escala M	105
Ópticas			
Transmisión lumínica	ISO 13468-1	%	93
Índice de refracción	ISO 489	$N_{D_{20}}^D$	1.492
Mecánicas			
Módulo de flexión	ISO 178	MPa	3000
Resistencia a la flexión	ISO 178	MPa	125
Módulo de tracción	ISO 527	MPa	3300
Resistencia a la tracción	ISO 527	MPa	75
Alargamiento	ISO 527	%	6

Fuente: Arteplástica - B (sin fecha).

Tabla 2.4. Propiedades del Metil Metacrilato (2/2)

Propiedades del PMMA			
Característica Técnica	Método	Unidad	Valor
Térmicas			
Temperatura Vicat (VST/A 50)	ISO 306	°C	115
Temperatura de flexión bajo carga (A)	ISO 75	°C	105
Capacidad térmica específica	ISO 3146-C-60°C	J/g*K	2.16
Coeficiente de dilatación térmica lineal	ISO 11359-2	K ⁻¹ *10 ⁻⁵	7
Conductividad térmica	DIN 52612	W/m*K	0.19
Temperatura de degradación		°C	> 280
Temperatura máxima de uso continuo		°C	80
Temperatura máxima de uso durante periodo corto		°C	90
Temperatura de moldeo		°C	160 – 190
Resistencia al impacto			
Izod (con entalla)	ISO 180	KJ/m ²	-
Charpy (Con entalla)	ISO 179	KJ/m ²	2
Charpy (sin entalla)	ISO 179	KJ/m ²	18
Eléctricas			
Constante dieléctrica 50 Hz	DIN 53483	-	3.6
Resistividad volumétrica	DIN 53482	Ω*cm	> 10 ¹⁵
Resistividad superficial	DIN 53482	Ω	> 10 ¹⁴
Rigidez dieléctrica	DIN 53481	kV/mm	30
Factor de disipación 50 Hz	DIN 53483	-	0.06

Fuente: Arteplástica - B (sin fecha).

Nota: Datos obtenidos de la ficha técnica de PMMA de Arte Plástica.

2.2.8. PET

El Polietileno Tereftalato o PET fue descubierto por los científicos británicos R. Whinfield y J. Dickson en el año 1941, resultado de la combinación de Ácido Tereftálico y Etilenglicol, patentado como polímero para la elaboración de fibras que puedan sustituir al algodón, siendo utilizado para la industria de los envases a partir de 1976, en un inicio en envases gruesos y en la actualidad en envases de menor espesor (Hachi y Rodríguez, 2010).

Para Paz (2016) menciona las principales características del PET a:

- Alta resistencia.
- Transparencia.

- Poca afectación por ácidos y gases atmosféricos.
- Temperatura de fusión de 244-254 °C.
- Baja absorción de agua.
- Reciclable.
- Liviano: densidad de 1.34 – 1.39 g/cm³.

Indica también que entre los usos del PET podemos encontrar:

- Envases y empaques.
- Fibras.
- Industria mecánica.
- Industria eléctrica y electrónica.

Entre las propiedades del PET encontramos:

Tabla 2.5. Propiedades del PET (1/2)

Propiedades del PET			
Característica Técnica	Método	Unidad	Valor
Físicas			
Densidad	ISO 1183	g/cm ³	1.34
Ópticas			
Transmisión de luz	ASTM D-1003	%	89
Refracción	ASTM D-542		1.576
Mecánicas			
Resistencia a la tracción hasta deformación	ISO 527	MPa	59
Resistencia a tracción hasta rotura	ISO 527	MPa	No rompe
Alargamiento hasta rotura	ISO 527	%	No rompe
Mecánicas			
Módulo de elasticidad en tracción	ISO 527	MPa	2420
Resistencia a la flexión	ISO 178	MPa	86
Resistencia al impacto Charpy con entalla	ISO 179	KJ/m ²	No aplicable
Resistencia al impacto Charpy	ISO 179	KJ/m ²	No rompe
Dureza Rockwell, escala M/R			No aplicable/111
Dureza a la presión de la bola	ISO 2039	MPa	117

Fuente: Arteplástica - C (sin fecha).

Tabla 2.6. Propiedades del PET (2/2)

Propiedades del PET			
Característica Técnica	Método	Unidad	Valor
Térmicas			
Temperatura máxima en continuo		°C	60
Temperatura de reblandecimiento VICAT (10N)	ISO 306	°C	79
Temperatura de reblandecimiento VICAT (50N)	ISO 306	°C	75
Temperatura reblandecimiento HDTA (1.8 MPa)		°C	69
Temperatura reblandecimiento HDTA B (0.45 MPa)	ISO 75-2	°C	73
Coeficiente de expansión lineal	ISO 75-2	X 10 ⁸ °C	< 6

Fuente: Arteplástica - C (sin fecha).

Nota: Datos obtenidos de la ficha técnica del PET de Arte Plástica.

2.2.9. PETG

El PETG es el resultante de la copolimerización del PET, resultante de agregar ciclohexano dimetanol (CHDM) en vez del etilenglicol, con lo cual se consigue un bloque de átomos más largo, con lo que se consigue reducir la cristalización cuando se le aplica fuerzas sobre el material, mejor traslucidez y una menor temperatura de fusión menor (Filament2print, 2019).

Entre las aplicaciones que se les dan a las placas de PETG encontramos:

- Marquesinas para paradas de autobús.
- Protecciones de maquinaria.
- Embalajes de aparatos médicos.
- Cascos de seguridad para bicicleta.

Las propiedades del PETG son:

Tabla 2.7. Propiedades del PETG (1/2)

Propiedades del PETG			
Característica Técnica	Método	Unidad	Valor
General			
Densidad	D 1505	g/cm ³	1.27
Dureza Rockwell	D-785	Escala R	105

Fuente: Arteplástica - D (sin fecha).

Tabla 2.8. Propiedades del PETG (2/2)

Propiedades del PETG			
Característica Técnica	Método	Unidad	Valor
Ópticas			
Transmisión de luz	5036	%	88
Índice de refracción	53491		1.57
Turbidez	D1003	%	< 1
Mecánicas			
Módulo de flexión	53452	MPa	2075
Resistencia a la flexión	53452	MPa	70
Módulo de tracción	53455	MPa	2200
Resistencia a la tracción	53455	MPa	50
Elongación	53455	%	54
Térmicas			
Temperatura Vicat (B)	5346	°C	82
Temperatura de flexión bajo carga (A/B)	53461	°C	72/68
Calor Específico	D-2766	J/g*K	1.1
Coeficiente de expansión térmica lineal	53752	K ⁻¹ *10 ⁻⁵	6.8
Conductividad térmica	52612	W/m*K	0.20
Temperatura de degradación		°C	> 280
Temperatura máxima de servicio		°C	70
Rango de temperatura de moldeo de la placa		°C	120 – 160
Resistencia al impacto			
Izod (con entalla)	ISO 180	KJ/m ²	11.5
Charpy (con entalla)	53453	KJ/m ²	10
Charpy (con entalla)	53453	KJ/m ²	NB
Eléctricas			
Constante dieléctrica 100 Hz	IEC 250		2.6
Resistividad volumétrica	D 257	Ω*cm	> 10 ¹⁵
Resistividad superficial	D 257	Ω	> 10 ¹⁴
Rigidez dieléctrica	D 149	kV/mm	16
Factor de disipación (50 Hz)	IEC 250		0.01

Fuente: Arteplástica - D (sin fecha).

Nota; Datos obtenidos de la ficha técnica del PET de Arte Plástica.

2.2.10. Transferencia de calor

Cengel y Ghajar señalan que es la ciencia que estudia la razón por las cuales el calor se transmite, y que este calor es importante en los procesos debido a que

“es la forma de la energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia en la temperatura” (2011, p.2).

Para que esta transmisión de calor se dé, es necesario que existan 2 cuerpos y que estos posean una temperatura diferente, para que de esta manera el cuerpo con mayor temperatura ceda parte de su energía interna y se consiga un estado de equilibrio (Cengel y Ghajar, 2011).

Entre los tipos de transferencia de calor encontramos los siguientes:

- Transferencia por conducción:

Es la transferencia de energía entre 2 partículas adyacentes, una de las cuales posee mayor cantidad de energía interna, y otra una cantidad menor. Esta transferencia puede darse tanto en sólidos, líquidos y gases. En los sólidos se da a través de las vibraciones generadas por las moléculas y el paso de electrones libres de un cuerpo a otros, mientras que en los líquidos y gases se da por la colisión entre moléculas durante su movimiento (Cengel y Ghajar, 2011).

La rapidez de la transferencia depende en gran medida de la geometría de los cuerpos, el espesor de los mismos y los materiales de los que están hechos.

La transferencia de calor por conducción viene regida por la fórmula (2-1).

$$\dot{Q}_{conducción} = K * A * \frac{\Delta T}{\Delta X} = K * A * \frac{T_1 - T_2}{L} \dots \dots \dots (2 - 1)$$

Donde:

$$k = \text{Conductividad térmica} \left[\frac{W}{m * ^\circ C} \right]$$

$$A = \text{Área de transferencia} [m^2]$$

$$T_1 \text{ y } T_2 = \text{Temperaturas medidas al interior y exterior} [^\circ C]$$

$$L = \text{Espesor del área de transferencia de calor} [m]$$

Nota: Para la investigación no se recurrirá a esta fórmula.

- Transferencia por convección:

Se denomina convección a la transferencia de calor entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que se encuentra en movimiento. La transferencia de calor es proporcional a la velocidad del fluido, eso quiere decir que, a mayor rapidez del fluido mayor la transferencia de calor (Cengel y Ghajar, 2011).

Cengel y Ghajar realizaron la siguiente observación “En ausencia de cualquier movimiento masivo de fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente es por conducción pura” (2011, p.25).

Esto se debe a que la transferencia entre un cuerpo sólido y un fluido en movimiento se da de la siguiente manera; el cuerpo sólido transfiere su energía a la capa de fluido adyacente a él por medio de conducción, y acto seguido esta energía se transfiere al resto del fluido por acción del movimiento aleatorio de sus partículas.

Esta transferencia puede ser natural o forzada, dependiendo si el fluido adquiere su velocidad por medio de su propia energía interna o un medio mecánico respectivamente.

Si bien, existen muchos factores que influyen en este tipo de transferencia como, por ejemplo, la velocidad del fluido, la densidad, la naturaleza del fluido (laminar, de transferencia, turbulento), se observa que la rapidez de la transferencia de calor es proporcional a la diferencia de temperatura y puede ser expresada por la Ley de Newton del Enfriamiento, y podemos observarla en la fórmula (2-2).

$$\dot{Q}_{convección} = h * A_s * (T_s - T_{\infty}) \dots \dots \dots (2 - 2)$$

Donde:

$$h = \text{Coeficiente de Transf. Calor por Convección} \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

$$A_s = \text{Área superficial de Transferencia de calor} [m^2]$$

$$T_s = \text{Temperaturas de la Superficie} [^\circ C]$$

$$T_{\infty} = \text{Temperaturas del fluido} [^\circ C]$$

Nota: Para la investigación no se recurrirá a esta fórmula.

- Transferencia por radiación:

La transferencia de calor por radiación es aquella que se da a través de ondas electromagnéticas o fotones debido a los cambios que sufren las moléculas de un cuerpo. Se diferencia de la transferencia por conducción y convección en que esta no requiere de un medio interventor para generarla, pues puede llegar a ser tan rápida como la luz y no verse afectada por el vacío, un ejemplo de ello es la energía del sol que llega a la tierra (Cengel y Ghajar, 2011).

La transferencia por radiación puede considerarse un fenómeno volumétrico en casi todos los sólidos, líquidos y gases ya que, todos tienen la propiedad de emitir y absorber radiación, exceptuando los cuerpos opacos, como metales, maderas, rocas, porque la radiación generada en sus interiores no llega a salir de ellos y la absorbida llega a absorberse en solo unas pocas micras, por lo que en estos casos se considera como un fenómeno superficial.

La radiación máxima que se puede emitir, viene determinada por la ley de Stefan-Boltzmann, como veremos en la ecuación (2-3).

$$\dot{Q}_{emitida} = \varepsilon * \sigma * A_s * T_s^4 \dots \dots \dots (2 - 3)$$

Donde:

$$\varepsilon = \text{emisividad} \rightarrow 0 \leq \varepsilon \leq 1$$

$$\sigma = \text{Constante Stefan - Boltzman} = 5.67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4} = 0.1714 * 10^{-8} \frac{Btu}{h * ft^2 * R^4}$$

$$A_s = \text{Área superficial de Emisión de radiación [m}^2\text{]}$$

$$T_s = \text{Temperaturas de la Superficie [}^\circ\text{C]}$$

Nota: Para la investigación se recurrirá a esta fórmula.

2.2.11. Balance de energía para sistemas cerrados

Según Cengel y Ghajar (2011) se considera un sistema cerrado a aquellos que constan con una masa fija o en un sistema estacionario, aquellos que no comprenden cambios de velocidad durante el proceso. En estos casos la energía total viene siendo la energía interna del sistema, la cual puede definirse por la fórmula (2-4).

$$E_{Total} = U = m * C_v * \Delta T \dots \dots \dots (2 - 4)$$

Donde:

$$m = \text{masa del proceso [Kg]}$$

$$C_v = \text{Calor específico a volumen constante} \left[\frac{J}{kg * ^\circ C} \right]$$

$$\Delta T = \text{Diferencial de temperatura [}^\circ\text{C]}$$

Cuando uno de estos sistemas cerrados solo se ve afectado por el calor, sin la intervención de un trabajo externo, este balance se puede determinar mediante la fórmula (2-5).

$$Q = m * C_v * \Delta T \dots \dots \dots (2 - 5)$$

Donde:

$Q =$ Cantidad neta de la transferencia de calor de entrada o salida

Esta ecuación nos permite determinar la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de una determinada masa de material, siendo esta relación directamente proporcional, a mayor masa mayor calor requerido.

Nota: La ecuación que se utilizará en la investigación será la ecuación (2-5).

2.2.12. Transferencia de calor por radiación superficies negras

Siendo la transferencia por radiación aquella que se logra por la emisión ondas electromagnéticas, recordemos que durante el proceso de calentamiento ocurre que tanto la materia prima como el elemento calefactor generan una transferencia por radiación a medida que el proceso se va realizando, y esta relación viene dadas por las fórmulas (2-6) y (2-7). Las cuales son una variación de la fórmula (2-3) (Cengel y Ghajar, 2011).

$$\dot{Q}_{1 \rightarrow 2} = \left(\begin{array}{l} \text{Calor que sale} \\ \text{de toda la superficie 1} \\ \text{y choca contra la superficie 2} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{Calor que sale} \\ \text{de toda la superficie 2} \\ \text{y choca contra la superficie 1} \end{array} \right) \dots \dots \dots (2 - 6)$$

$$\dot{Q}_{1 \rightarrow 2} = A_1 F_{1 \rightarrow 2} \sigma (T_1^4 - T_2^4) \dots \dots \dots (2 - 7)$$

2.2.13. Resistencia Calefactora

Según Quispe y Saravia (2020) una resistencia calefactora es aquella resistencia que transforma un estímulo eléctrico y lo transforma en calor, dependiendo de cómo están compuestas, estas pueden clasificarse en:

- Metálicas.
- No metálicas.
- Resistencias de tubos radiantes.
- Resistencias blindadas.

El material más utilizado para la fabricación de este tipo de resistencia es un compuesto de Níquel-Cromo, y gracias a su gran maleabilidad se le puede encontrar en diversas formas dependiendo de la aplicación a la que se le vaya a dar, desde una resistencia helicoidal, hasta planchas calefactoras.

2.2.14. Efecto Joule

Descubierto por James Prescott Joule en 1841 indica que “El calor generado por un conductor es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad de la corriente que circula por él, por la resistencia y el tiempo que circula la corriente”. Como podemos observar en la fórmula (2-8), podemos obtener la energía disipada conociendo la resistencia, la intensidad de la corriente que pasa por el sistema y el tiempo.

$$E = P * t = V * I * T = (R * I) * I * t = R * I^2 * t \dots \dots \dots (2 - 8)$$

Bajo este principio se llega a una eficiencia de casi 100 %, pero en temas de calefacción de viviendas, ya que existen equipos como bombas de calor con una eficiencia mucho mayor.

2.2.15. Actuadores neumáticos

Según Soria Tello (2013) son dispositivos que convierten la energía neumática en movimiento lineal o angular, dependiendo de la finalidad con la que fueron diseñados.

Los actuadores neumáticos se distinguen de los actuadores eléctricos o hidráulicos por su sencillez y diseño compacto, pero en contraposición a estas ventajas, son menos eficientes que los anteriormente mencionados.

Dependiendo del tipo de movimiento que realizan, Soria (2013) clasifica a los actuadores en:

- Movimiento lineal: i) Cilindro de simple efecto, ii) Cilindro de doble efecto.
- Movimiento giratorio: i) Motor neumático.
- Movimiento oscilatorio: i) Actuador semigiratorio.

Según la UPIITA (2011), la fuerza ejercida por el actuador viene dado por la fórmula (2-9).

$$F_{teórica} = A * p \dots \dots \dots (2 - 9)$$

Donde:

$F_{teórica}$ = Fuerza teórica del actuador [N]

A = Área efectiva del actuador [m^2]

p = Presión de trabajo [Pa]

Pero considerando el rozamiento del vástago, se obtiene la fórmula (2-10).

$$F = F_{teórica} - F_{Rozamiento}$$

$$F = A * p - n * A' * p \dots \dots \dots (2 - 10)$$

Donde:

$$A = \text{Área del émbolo} = D^2 * \pi / 4$$

$$A' = \text{Área del émboloretroceso} = (D^2 - d^2) * \pi / 4$$

$n = \text{coeficiente de rozamiento}$

Y el consumo de aire viene dado por la fórmula (2-11).

$$\dot{V} = \left(\frac{S * D^2 * \pi}{4} + \frac{S * (D^2 - d^2) * \pi}{4} \right) * n * R \dots \dots \dots (2 - 11)$$

Donde:

$S = \text{Carrera del actuador [cm]}$

$D = \text{Diámetro del émbolo [cm]}$

$d = \text{Diámetro del vástago [cm]}$

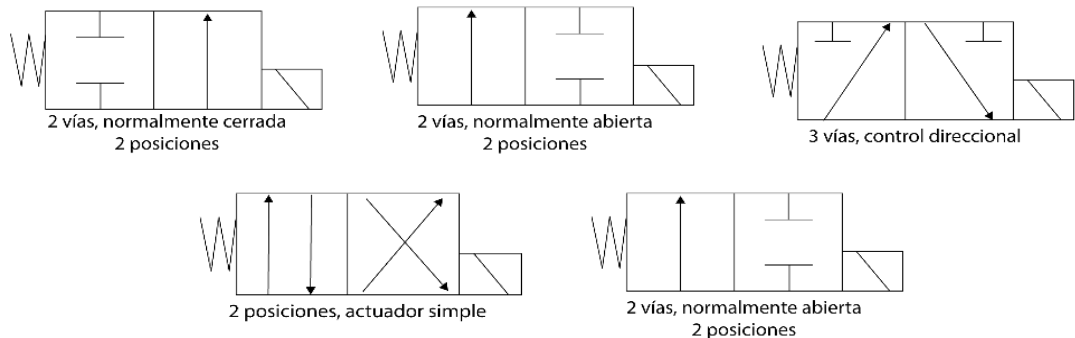
$n = \# \text{ de ciclos por minuto}$

$$R = \text{Relación de compresión} = \frac{101.3 + p}{101.3}$$

2.2.16. Válvulas direccionales

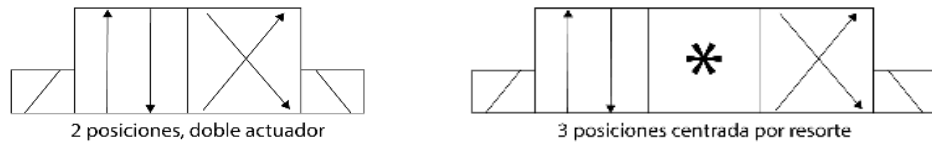
También llamadas válvulas distribuidoras, actúan principalmente en función a las señales obtenidas por un controlador, lo que determina su posición, estas se identifican por la cantidad de posiciones, vías y pilotos que poseen, entiéndanse posiciones como las cámaras que posee dicha válvula, vías como el número de direcciones por las que el aire pasa y pilotos, los encargados de seleccionar la posición determinada por la señal del controlador, este a su vez puede ser neumático, eléctrico, mecánico o de esfuerzo (Soria Tello, 2013).

Figura 2.4. Tipos de válvulas (1/2)



Fuente: Aceros y Sistemas Hidráulicos de México S.A. (2019).

Figura 2.5. Tipos de válvulas (2/2)



Fuente: Aceros y Sistemas Hidráulicos de México S.A. (2019).

Figura 2.6. Pilotos de válvulas

Símbolo	Descripción		
	Mando manual en general, pulsador.		Palpador, control mecánico en general.
	Botón pulsador, seta, control manual.		Rodillo palpador, control mecánico.
	Mando por palanca, control manual.		Rodillo escamoteable, accionamiento en un sentido, control mecánico.
	Mando por pedal, control manual.		Mando electromagnético con una bobina.
	Mando por llave, control manual.		Mando electromagnético con dos bobinas actuando de forma opuesta.
	Mando con bloqueo, control manual.		Control combinado por electroválvula y válvula de pilotaje.
	Muelle, control mecánico.		Mando por presión. Con válvula de pilotaje neumático.

Fuente: Bueno (2011).

2.2.17. Diseño de estructuras

El diseño de estructuras es el proceso de cálculos mediante el cual se busca que una estructura no falle debido a las cargas vivas y muertas a las que se encuentra sometida.

Para garantizar que no falle la estructura, esta debe ser analizada desde el punto del equilibrio, ya que se debe considerar estática que según Bedford y Fowler (2008, p.86) “Equilibrio significa un estado invariable, una estabilización”. Para conseguir que este estado de equilibrio es necesario que la estructura se mantenga en reposo o velocidad constante, para lo cual se requiere que la sumatoria de fuerzas en cada eje debe ser 0, según lo observamos en la fórmula (2-12).

$$\sum F = 0 \dots \dots \dots (2 - 12)$$

Otra condición de equilibrio es el equilibrio de los momentos generados por las fuerzas del sistema, el momento se define según la fórmula (2-13).

$$M = D * F \dots \dots \dots (2 - 13)$$

Donde:

$M =$ Momento de giro [N – m]

$D =$ Distancia al punto de análisis [m]

$F =$ Fuerza [N]

Estos momentos dependiendo del punto de análisis y la dirección de las fuerzas, estos pueden ser de sentido horario u antihorario, pero para mantener el equilibrio de la estructura la sumatoria de momentos deben ser iguales, según la fórmula (2-14).

$$\sum F_{horario} + \sum F_{antihorario} = 0 \dots \dots \dots (2 - 14)$$

Gere y Goodno (2009) determinan que para vigas los esfuerzos máximos en secciones transversales vienen determinados por la fórmula (2-15).

$$\sigma_1 = \frac{M * C_1}{I} \dots \dots \dots (2 - 15 A)$$

$$\sigma_2 = \frac{M * C_2}{I} \dots \dots \dots (2 - 15 B)$$

Donde:

$\sigma =$ Esfuerzo en sección transversal [Pa]

$M =$ Momento de giro [N – m]

$C_x =$ Distancia al eje neutro [m]

$I =$ Momento de inercia [m⁴]

Pero debido a que para la investigación se consideran secciones doblemente simétricas, por lo que el esfuerzo viene dado por la fórmula (2-16).

$$\sigma = \frac{M * C}{I} \dots \dots \dots (2 - 16)$$

Para el análisis de las columnas, Los autores Gere y Goodno (2009) tenemos que tener en cuenta la relación de esbeltez y la relación de esbeltez crítica, que observamos en las ecuaciones (2-17) y (2-18).

$$\text{Relación de Esbletez} = Re = \frac{L_e}{r} \dots \dots \dots (2 - 17)$$

$$\text{Relación de esbletez Crítica} = Cc = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * E}{\sigma}} \dots \dots \dots (2 - 18)$$

Donde:

$$L_e = \text{Lóngritud Efectiva} = K * L [m]$$

$$r = \text{radio de giro} = \sqrt{\frac{I}{A}} [m]$$

$$I = \text{Momento de inercia} [m^4]$$

$$A = \text{Sección Transversal} [m^2]$$

$$E = \text{Módulo de Young} [Pa]$$

Para la investigación, el factor K tendrá el valor 2, debido a que la columna se considera emporada en el piso (Gere y Goodno, 2009).

De la misma manera Gere y Goodno (2009) determinan que la carga crítica para columnas viene dada por la fórmula (2-19).

$$P_{Cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L_e^2} \dots \dots \dots (2 - 19)$$

Donde:

$$P_{Cr} = \text{Carga Crítica} [N]$$

$$E = \text{Módulo de Young} [Pa]$$

$$I = \text{Momento de inercia} [m^4]$$

$$L_e = \text{Lóngritud Efectiva} = K * L [m]$$

Y para poder comprobar si las deformaciones generadas se encuentran dentro de los límites permisibles, McCormac y Csernak (2012) indican que la deflexión máxima de vigas por efecto de las cargas vivas o impactos según la AASHTO 2010 no debe ser más de 1/800 del claro, siendo el claro de la viga la longitud entre las caras de los apoyos.

2.2.18. PLC

Llamado también autómatas programables, este equipo apareció en la década del 60, en Estados Unidos a raíz de la necesidad de la industria automotriz, con el fin de eliminar el sistema de relevadores, la aparición de estos equipos coincide con el de los microprocesadores. El PLC fue el pionero de las máquinas con lenguaje

y programación mediante un programador externo o una computadora. Llega a utilizar varios lenguajes, tales como: Ladder, operadores lógicos y programación por bloque. Entre sus principales ventajas está la del espacio ocupado por este, ya que reemplaza los enlazados de cable antiguos, debido a que las conexiones se encuentran programadas dentro de la máquina (Soria Tello, 2013).

Figura 2.7. PLC



Fuente: Fernández (2017).

2.3. Marco conceptual

- Equipo de termoformado

Para Capella (1996) estos equipos son el conjunto de sistemas y equipos con el cual se puede realizar satisfactoriamente el proceso de termoformado, entre los cuales incluye:

- La fuente de calentamiento, entre las que encontramos los alambres calefactores de Ni/Cr, resistencias de barras, calentadores de cuarzo, entre otros.
- La estación de conformado, conformado por el bastidor de la máquina y la mesa de conformado.
- Los sistemas neumáticos, pudiendo ser de presión o vacío, dependiendo del proceso de conformado.
- Los mecanismos de manipulación de las láminas de polímeros.
- Los sistemas eléctricos y de control.

Si bien estos sistemas mencionados, son aplicados al termoformado tridimensional, la investigación se centra en el estudio de las termoformadoras

bidimensionales, por lo que se adecuarán los sistemas al requerimiento del nuevo proceso.

- Fabricación de guarda de seguridad

La fabricación de guardas de seguridad se dará mediante el proceso de termoformado, el cual es descrito por Espinoza Correa (2015) como aquel proceso mediante el cual una lámina termoplástica es calentada hasta su temperatura de moldeo y que mediante medios mecánicos o neumáticos, toman la forma del molde requerido o en nuestro caso, doblado en determinadas dimensiones con respectivo ángulo, de este modo la lámina termoplástica adopta una nueva forma que satisfaga los requerimientos de la población.

Para la presente investigación el proceso será orientado a la fabricación de resguardos o guardas, que según la INSHT (2000) son “un medio de protección que impide o dificulta el acceso de las personas o de sus miembros al punto o zona de peligro de una máquina”, estas deben ser de un material sólido y resistente, no generar peligros adicionales, no ser burlados fácilmente, no obstaculizar la visión del proceso, limitar el acceso a lo mínimo indispensable y retener as proyecciones lo máximo que sea posible.

2.4. Definición de términos básicos

- Policarbonato: Material polímero termoplástico, con alta resistencia a los impactos, de color transparente en su formato de policarbonato macizo, que será materia prima para las guardas con las que se pretende fabricar con el diseño propuesto.
- Termoformadora bidimensional: Equipo que mediante un sistema calefactor generara las condiciones para realizar dobleces angulares.
- Resistencia Calefactora: Elemento equipo, con el cual se emitirá calor con el fin de que el policarbonato alcance su temperatura de deformación para poder moldearla.
- Actuador: Pistón que se encargará de suministrar una fuerza constante para generar el dobléz en el policarbonato previamente calentado.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

- Si se diseña una termoformadora bidimensional podremos fabricar guardas de policarbonato de 1 metro de largo.

3.1.2. Hipótesis específicas

- Si determinamos las condiciones a las que el policarbonato debe estar sometido realizaremos el termoformado sin perder sus propiedades.
- Si determinamos el tiempo necesario para el proceso realizaremos el termoformado sin perder propiedades.
- Si determinamos los sistemas y componentes necesarios realizaremos el proceso de termoformado bidimensional de policarbonato.

3.1.3. Operacionalización de variable

Tabla 3.1. Operacionalización de Variable

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador	Items	Metodología	Técnica
V.I.: Termoformadora Bidimensional	Según Fermín Capella (1996) los equipos de termoformados son aquellos que poseen una fuente de calentamiento, una estación de conformado, un sistema de vacío y presión de aire, un sistema eléctrico o electrónico y adicionales (manejo de lámina, ajuste y recorte).	Para realizar la medición de las dimensiones, se realizará una recopilación documental, comprobación en software AutoCAD y pruebas físicas.	Sistema de calentamiento	Resistencia Calefactora	Voltaje (V)	Diseño metodológico: - Enfoque Reduccionista - Tipo Básico - Nivel Descriptivo - Diseño Descriptivo simple	Técnicas: - Técnica documental - Técnica empírica Instrumentos de Recolección de Datos: - Multímetro - Amperímetro - Termómetro infrarrojo
					Amperaje (A)		
					Longitud (mm)		
			Sistema de Control	Tiempo de calentamiento	Tiempo (s)		
			Mecanismos de formado	Actuador Neumático	Fuerza (N)		
					Carrera (mm)		
V.D: Proceso de Fabricación de Guardas	Según Moisés Espinoza (2015) el proceso de termoformado es aquel en el que una plancha termoplástica es calentada para que por medios mecánicos o neumáticos adquiera una forma nueva. En nuestro caso se aplicará para generar dobleces específicos.	Para desarrollar esta variable se elaborará una guía de proceso, el cual incluirá las restricciones de diseño y el procedimiento de uso del equipo.	Procedimientos de operación	Restricciones de diseño	Listado de restricciones	Método de investigación: - Método sistémico	Instrumentos de Procesamiento de Datos - Microsoft Excel - Autodesk AutoCAD - Autodesk Inventor
				Procedimiento de uso de equipo	Pasos de operación		

IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

4.1. Diseño metodológico

Para la investigación se consideró un enfoque cuantitativo que debido a que (Hernández, Fernández y Baptista (2014) lo definen como un conjunto de procesos en la que las etapas desarrolladas siguen un orden riguroso, las cuales pueden redefinirse según sea el caso. Este enfoque se caracteriza por la recolección de datos a través de la medición, los cuales se representan en valores numéricos.

Se consideró la investigación de tipo tecnológica ya que según Espinoza (2014, p.90) “tiene como propósito aplicar el conocimiento científico para solucionar los diferentes problemas que beneficien a la sociedad”.

Se consideró a la investigación de nivel aplicado, puesto que según Espinoza (2014) este tipo de investigación tiene como propósito la aplicación de resultados de diversas investigaciones para el diseño de tecnologías para la solución de problemas, y la presente investigación entregó un diseño que solventa la falta de equipos de termoformado bidimensional.

Se consideró un diseño no experimental para la investigación, ya que Hernández, Fernández y Baptista (2014) la investigación que utiliza este diseño es la cual se realiza sin manipular las variables, que se puede traducir como aquella investigación en la cual se observan los fenómenos tal como se dan en su contexto natural.

4.2. Método de investigación

Para la investigación se optó por el método de diseño de ingeniería, que según Pahl et al. (2007) establece etapas tales como la definición de la tarea, el diseño conceptual, el diseño de materialización y el diseño de detalle, realizándose estas de manera secuencial y ordenada.

4.3. Población y muestra

Según Hayes (1999) el muestreo censal es aquel que “consiste en efectuar un muestreo de todos los casos posibles en nuestra población” (p.91) y debido al tipo de investigación, la población y la muestra es el mismo, el diseño del equipo de termoformado.

4.4. Lugar de estudio y periodo de desarrollo

Se considera el lugar de aplicación el distrito de San Martín de Porres, departamento de Lima, durante el año 2022.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

Para la investigación se recurrió a la técnica documental que Espinoza (2014) lo describe como la recolección de información de revistas, memorias, actas registros de instituciones o empresas que registran datos de funcionamiento para la demostración de las hipótesis de investigación, mediante el uso de fichas técnicas de equipos y materiales, las cuales son de acceso público.

También se recurrió a la técnica empírica mediante la observación que Espinoza (2014) la describe como la técnica para obtener y sistematizar información próxima al funcionamiento real del objeto de estudio. Para la investigación se realizaron pruebas de doblado con una resistencia calefactora y muestras de policarbonato para comprobar el método de calentamiento.

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos fueron los siguientes:

- Multímetro
 - Marca: UNI-T
 - Modelo: UT33B+
- Amperímetro
 - Marca: Klein Tools
 - Modelo: CL220
- Termómetro infrarrojo
 - Marca: Bosch
 - Modelo: GIS 500

Nota: Los certificados se encuentran en el Anexo B.

4.6. Análisis y procesamiento de datos.

Primero se realizó la recopilación de información inicial, se procedió a realizar un comparativo de propiedades y de facilidad de accesibilidad de los diferentes polímeros para corroborar que el policarbonato es la alternativa más cercana a los requerimientos de una guarda según al NTP 552.

Luego se procedió a realizar los cálculos sobre los sistemas de calentamiento, neumático y estructural. Para lo cual se realizaron pruebas sobre el policarbonato

con una resistencia calefactora, el sistema neumático, en específico los actuadores neumáticos, se procedió a seleccionar un actuador neumático existente en el mercado, luego se procedió a realizar los cálculos de la estructura y se simularon con el software Autodesk Inventor.

4.7. Aspectos éticos en Investigación

La investigación se respetó la propiedad intelectual de los autores consultados mediante las citas correspondientes en texto, imágenes y tablas, la alternativa propuesta para la fabricación de guardas de policarbonato no coacciona a investigadores o partes interesadas de utilizar este método, la misma que es de acceso público dejando la puerta abierta a futuras investigaciones, modificaciones y mejoras para conseguir el proceso de termoformado.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

5.1.1. Análisis de materia prima

Siguiendo con la norma NTP 552 que indicaba que la guarda no debe obstaculizar la visibilidad del proceso, se seleccionaron 04 polímeros los cuales serán comparados, y estos son:

- Metacrilato (PMMA).
- Tereftalato-Poliéster (PET).
- Copoliéster de Polietileno Tereftalato glicol (PETG).
- Policarbonato Sólido (PC).

Se realizó la corroboración mediante dos procesos comparativos, el primero tomando de base sus propiedades (físicas, térmicas y resistencia al impacto) y el segundo en materias de costo y facilidad de adquisición.

5.1.1.1. Proceso comparativo de propiedades

Para que el material de la guarda sea efectivo, este debe poseer una alta resistencia al impacto, una buena visibilidad, un rango de temperatura óptima para soportar las temperaturas que los procesos industriales pueden alcanzar y una temperatura de moldeo no tan elevada.

Se tomaron las propiedades de las fichas técnicas de la empresa española Arte Plástica, vistos en las secciones 2.2.6 al 2.2.9 y se agruparon en la tabla 5.1 y 5.2.

Tabla 5.1. Comparativo de propiedades de materiales (1/2)

	PMMA	PET	PETG	Policarbonato
Propiedades Generales				
Densidad	1.19 g/cm ³	1.34 g/cm ³	1.27 g/cm ³	1.2 g/cm ³
Transmisión de la luz	93 %	89 %	88 %	86 %
Resistencia al impacto				
Izod (Con entalla)	-	No ejecutado	11.5 KJ/m ²	No ejecutado
Charpy (Con entalla)	2 KJ/m ²	No aplicable	10 KJ/m ²	10 KJ/m ²
Charpy (Con entalla)	18 KJ/m ²	No rompe	No rompe	No rompe

Fuente: Datos obtenidos de las fichas técnicas de Arte Plástica.

Tabla 5.2. Comparativo de propiedades de materiales (2/2)

	PMMA	PET	PETG	Policarbonato
Propiedades Térmicas				
Temperatura Vicat	115 °C	79 °C	82 °C	145 °C
Temperatura máxima de uso continuo	80 °C	60 °C	70 °C	115 °C
Temperatura máxima de uso – periodo corto	90 °C	60 °C	70 °C	130 °C
Temperatura de degradación	> 280 °C	-	> 280 °C	> 280 °C
Temperatura de moldeo	160-190 °C	-	120-160 °C	180-210 °C

Fuente: Datos obtenidos de las fichas técnicas de Arte Plástica.

De la tabla de propiedades de los distintos materiales podemos concluir lo siguiente:

- El PMMA o acrílico, tiene la menor densidad de todos los materiales, lo que genera menor masa a calentar, posee una resistencia al impacto relativamente pequeña respecto a los demás materiales, una mejor visibilidad, una temperatura de trabajo continuo de 80 °C y una temperatura de moldeo de 160 a 190 °C.
- El PET es el material con mayor densidad, una buena visibilidad, pero no a nivel del PMMA, una resistencia considerable al impacto, pero una baja temperatura de trabajo máximo y una baja temperatura de moldeo.
- El PETG es ligeramente más ligero que el PET, un poco menos que el PET, tienes menos visibilidad, una buena resistencia al impacto charpy y una temperatura de trabajo máxima de uso de 70 °C.
- El policarbonato es el segundo material más ligero, es el que tiene la menor visibilidad, una buena resistencia al impacto charpy, una temperatura de uso máxima de 115 °C y una temperatura de moldeo de 180-210 °C.

Por lo que los materiales que pueden ser elegidos para las guardas son el PETG y el Policarbonato, los cuales pasaran al segundo proceso de comparativa.

5.1.1.2. Proceso comparativo de accesibilidad

Puesto que tanto el PETG y el policarbonato presentan propiedades similares, el factor determinante será la accesibilidad a estos materiales, para lo cual se solicitó 02 tipos de formatos:

- Formato 1: Plancha de 2 m x 3 m x 08 mm espesor.
- Formato 2: Plancha de 2 m x 3 m x 10 mm espesor.

Se solicitó a proveedores de estos materiales los formatos mencionados y se recopiló los siguientes resultados.

Para el formato 1 se tuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5.3. Comparativo de accesibilidad – Espesor 08 mm

	PETG	Policarbonato
Costo	No comercializa ese espesor	S/. 1450.00 - 2317.00
Accesibilidad	No comercializa ese espesor	Stock Disponible
Tiempo de Entrega	No comercializa ese espesor	Entrega inmediata

Para el formato 2 se tuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5.4. Comparativo de accesibilidad – Espesor 10 mm

	PETG	Policarbonato
Costo	No comercializa ese espesor	S/. 1860.00 – 2879.00
Accesibilidad	No comercializa ese espesor	Stock Disponible y entrega inmediata
Tiempo de Entrega	No comercializa ese espesor	Entrega inmediata

De estos resultados se determinó:

- Que el policarbonato, si bien posee un coste mediamente elevado, pero tiene una mejor facilidad para acceder a él, contrario al PETG, que no es comercial en Perú, ya que su uso está dirigido a la industria de la impresión 3d.

Por lo tanto, se corroboró el policarbonato como materia prima para las guardas y por ende se tomará como referencia para los parámetros del equipo de

termoformado, debido a sus óptimas propiedades y a su mejor facilidad para el acceso al material.

5.1.1.3. Propiedades para el termoformado óptimo

Después de haber corroborado al policarbonato como materia prima para las guardas, las propiedades específicas que determinarán un correcto proceso de termoformado serán las de temperatura, las cuales obtenemos de la tabla 2.1.

Temperatura de uso = 115 – 130 °C

Temperatura moldeo = 180 – 210 °C

Temperatura de degradación = 280 °C

Las condiciones que el equipo generará estarán limitadas por estas propiedades, debido a que si no se controlan dañaran el policarbonato generando o no el termoformado.

5.1.2. Generalidades del equipo

Los parámetros que definirán las características de la termoformadora serán los siguientes:

- Espesor de la plancha de policarbonato: 10 mm (Este espesor cumple con los ensayos de impacto de bola de acero pr EN356 y el ensayo de acristalamiento de balcón DIN 52337).
- Estructura de equipo: Acero inoxidable AISI 304 (Material que no requiere ningún recubrimiento de pintura por lo que no afectaría al material por su calentamiento).
- Carácter del equipo: Semi automático (El operario requerirá realizar ciertas partes del proceso manualmente).
- Alimentación: Eléctrica y neumática (esta última será generada por un compresor).

5.1.3. Componentes de la propuesta

Siguiendo con la definición dada por Fermín Capella (1996), los equipos de termoformado cuentan con un sistema de calentamiento, una estación de conformado que trabaja conjuntamente con un sistema de vacío y/o presión, un sistema eléctrico o electrónico de control y sistemas adicionales para el manejo de las placas y productos.

Si bien esta lista de sistemas es aplicable a termoformadoras tridimensionales, los sistemas de termoformado bidimensional son similares debido a que el principio de funcionamiento es el mismo, calentar una plancha de polímero hasta su temperatura de moldeo y darle una nueva forma.

Los sistemas que se requerirán en la termoformadora bidimensional serán los siguientes:

- Sistema de calentamiento:

Arbeláez Toro et al. (2019), Forero et al. (2018), Cadena y Salazar (2021), Triveño (2020) y, Albán y Jiménez (2019) en sus respectivas investigaciones sobre equipos de termoformado, seleccionan las resistencias calefactoras como medio de calentamiento del material, también el manual de Plastiglas de México (2009) y el de PLASKOLITE (sin fecha) hacen mención que para el termoformado se utilizan un alambre de resistencia calefactora de níquel-cromo. Por lo tanto, para el sistema de calentamiento se consideró resistencias calefactoras, debido a que es recomendado tanto por investigadores como por proveedores de policarbonato.

- Estación de conformado con sistema neumático:

Según Arbeláez Toro et al. (2019) y Cadena y Salazar (2021) la estación de conformado trabajaba conjuntamente con pistones neumáticos de doble efecto, mientras que Forero et. al (2018) utilizó un sistema de vacío, Porras (2018) y Triveño (2020) no utilizaron actuadores mecánicos ya que sus diseños utilizaban la extrusión para generar sus productos.

Por lo tanto, para el diseño se utilizará un actuador neumático de doble efecto, el cual fue seleccionado del catálogo del proveedor.

- Sistema eléctrico o electrónico de control:

Según la investigación de Arbeláez Toro et al. (2019), el controlador del proceso es un PLC debido a su múltiple funcionalidad y capacidad de trabajar con la alimentación trifásica que poseía el lugar de aplicación, en las investigaciones de Forero et. al (2018) y Cadena y Salazar (2021) utilizar microcontroladores debido a que sus equipos eran didácticos y orientados al uso manual respectivamente.

Por lo tanto, el controlador que se utilizó para la termoformadora fue un PLC, el cual será el encargado de controlar los tiempos del proceso y ejecutarlos en el

orden necesario, de manera que el operario no tenga que intervenir durante el proceso productivo.

Resumiendo, el diseño constará de las siguientes consideraciones:

- Material de la estructura: Acero Inoxidable AISI 304.
- Elemento calefactor: Resistencia tubular.
- Controlador: PLC.
- Mecanismo de formado: Actuador neumático de doble efecto.

5.1.4. Cálculos térmicos

Como parte de la investigación se realizaron pruebas sobre una resistencia calefactora para verificar que si era capaz de generar el termoformado sin dañar el policarbonato. La resistencia presentaba las siguientes características nominales:

- Resistencia de tipo cartucho.
- Diámetro de resistencia: 15 mm.
- Potencia nominal: 2000 W.

Se procedió a realizar las mediciones sobre la resistencia para obtener la potencia real de la resistencia, para esta operación se utilizó el multímetro y el amperímetro mencionados en la sección 4.5, de donde se obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 5.1. Medición de voltaje de operación



Voltaje de Operación = 215 V

Figura 5.2. Medición de amperaje de operación



Amperaje de Operación = 7.47 Amp

*Potencia = Voltaje * Amperaje*

*Potencia = 215 V * 7.47 A = 1606.05 W*

Para realizar las pruebas con la resistencia y policarbonato se calculó primero el tiempo teórico de calentamiento se recurrieron a las fórmulas (2-5) y (2-8).

$$Q = m * c_v * \Delta T \dots \dots \dots (2 - 5)$$

De donde calculamos la masa:

*Masa = Densidad * Volumen*

Siendo el volumen:

*Volumen = Longitud * Ancho * Espesor*

Siendo el área de afectación del policarbonato de las siguientes medidas:

Longitud Máxima = 250 mm = 0.25 m

Ancho = 50 mm = 0.05 m

Espesor de policarbonato 1 = 10 mm = 0.01 m

De la tabla 2.1, la densidad del policarbonato es:

$$Densidad = 1.2 \frac{g}{cm^3} \rightarrow 1200 \frac{Kg}{m^3}$$

Obteniéndose la masa a calentar:

$$Masa = 1200 \frac{Kg}{m^3} * (0.25 m * 0.01 m * 0.05 m) = 0.15 Kg = 150 g$$

De la tabla 2.1, la capacidad térmica específica es:

$$\text{Capacidad térmica específica} = C_v = 1.17 \frac{J}{g * K}$$

De las condiciones expresadas en la sección 5.1.1.3 se consideró que la temperatura de moldeo es de 190 °C, que expresado en Kelvin es de 463 K, y la temperatura ambiente es de 20 °C que expresado en Kelvin es de 293 K.

Se obtuvo el calor necesario para elevar la temperatura del policarbonato hasta los 190 °C.

$$Q = m * C_v * \Delta T \dots (2 - 5)$$

$$Q = (0.15 * 1000)g * 1.17 \frac{J}{g * K} * (463 - 293)K$$

$$Q = 29835 J$$

Se calculó el tiempo de calentamiento teórico, mediante una modificatoria de la fórmula (2-8).

$$E = P * t \dots \dots \dots (2 - 8)$$

$$t = \frac{Q}{P} \dots \dots \dots (2 - 8)'$$

$$\text{Tiempo} = \frac{\text{Calor requerido}}{\dot{Q}_{emitida}} = \frac{29835 J}{1606.05 W} = 18.57 \text{ seg} \approx 19 \text{ seg}$$

Adicionalmente se calculó la temperatura media superficial de la resistencia según la fórmula (2-3).

$$\dot{Q}_{emitida} = \varepsilon * \sigma * A_s * T_s^4 \dots \dots \dots (2 - 3)$$

Donde:

$$\varepsilon = \text{Emisividad} = 0.5$$

$$\sigma = \text{Constante Stefan - Boltzman} = 5.67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4}$$

$$A_s = \text{Área superficial} = \pi * D * L = \pi * 0.015 * 0.250 = 0.297 m^2$$

Reemplazando en la fórmula 2-3.

$$1606.05 W = 0.5 * 5.67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} * 0.297 m^2 * T_s^4$$

$$T_s = \sqrt[4]{\frac{1606.05 W}{0.5 * 5.67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} * 0.297 m^2}} = 660.86 K = 387^\circ C$$

Para corroborar el tiempo calculado se realizaron pruebas en los ambientes de la empresa CADE MOTORS.

Primero se determinó el tiempo en el que la resistencia alcanza la temperatura de operación, ya que recién en ese punto la resistencia entrega la potencia calculada.

Obteniéndose el siguiente resultado:

Tabla 5.5. Pruebas de tiempo de estabilidad operativa de resistencia

Nro. De Prueba	Tiempo requerido	Temperatura alcanzada
1	143 segundos	420°C
2	139 segundos	400°C
3	142 segundos	412 °C

De esta prueba se determinó que el tiempo promedio en el cual la resistencia alcanza su temperatura de operación es de 140 segundos o 2 minutos 20 segundos.

Luego se realizaron pruebas de quemado, donde se determinó el tiempo y la temperatura a la cual el policarbonato presenta burbujas en su superficie, con lo cual este deja de ser útil para ser utilizado como guarda. Para esta prueba se colocó el policarbonato cerca de la resistencia (6 mm, indicado por los fabricantes), obteniéndose los siguientes resultados:

- Prueba de quemado 1

Los resultados de la prueba fueron los siguientes:

- Temperatura de falla del policarbonato = 130.2 °C.
- Tiempo de la prueba = 35 segundos.

Figura 5.3. Temperatura de falla – Ensayo 1



- Prueba de quemado 2

Los resultados de la prueba fueron los siguientes:

- Temperatura de falla del policarbonato = 132.2 °C.
- Tiempo de la prueba = 30 segundos.

Figura 5.4. Temperatura de falla – Ensayo 2



- Prueba de quemado 3

Los resultados de la prueba fueron los siguientes:

- Temperatura de falla del policarbonato = 135.8 °C.
- Tiempo de la prueba = 40 segundos.

Figura 5.5. Temperatura de falla – Ensayo 3



Figura 5.6. Pruebas de quemado



De las pruebas de quemado se observó que el policarbonato falló presentando burbujas en su superficie a partir de los 130 °C, temperatura que se corrobora con las propiedades mostradas en la tabla 2-1, por lo que la resistencia que se utilizó para las pruebas, con el solo tiempo requerido para alcanzar su temperatura de operación caliente de sobremanera la superficie del policarbonato sin permitir que este alcance su temperatura interna de moldeo. Para las pruebas de doblado y comprobación de tiempos, se probaron 5 muestras, en los cuales los tiempos serían como mínimo mayores a los tiempos de estabilización, y se analizarían los resultados para llegar a comprobar si es que efectivamente se podía alcanzar el doblado de policarbonato. Ante la falta de control de la resistencia, para las pruebas de doblado se alejó la muestra de policarbonato de la resistencia unos 50 mm con listones de madera y se establecieron tiempos promedios por encima y por debajo de los tiempos teóricos para comprobar si es que la resistencia entregaba la suficiente potencia. Para el cálculo de los tiempos de calentamiento de las muestras de policarbonato, primero se determinó las masas de policarbonato a calentar siguiendo el proceso utilizado al inicio de la sección, que utilizaron las fórmulas (2-5) y (2-8).

$$Masa = 1200 \frac{Kg}{m^3} * (Ancho * Espesor * Largo)$$

El calor necesario para llevar a esta longitud a temperatura de moldeo se determinó mediante la siguiente fórmula.

$$Q = m * C_v * \Delta T \dots \dots \dots (2 - 5)$$

$$Q = masa (g) * 1.17 \frac{J}{g * K} * 170K$$

Y el tiempo se determina dividiendo la cantidad de calor requerida entre la potencia de la resistencia.

$$Tiempo = \frac{Q}{pot.} = \frac{Q}{1606.05 W}$$

De lo cual se obtuvo la siguiente tabla de resultados:

Tabla 5.6. Tiempos requeridos para las muestras

Muestra	Longitud (mm)	Masa (g)	Calor (J)	Tiempo (seg)
1	165	99	19691.1	13
2	165	99	19691.1	13
3	155	93	18497.7	12
4	160	96	19094.4	12
5	63	37.8	7518.42	5

- Prueba 1
 - Longitud de muestra = 165 mm.
 - Tiempo de ensayo: 3 min 18 segundos.
 - Resultados: El material presentó burbujas en su superficie y si genera el doblar de la plancha.

Figura 5.7. Prueba de doblado N°1



Figura 5.8. Perfil resultante de la prueba N° 1



- Prueba 2
 - Longitud de muestra = 165 mm.
 - Tiempo de ensayo: 2 min 30 segundos.
 - Resultados: No generó doblar aparente, faltó calentamiento.

Figura 5.9. Prueba de doblado N° 2



Figura 5.10. Perfil resultante de la prueba N° 2



- Prueba 3
 - Longitud de muestra = 155 mm.
 - Tiempo de ensayo: 3 min.
 - Resultados: Generó doblez con presencia de burbujas en su superficie.

Figura 5.11. Prueba de doblado N° 3



Figura 5.12. Perfil resultante de la prueba N° 3



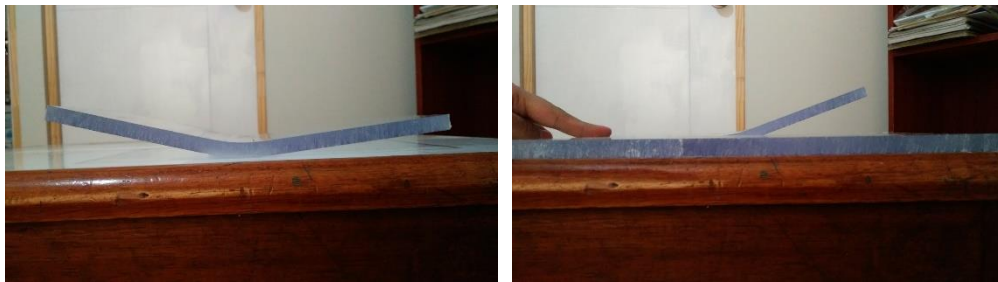
- Prueba 4

- Longitud de muestra = 155 mm.
- Tiempo de ensayo: 3 min 20 segundos.
- Resultados: Generó doblez con mucha presencia de burbujas en su superficie.

Figura 5.13. Prueba de doblado N° 4



Figura 5.14. Perfil resultante de la prueba N° 4



- Prueba 5

- Longitud de muestra = 63 mm.
- Tiempo de prueba = 3 min (2 min 20 segundos de estabilidad de operación y 20 segundos por cada lado).
- Resultados: Generó doblez con poca presencia de burbujas en su superficie en una de sus caras.

Figura 5.15. Prueba de doblado N° 5



Figura 5.16. Perfil resultante de la prueba N° 5



De las pruebas concluimos:

- La resistencia utilizada en las pruebas entrega el suficiente calor al policarbonato, posee una elevada temperatura de utilización que genera la aparición de burbujas en la superficie del policarbonato sin que este haya alcanzado su temperatura de moldeo.

Por ende, se determinó el siguiente procedimiento para la selección de resistencia y cálculo de tiempo de proceso.

5.1.4.1. Procedimiento de selección de resistencias

Nota: Este procedimiento está pensado para el policarbonato, por ende, datos como la densidad y la capacidad deben cambiarse en caso sea otro material.

Paso 1. Primero se determina la cantidad de masa requerida a calentar para el proceso de termoformado, mediante las fórmulas (2-5) y (2-8) y el proceso utilizado al inicio de la sección 5.1.4.

$$Masa = Volumen * Densidad = a * b * l * Densidad$$

Donde:

$$a = Ancho [m]$$

$$b = Espesor [m]$$

$$l = Largo [m]$$

$$Densidad = 1200 \frac{Kg}{m^3}$$

Paso 2. Se calcula la cantidad de calor necesario para llevar la masa a la temperatura de moldeo utilizando la fórmula (2-5).

$$Q = Masa * C_v * \Delta T \dots \dots \dots (2 - 5)$$

Donde:

$$C_v = \text{Calor Específico} \left[\frac{J}{Kg * K} \right]$$

$$\Delta T = \text{Diferencia de Temperatura} = \text{Temp. Moldeo} - \text{Temp. Ambiental} [K]$$

Paso 3. Determinamos el flujo de calor entregada por la resistencia, con la consideración que la temperatura máxima que debe alcanzar es de 115°C, mediante la fórmula (2-8).

$$\dot{Q}_{emitido} = \varepsilon * \sigma * A_s * (T_s^4 - T_{amb}^4) \dots \dots \dots (2 - 8)$$

Donde:

$$\varepsilon = \text{emisividad} = 0.5$$

$$\sigma = \text{Coef. Stefan Boltzman} = 5.67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

$$A_s = \pi * \emptyset_{resis} * l$$

Paso 4. Determinamos el tiempo de calentamiento.

$$T_{calentamiento} = \frac{Q}{\dot{Q}_{emitido}} [s]$$

Paso 5. Para calcular el tiempo total del proceso, se requiere calcular el tiempo de estabilidad de temperatura de la resistencia y este tiempo se calcula mediante pruebas físicas en la resistencia.

$$T_{Estabilización} [s]$$

Paso 6. Finalmente se suman los tiempos de estabilización y calentamiento y ese será el tiempo del proceso.

$$T_{proceso} = T_{Estabilización} + T_{calentamiento} [s]$$

Para nuestro diseño, se establecen las siguientes consideraciones

$$\text{Espesor de policarbonato (e)} = 10 \text{ mm} = 0.01 \text{ m}$$

$$\text{Longitud máxima de resistencia (l)} = 250 \text{ mm} = 0.25 \text{ m}$$

$$T_{amb} = 20 \text{ °C} = 293 \text{ K}$$

$$T_s = 115 \text{ °C} = 388 \text{ K}$$

$$T_{moldeo} = 190 \text{ °C} = 463 \text{ K}$$

Paso 1.

$$\text{Espesor } (e) = 0.01 \text{ m}$$

$$\text{Longitud } (l) = 0.25 \text{ m}$$

$$\text{Ancho } (a) = 0.05 \text{ m}$$

$$\text{Densidad} = 1200 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Masa} = 0.01 * 0.25 * 0.05 * 1200 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 0.15 \text{ Kg} = 150 \text{ g}$$

Paso 2.

$$Q = 150 \text{ g} * 1.17 \frac{\text{J}}{\text{g} * \text{K}} * (463 - 293) \text{ K}$$

$$Q = 29835 \text{ J}$$

Paso 3.

$$A_s = \text{Área superficial}$$

$$A_s = \pi * 0.015 * 0.250 = 0.297 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}_{\text{emitido}} = 0.5 * 5.67 * 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} * 0.297 \text{ m}^2 * (388^4 - 293^4)$$

$$\dot{Q}_{\text{emitido}} = 128.77 \text{ W}$$

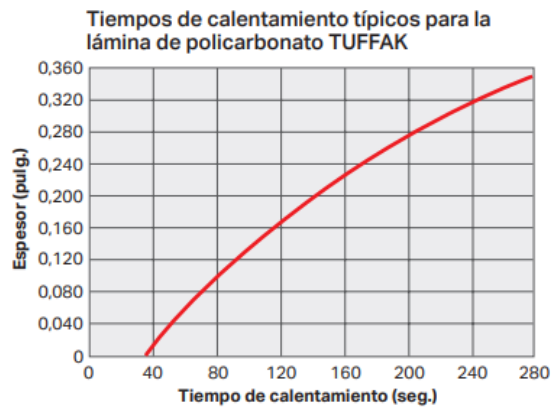
Paso 4.

$$T_{\text{calentamiento}} = \frac{Q}{\dot{Q}_{\text{emitido}}} = \frac{29835 \text{ J}}{128.77 \frac{\text{J}}{\text{s}}} = 231.69 \text{ seg} \approx 232 \text{ seg}$$

Paso 5.

Según PLASKOLITE (sin fecha) el tiempo en el que el policarbonato inicia a calentarse es de 35 segundos por lo que se toma como tiempo de estabilización de la resistencia.

Figura 5.17. Tiempos de calentamiento para láminas de policarbonato



Fuente: Manual Técnico Lámina de policarbonato TUFFAK

$$T_{\text{Estabilización}} = 35 \text{ segundos}$$

Paso 6.

El tiempo de proceso será:

$$T_{\text{proceso}} = 232 \text{ seg} + 35 \text{ seg}$$

$$T_{\text{proceso}} = 267 \text{ seg} \approx 4 \text{ min } 27 \text{ seg}$$

Resumen:

Para el proceso, se requiere 04 resistencias calefactoras de 128 W, 250 mm, Ø 15 mm, con un tiempo de proceso total de 4 min 27 segundos.

Para una potencia de 120 Watts, el tiempo de calentamiento será:

$$T_{\text{calentamiento}} = \frac{Q}{\dot{Q}_{\text{emitido}}} = \frac{29835 \text{ J}}{120 \frac{\text{J}}{\text{s}}} = 248.63 \text{ seg} \approx 249 \text{ seg}$$

El tiempo de proceso será:

$$T_{\text{proceso}} = 249 \text{ seg} + 35 \text{ seg}$$

$$T_{\text{proceso}} = 284 \text{ seg} \approx 4 \text{ min } 44 \text{ seg}$$

5.1.5. Cálculos neumáticos

El actuador neumático seleccionado (ver anexo E), de la página web del proveedor, para generar el movimiento, posee las siguientes características.

$$\text{Carrera} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Ø embolo} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Ø vástago} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Presión de operación mínima} = 0.6 \text{ bar} = 0.06 \text{ MPa}$$

$$\text{Presión de operación máxima} = 12 \text{ bar} = 1.2 \text{ MPa}$$

$$\text{Presión de operación} = 6 \text{ bar} = 0.6 \text{ MPa}$$

Se calculó la fuerza que genera cada pistón según la fórmula 2-10.

$$F = A * p - n * A' * p \dots (2 - 10)$$

$$Fp = P_{\text{operación}} * De^2 * \frac{\pi}{4} - 0.2 * P_{\text{operación}} * \left(\frac{De^2 - Dv^2}{4} * \pi \right)$$

$$Fp = 0.6 * 40^2 * \frac{\pi}{4} - 0.2 * 0.6 * \left(\frac{40^2 - 16^2}{4} * \pi \right)$$

$$Fp = 753.9822 \text{ N} - 126.6690 \text{ N}$$

$$Fp = 627.3132 \text{ N}$$

Se calculó el caudal requerido para la operación mediante la fórmula (2-11), teniendo como consideración que el equipo desarrolla un ciclo por minuto, debido a la naturaleza del proceso.

$$\dot{V} = \left(\frac{S * D^2 * \pi}{4} + \frac{S * (D^2 - d^2) * \pi}{4} \right) * n * R \dots (2 - 11)$$

Donde:

$$S = \text{carrera} = 150 \text{ mm} = 15 \text{ cm}$$

$$D_e = \text{Diámetro del Embolo} = 40 \text{ mm} = 4 \text{ cm}$$

$$d = \text{diámetro del vástago} = 16 \text{ mm} = 1.6 \text{ cm}$$

$$n = \text{ciclos por minuto} = 1 \text{ min}^{-1}$$

$$R = \text{Relación de compresión} = \frac{101.3 + p}{101.3}$$

Se calculó la relación de compresión:

$$R_c = \frac{101.3 + \text{Presión de trabajo}}{101.3} = \frac{101.3 \text{ KPa} + 600 \text{ KPa}}{101.3 \text{ KPa}} = 6.9$$

Por lo que el caudal requerido por 01 pistón es:

$$\dot{V} = \left(15 * \frac{4^2 * \pi}{4} + 15 * \frac{4^2 - 1.6^2}{4} * \pi \right) * 1 * 6.9$$

$$\dot{V} = 2393.1396 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

$$\dot{V} = 2393.1396 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ cm}^3} = 2.39 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

Y el caudal requerido por todo el sistema es:

$$\dot{V}_{total} = \dot{V} * n_{actn}$$

$$n_{actn} = \text{Número de actuadores Neumáticos} = 2 \text{ actuadores}$$

$$\dot{V}_{total} = 2.39 \frac{\text{L}}{\text{min}} * 2 = 4.78 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

5.1.6. Cálculos de estructuras

Se diseñó una estructura de tubo cuadrado de 2"x2"x2mm espesor, de acero inoxidable, con placas para su base en plancha de acero inoxidable de ¼", tapas de plancha de 2 mm de espesor, según se aprecia en la figura 5.18, la placa de formado se diseñó con planchas de acero inoxidable de 3/16" y eje de 35 mm de diámetro, según se aprecia en la figura 5.20.

Figura 5.18. Estructura base de la dobladora

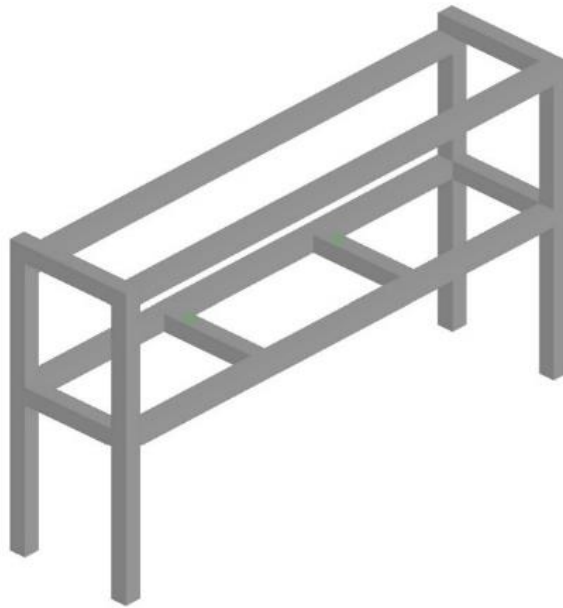
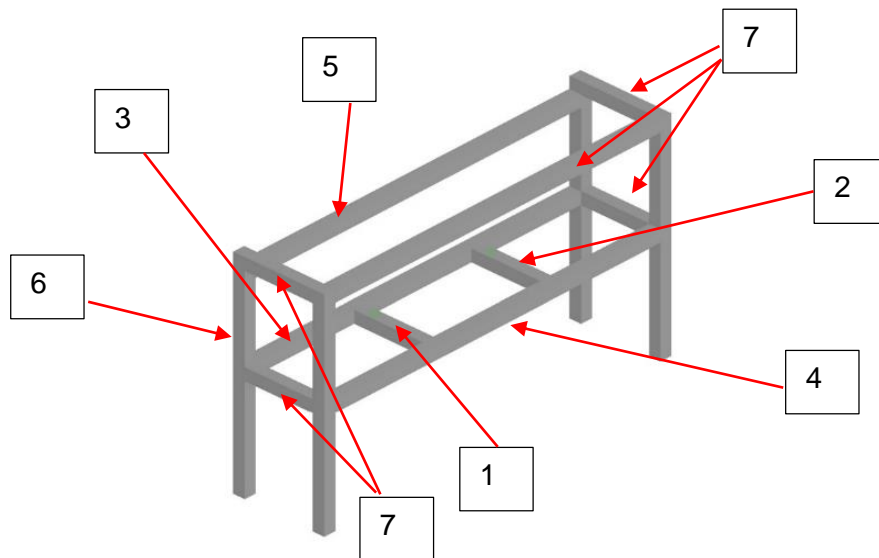


Figura 5.19. Numeración de elementos de la estructura base



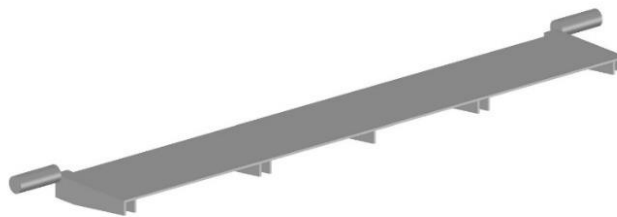
Solo se realizó el análisis de los elementos numerados del 1 al 6, debido a que presentan cargas adicionales al peso propio, los elementos numerados como 7 al solo presentar el peso propio, no se consideran en el estudio.

Según lo indicado en la sección 2.2.17, para aceptar una viga, la deformación máxima no debe ser mayor a $1/800$ de la longitud de la viga, por lo que se calculó las deflexiones máximas permitidas, mostrándolas en la tabla 5.7.

Tabla 5.7. Deflexiones máximas

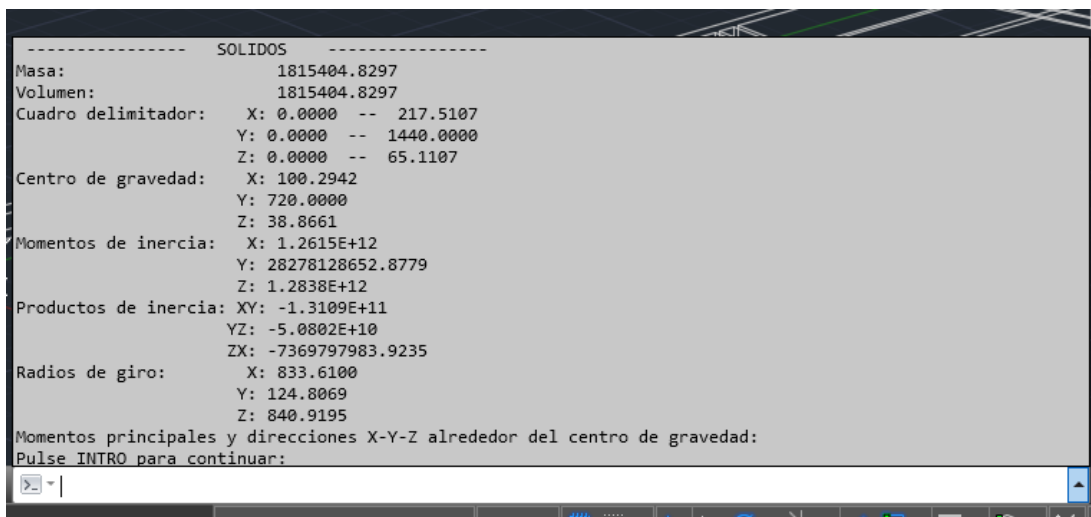
Viga	Longitud (mm)	Deflexión máxima (mm)
1 – 2	298.4	0.373
3	1500	1.875
4	1500	1.875
5	1500	1.875

Figura 5.20. Placa dobladora



Gracias al software AutoCAD, mediante el comando MASSPROP se determinó los valores de volumen y posición del centro de gravedad de la placa de formado.

Figura 5.21. Datos AutoCAD



Los cuales fueron:

$$Volumen = 1815404.8297 \text{ mm}^3$$

$$\bar{X} = 100.2942 \text{ mm}$$

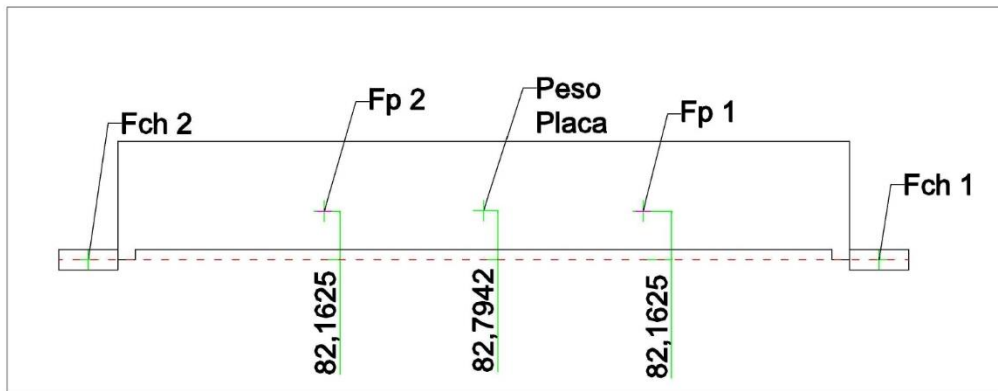
$$\bar{Y} = 720 \text{ mm}$$

$$\bar{Z} = 38.8661 \text{ mm}$$

Obteniendo así las distancias para el desarrollo del diagrama de cuerpo libre para realizar los cálculos y determinar las reacciones.

Por lo tanto, se obtuvo las distancias de las fuerzas al eje de rotación para los cálculos posteriores.

Figura 5.22. Ubicación de las fuerzas actuantes sobre las placas



Se determinó el peso de la placa, utilizando los valores obtenidos en el software AutoCAD:

$$\text{Peso de la placa} = \text{masa de la placa} * \text{gravedad}$$

$$\text{Peso} = \text{volumen} * \text{densidad} * \text{gravedad}$$

$$\text{Peso} = 1815404.8297 \text{mm}^3 * 0.0000078 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 138.911 \text{ N}$$

Se determinó el siguiente sistema de ecuaciones utilizando los conceptos de las fórmulas (2-12) y (2-14).

$$\sum F_y = 0 \dots \dots \dots (2 - 12)$$

$$\text{Peso} - Fp1 - Fp2 - Fch1 - Fch2 = 0 \dots \dots \dots (5 - 1)$$

$$\sum M_{\text{eje de giro}} = 0 \dots \dots \dots (2 - 14)$$

$$\text{Peso}(0.0827835) - Fp1(0.082) - Fp2(0.082) = 0 \dots \dots \dots (5 - 2)$$

$$\sum M_{\text{chumacera 1}} = 0 \dots \dots \dots (2 - 14)$$

$$\text{Peso}(0.675) - Fp1(0.408) - Fp2(0.943) - Fch2(1.34) = 0 \dots \dots \dots (5 - 3)$$

Siendo ambos pistones de la misma marca y modelo, y siendo la figura simétrica, ambas fuerzas son iguales.

$$Fp1 = Fp2$$

Reemplazando en la ecuación (5-2).

$$138.911(0.0827835) - Fp1(0.082) - Fp1(0.082) = 0$$

$$Fp1 = \frac{138.911(0.0827835)}{0.082 + 0.082} = 70.11 \text{ N}$$

Reemplazando en la ecuación (5-3).

$$138.911(0.675) - 70.11(0.408) - 70.11(0.943) - Fch2(1.34) = 0$$

$$Fch2 = \frac{138.911(0.675) - 70.11(0.408) - 70.11(0.943)}{1.34} = -0.711 \text{ N}$$

En la ecuación (5-1).

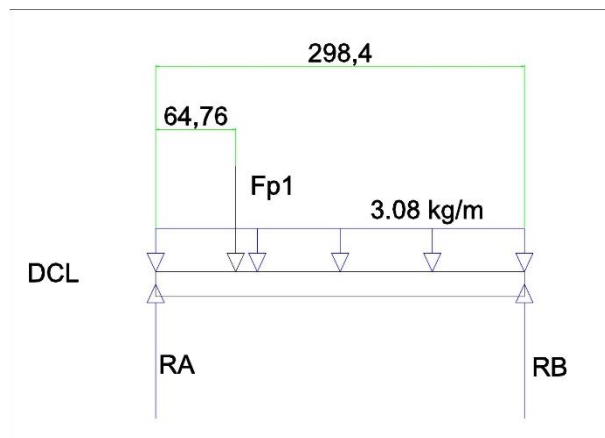
$$138.911 - 70.11 - 70.11 - Fch1 - (-0.711) = 0$$

$$Fch1 = -0.598 \text{ N}$$

- Analizando la viga 1 por peso propio

Las vigas 1 y 2 al tener las mismas fuerzas y tener los mismos accesorios, se realizó 1 solo análisis.

Figura 5.23. Diagrama de Cuerpo Libre – Viga 1 y 2 por peso propio



Se determinó el sistema de ecuaciones mediante los conceptos de las fórmulas (2-12) y (2-14).

$$\sum F_y = 0 \dots \dots \dots (2 - 12)$$

$$Fp1 + \text{Peso propio} - R_A - R_B = 0 \dots \dots \dots (5 - 4)$$

$$\sum M_A = 0 \dots \dots \dots (2 - 14)$$

$$Fp1(0.06476) + \text{Peso propio} \frac{0.2984}{2} - R_B(0.2984) = 0 \dots (5 - 5)$$

Se calculó el peso propio de la viga.

$$\text{Peso propio} = 3.08 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * 0.2984 \text{ m} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9.016 \text{ N}$$

Reemplazando en la ecuación (5-5).

$$70.11(0.06476) + 9.016(0.1492) - R_B(0.2984) = 0$$

$$R_B = \frac{70.11(0.06476) + 9.016(0.1492)}{0.2984} = 19.72 \text{ N}$$

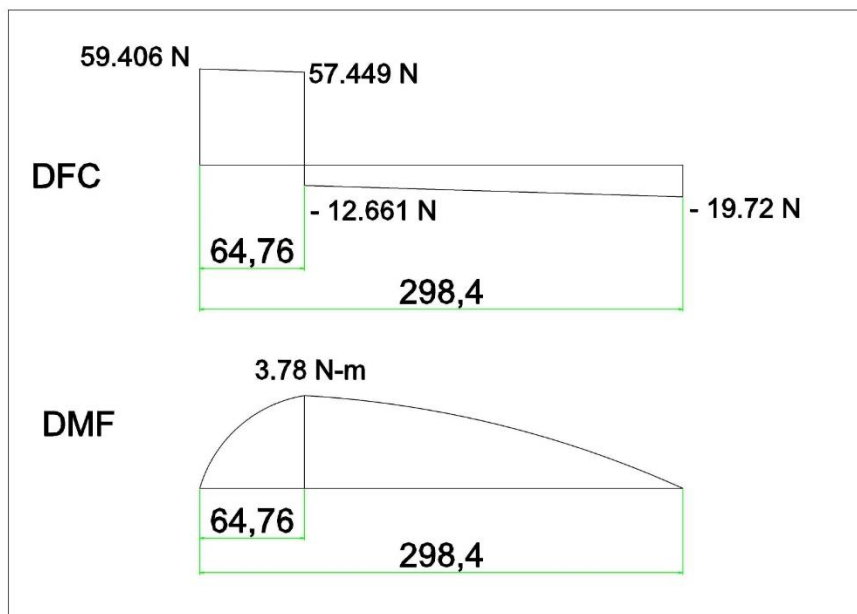
Reemplazando en la ecuación (5-4)

$$70.11 + 9.016 - R_A - 19.72 = 0$$

$$R_A = 59.406 \text{ N}$$

Se generó los diagramas de fuerza cortante y momento flector

Figura 5.24. Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flector – Viga 1 y 2 por peso propio



Se corroboró de la sección seleccionada utilizando la fórmula de tensiones máximas en secciones transversales (Gere y Goodno, 2009) mediante la fórmula (2-16).

$$\sigma = \frac{M * C}{I} \dots \dots \dots (2 - 16)$$

Momento máximo = 3.78 Nm

$C = \text{distancia al eje neutro} = 0.0254 \text{ m}$

$$I = \text{Momento de inercia} = \frac{0.0508^4 - 0.0468^4}{12} m^4 = 1.55 * 10^{-7} m^4$$

Reemplazando en la ecuación (2-16)

$$\sigma = \frac{3.78 \text{ Nm} * 0.0254 \text{ m}}{1.55 * 10^{-7} m^4} = 619 \text{ KPa}$$

Se tomó un factor de seguridad de 5.

$$\sigma_{dis} = \sigma * f.s. = 619 \text{ Kpa} * 5 = 3.095 \text{ MPa}$$

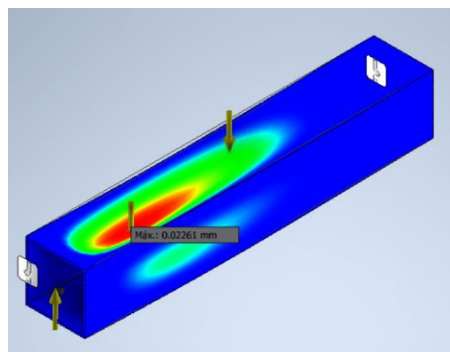
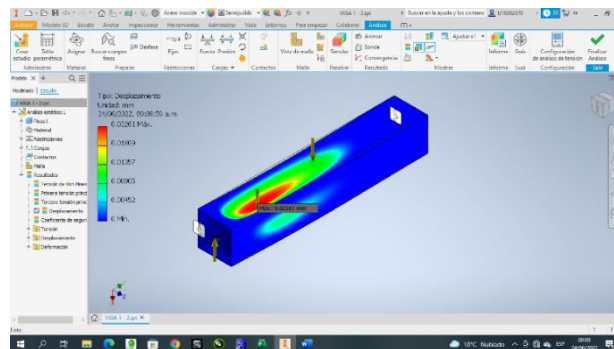
Para confirmar el material, el esfuerzo de diseño debe ser menor al módulo de rigidez, que para el acero inoxidable es de 235 MPa.

Módulo de rigidez = 235 MPa

$$\sigma_{dis} \ll \text{Módulo de Rigidez}$$

Se simuló la viga en el software Autodesk Inventor, mediante el método de elementos finitos, el cual determina la tensión equivalente o también tensión de von-Mises.

Figura 5.25. Simulación de Viga 1-2 por peso propio



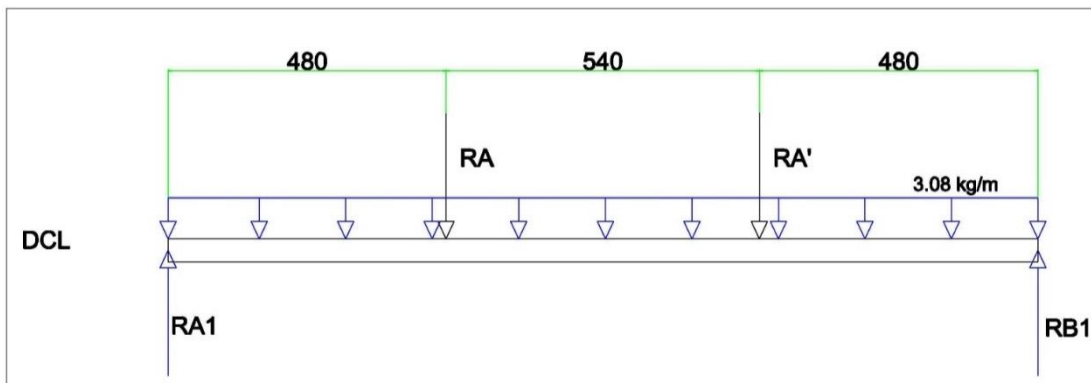
Se observó que la deformación generada por el peso propio del sistema en la viga tiene el siguiente valor.

$$Deformación = 0.02261 \text{ mm}$$

Se observa que la deformación es menor a la deflexión máxima de la tabla 5.7, por lo tanto, se acepta el perfil seleccionado y la longitud de la viga.

- Analizando la viga 3 por peso propio

Figura 5.26. Diagrama de Cuerpo Libre – Viga 3 por peso propio



Se determinó el sistema de ecuaciones mediante los conceptos de las fórmulas (2-12) y (2-14).

$$\sum F_y = 0 \dots \dots \dots (2 - 12)$$

$$RA + RA + \text{Peso propio} - R_{A1} - R_{B1} = 0 \dots \dots \dots (5 - 6)$$

$$\sum M_{A1} = 0 \dots \dots \dots (2 - 14)$$

$$RA(0.48) + RA(1.02) + \text{Peso propio} \frac{1.5}{2} - R_{B1}(1.5) = 0 \dots \dots \dots (5 - 7)$$

Se calculó el peso propio.

$$\text{Peso propio} = 3.08 \frac{Kg}{m} * 1.5 \text{ m} * 9.81 \frac{m}{s^2} = 45.32 \text{ N}$$

Reemplazando en la ecuación (5-7).

$$59.406(0.48) + 59.406(1.02) + 45.32(0.75) = 1.5 R_{B1}$$

$$R_{B1} = \frac{59.406(0.48) + 59.406(1.02) + 45.32(0.75)}{1.5} = 82.066 \text{ N}$$

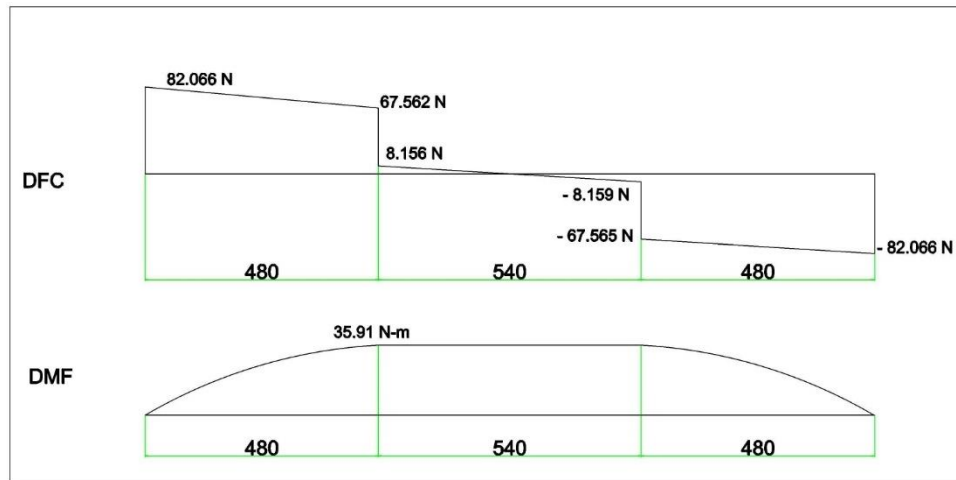
Reemplazando en la ecuación (5-6).

$$59.406 + 59.406 + 45.32 - R_{A1} - 82.066 = 0$$

$$R_{A1} = 82.066 \text{ N}$$

Se generó los diagramas de fuerza cortante y momento flector.

Figura 5.27. Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flector – Viga 3 por peso propio



Se corroboró de la sección seleccionada utilizando la fórmula de tensiones máximas en secciones transversales, mediante la fórmula (2-16).

$$\sigma = \frac{M * C}{I} \dots \dots \dots (2 - 16)$$

Momento máximo = 35.91 Nm

C = distancia al eje neutro = 0.0254 m

$$I = \text{Momento de inercia} = \frac{0.0508^4 - 0.0468^4}{12} m^4 = 1.55 * 10^{-7} m^4$$

Reemplazando:

$$\sigma = \frac{35.91 Nm * 0.0254m}{1.55 * 10^{-7} m^4} = 5.88 MPa$$

Se tomó un factor de seguridad de 5:

$$\sigma_{dis} = \sigma * f.s. = 5.88 Mpa * 5 = 29.423 MPa$$

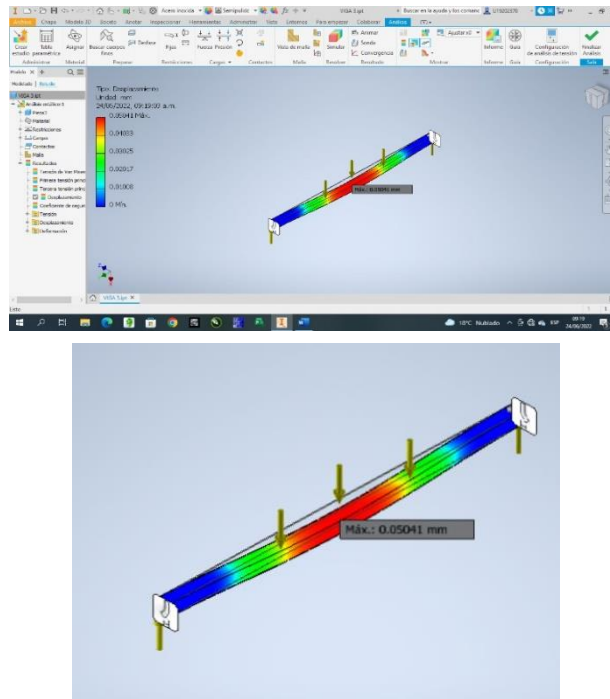
Para confirmar el material, el esfuerzo de diseño debe ser menor al módulo de rigidez:

Módulo de rigidez = 235 MPa

$$\sigma_{dis} \ll \text{Módulo de Rigidez}$$

Se simuló la viga en el software Autodesk Inventor, mediante el método de elementos finitos, el cual determina la tensión equivalente o también tensión de von-Mises.

Figura 5.28. Simulación de la Viga 3 por peso propio



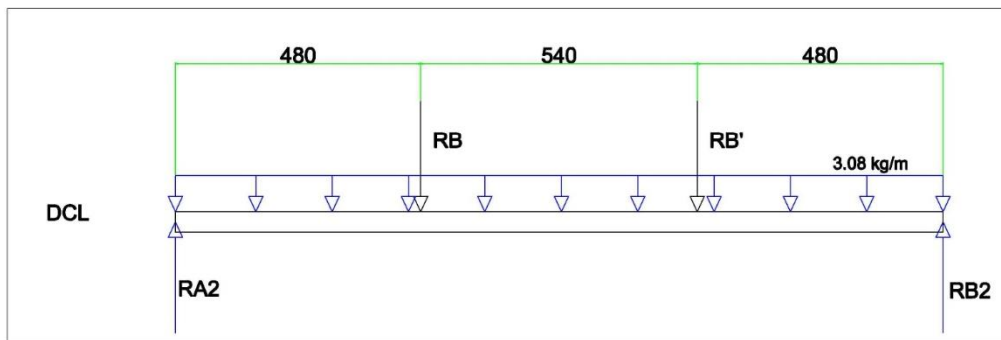
Se observó que la deformación generada por el peso propio del sistema en la viga tiene el siguiente valor.

$$Deformación = 0.05041 \text{ mm}$$

Se observa que la deformación es menor a la deflexión máxima de la tabla 5.7, por lo tanto, se acepta el perfil seleccionado y la longitud de la viga.

- Analizando la viga 4 por peso propio

Figura 5.29. Diagrama de Cuerpo Libre – Viga 4 por peso propio



Se determinó el sistema de ecuaciones mediante los conceptos de las fórmulas (2-12) y (2-14).

$$\sum F_y = 0 \dots \dots \dots (2 - 12)$$

$$RB + RB + \text{Peso propio} - RA_2 - RB_2 = 0 \dots \dots \dots (5 - 8)$$

$$\sum M_{A2} = 0 \dots \dots \dots (2 - 14)$$

$$RB(0.48) + RB(1.02) + \text{Peso propio} \frac{1.5}{2} - R_{B2}(1.5) = 0 \dots \dots \dots (5 - 9)$$

Se calculó el peso propio:

$$\text{Peso propio} = 3.08 \frac{Kg}{m} * 1.5 m * 9.81 \frac{m}{s^2} = 45.32 N$$

Reemplazando en la ecuación (5-9).

$$19.72(0.48) + 19.72(1.02) + 45.32(0.75) = 1.5 R_{B2}$$

$$R_{B2} = \frac{19.72(0.48) + 19.72(1.02) + 45.32(0.75)}{1.5} = 42.38 N$$

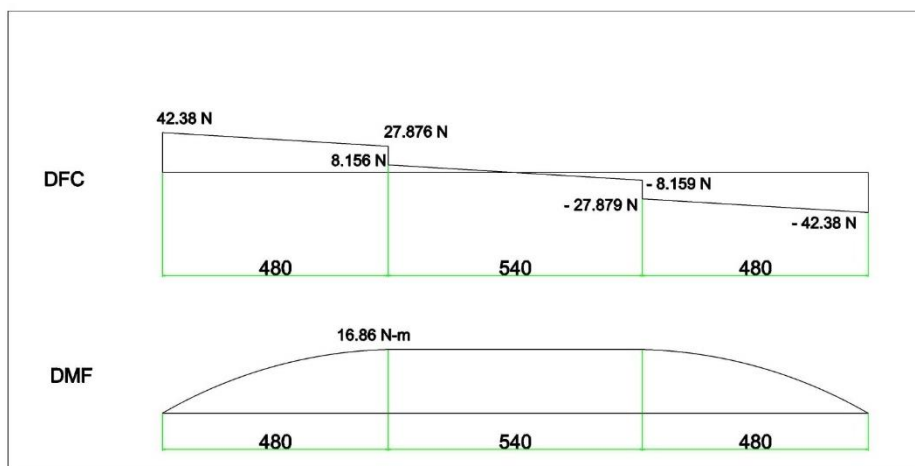
Reemplazando en la ecuación (5-8).

$$19.72 + 19.72 + 45.32 - R_{A1} - 42.38 = 0$$

$$R_{A2} = 42.38 N$$

Se generó los diagramas de fuerza cortante y momento flector:

Figura 5.30. Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flector – Viga 4 por peso propio



Se corroboró de la sección seleccionada utilizando la fórmula de tensiones máximas en secciones transversales, mediante la fórmula (2-16).

$$\sigma = \frac{M * C}{I} \dots \dots \dots (2 - 16)$$

$$\text{Momento máximo} = 16.861 Nm$$

$$C = \text{distancia al eje neutro} = 0.0254 m$$

$$I = \text{Momento de inercia} = \frac{0.0508^4 - 0.0468^4}{12} m^4 = 1.55 * 10^{-7} m^4$$

Reemplazando:

$$\sigma = \frac{16.861 \text{ Nm} * 0.0254 \text{ m}}{1.55 * 10^{-7} \text{ m}^4} = 2.76 \text{ MPa}$$

Se tomó un factor de seguridad de 5.

$$\sigma_{dis} = \sigma * f.s. = 2.76 \text{ MPa} * 5 = 13.8 \text{ MPa}$$

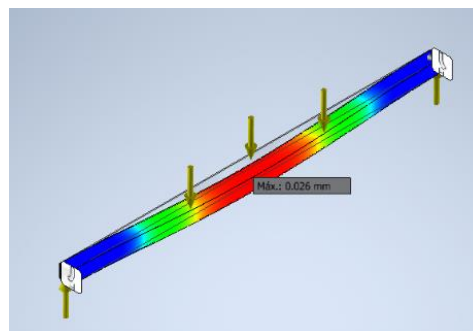
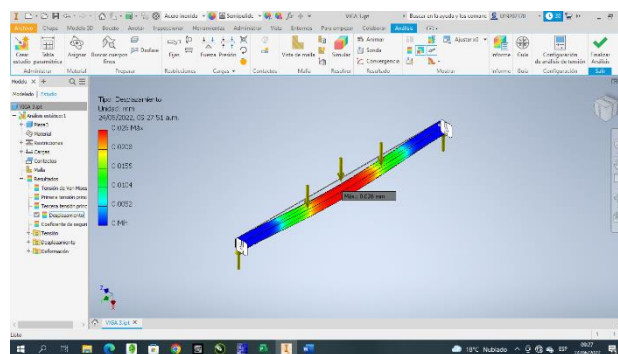
Para confirmar el material, el esfuerzo de diseño debe ser menor al módulo de rigidez.

$$\text{Módulo de rigidez} = 235 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{dis} \ll \text{Módulo de Rigidez}$$

Se simuló la viga en el software Autodesk Inventor, mediante el método de elementos finitos, el cual determina la tensión equivalente o también tensión de von-Mises.

Figura 5.31. Simulación Viga 4 por peso propio



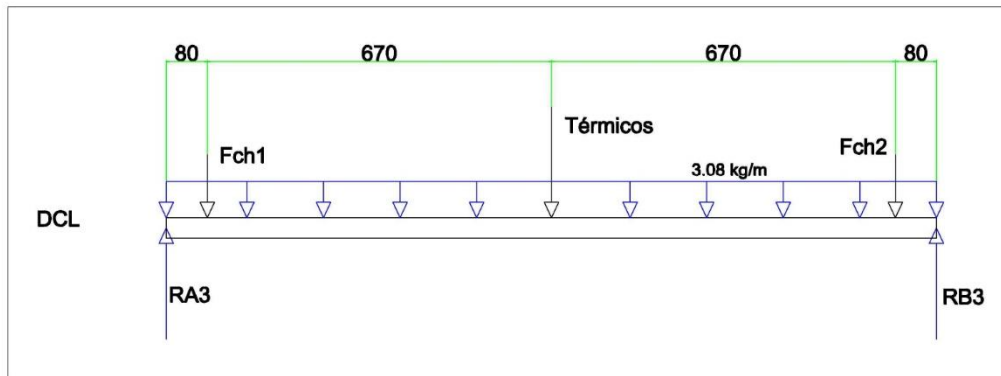
Se observó que la deformación generada por el peso propio del sistema en la viga tiene el siguiente valor.

$$\text{Deformación} = 0.026 \text{ mm}$$

Se observa que la deformación es menor a la deflexión máxima de la tabla 5.7, por lo tanto, se acepta el perfil seleccionado y la longitud de la viga.

- Analizando la viga 5 por peso propio

Figura 5.32. Diagrama de Cuerpo Libre – Viga 5 por peso propio



Se determinó el sistema de ecuaciones mediante los conceptos de las fórmulas 2-12 y 2-14.

$$\sum F_y = 0 \dots \dots \dots (2 - 12)$$

$$Fch1 + Fch2 + \text{Peso Térmicos} + \text{Peso propio} - R_{A3} - R_{B3} = 0 \dots \dots \dots (5 - 10)$$

$$\sum M_{A3} = 0 \dots \dots \dots (2 - 14)$$

$$Fch1(0.08) + P.\text{propio} (0.75) + P.\text{Térmicos} (0.75) + Fch2(1.42) - R_{B3}(1.5) = 0 \dots \dots \dots (5 - 11)$$

Se calculó el peso propio.

$$\text{Peso propio} = 3.08 \frac{Kg}{m} * 1.5 m * 9.81 \frac{m}{s^2} = 45.32 N$$

Se calculó el peso de térmicos.

$$\text{Peso térmicos} = 10 Kg * 9.81 \frac{m}{s^2} = 98.1 N$$

Reemplazando en la ecuación (5-11).

$$0.589(0.08) + 45.32(0.75) + 98.1(0.75) + 0.711(1.42) = R_{B3}(1.5)$$

$$R_{B3} = \frac{0.589(0.08) + 45.32(0.75) + 98.1(0.75) + 0.711(1.42)}{1.5} = 72.41 N$$

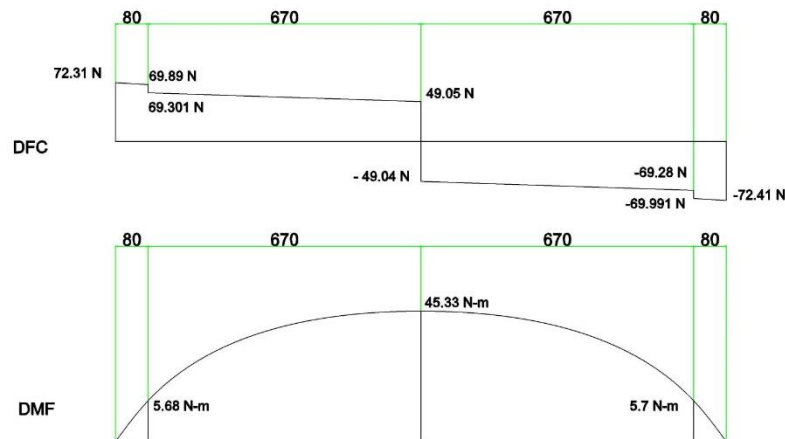
Reemplazando en la ecuación (5-10).

$$0.589 + 0.711 + 98.1 + 45.32 - R_{A3} - 72.41 = 0$$

$$R_{A3} = 72.31 N$$

Se generó los diagramas de fuerza cortante y momento flector:

Figura 5.33. Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flector – Viga 5 por peso propio



Se corroboró de la sección seleccionada utilizando la fórmula de tensiones máximas en secciones transversales, según la fórmula (2-16).

$$\sigma = \frac{M * C}{I} \dots \dots \dots (2 - 16)$$

Momento máximo = 45.33 Nm

C = distancia al eje neutro = 0.0254 m

$$I = \text{Momento de inercia} = \frac{0.0508^4 - 0.0468^4}{12} m^4 = 1.55 * 10^{-7} m^4$$

Reemplazando:

$$\sigma = \frac{45.33 Nm * 0.0254m}{1.55 * 10^{-7} m^4} = 7.42 MPa$$

Se tomó un factor de seguridad de 5.

$$\sigma_{dis} = \sigma * f.s. = 7.42 Mpa * 5 = 37.1 MPa$$

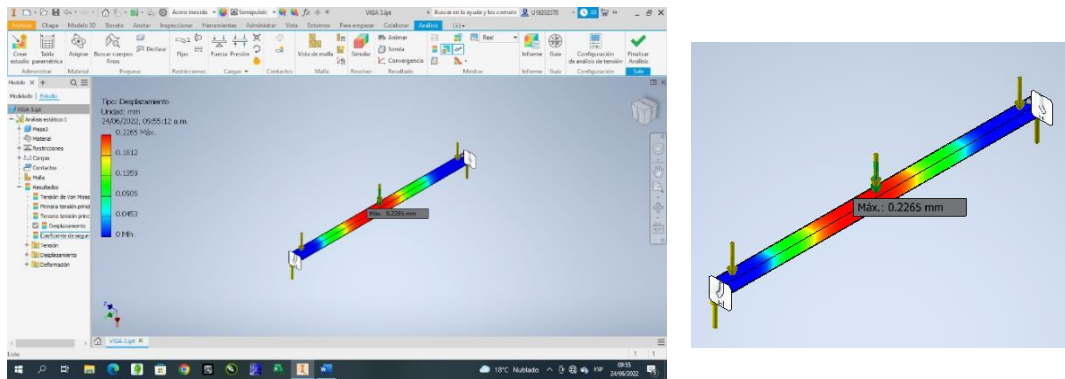
Para confirmar el material, el esfuerzo de diseño debe ser menor al módulo de rigidez.

Módulo de rigidez = 235 MPa

$$\sigma_{dis} \ll \text{Módulo de Rigidez}$$

Se simuló la viga en el software Autodesk Inventor, mediante el método de elementos finitos, el cual determina la tensión equivalente o también tensión de von-Mises.

Figura 5.34. Simulación de la viga 5 por peso propio



Se observó que la deformación generada por el peso propio del sistema en la viga tiene el siguiente valor.

$$Deformación = 0.02265 \text{ mm}$$

Se observa que la deformación es menor a la deflexión máxima de la tabla 5.7, por lo tanto, se acepta el perfil seleccionado y la longitud de la viga.

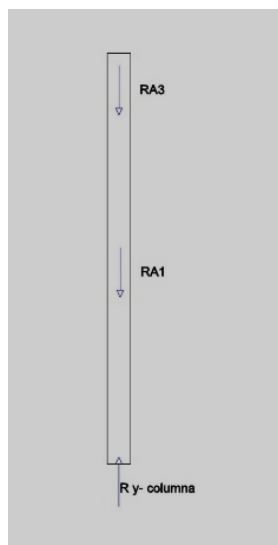
- Análisis de la Columna 1 por peso propio

Se determinó la carga a la que se encuentra sometida la columna, las cuales son RA1, RA3 y su propio peso:

$$RA1 = 82.066 \text{ N}$$

$$RA3 = 72.31 \text{ N}$$

Figura 5.35. Diagrama de Cuerpo Libre – Columna 1



Se determinó la ecuación mediante el concepto de la fórmula (2-12).

$$\sum F_y = 0 \dots \dots \dots (2 - 12)$$

$$R_{Y-columna} - RA1 - RA3 = 0$$

$$R_{Y-columna} = RA1 + RA3 = 82.066 N + 72.31 N = 154.376 N$$

Se comprobó si la columna es corta o larga, mediante la comparación de las relaciones de esbeltez mostradas en las fórmulas (2-17) y (2-18).

$$Re = \text{Relación de Esbletez} = \frac{L_e}{r} \dots (2 - 17)$$

Debido a la condición de empotramiento de la columna, la longitud efectiva (L_e) viene determinado por:

$$L_e = \text{Longitud efectiva} = \text{Longitud real} * K = 0.9 * 2 = 1.8 m$$

$$r = \text{radio de giro} = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$I = \text{Momento de inercia} = \frac{0.0508^4 - 0.0468^4}{12} m^4 = 1.55 * 10^{-7} m^4$$

$$A = \text{Área transversal} = 0.0508^2 - 0.0468^2 = 3.9 * 10^{-4} m^2$$

$$r = \sqrt{\frac{1.55 * 10^{-7} m^4}{3.9 * 10^{-4} m^2}} = 0.0199 m$$

Por lo que la relación de esbeltez es:

$$Re = \text{Relación de esbeltez} = \frac{\text{Longitud efectiva}}{\text{radio de giro}} = \frac{1.8 m}{0.0199 m} = 90.45$$

Se calculó la relación de esbeltez de transición (C_c):

$$\text{Relación de esbletez Crítica} = C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * E}{\sigma}} \dots \dots \dots (2 - 18)$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * 193 * 10^9}{235 * 10^6}} = 127.32$$

Como la relación de esbeltez es menor a la relación de esbeltez de transición, determinamos que la columna es corta.

Se determinó la carga crítica por medio de la fórmula de Euler (2-19).

$$P_{cr} = \pi^2 \frac{E * I}{Le^2} \dots \dots \dots (2 - 19)$$

Reemplazando en la ecuación 2-19.

$$P_{cr} = \pi^2 \frac{193 * 10^9 Pa * 1.55 * 10^{-7} m^4}{1.8^2 m^2} = 91126.3 N$$

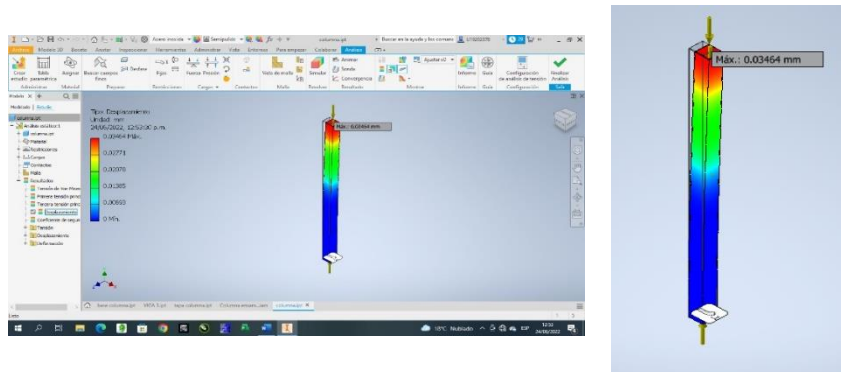
Cálculo de factor de seguridad

$$Factor\ de\ seguridad = \frac{91126.3 N}{154.376 N} = 596.28$$

Comparando con la carga máxima a la que está sometida la columna, observamos que la columna es estable debido a que la carga es menor a la carga crítica (Gere y Goodno, 2009).

Se simuló la viga en el software Autodesk Inventor, mediante el método de elementos finitos, el cual determina la tensión equivalente o también tensión de von-Mises.

Figura 5.36. Simulación de la columna 1 por peso propio



Se observó que la deformación de la columna es:

$$Deformación = 0.03464 mm$$

Con lo cual corroboramos que la sección del material seleccionado es capaz de soportar los esfuerzos a los que se encuentra sometido.

Las otras columnas presentan la misma distribución de fuerzas o menor, por lo tanto, a base de este primer cálculo se concluye que el material es aceptado para las demás.

- Cálculo de viga 1 con actuador neumático en actuación

Se calculó las nuevas fuerzas y reacciones de la viga 1 con los actuadores neumáticos al 100% de su capacidad.

Se determinó la nueva fuerza determinada por el actuador neumático.

$$FP1' = FP1 + Fp = 70.11 + 627.3132 N = 697.4232 N \approx 700 N$$

Se determinó el sistema de ecuaciones mediante los conceptos de las fórmulas (2-12) y (2-14).

$$\sum F_y = 0 \dots \dots \dots (2 - 12)$$

$$FP1' + \text{Peso propio} - R'_A - R'_B = 0 \dots \dots \dots (5 - 12)$$

$$\sum M_A = 0 \dots \dots \dots (2 - 14)$$

$$FP1'(0.06476) + \text{Peso propio} \frac{0.2984}{2} - R'_B(0.2984) = 0 \dots \dots \dots (5 - 13)$$

Se calculó el peso propio.

$$\text{Peso propio} = 3.08 \frac{Kg}{m} * 0.2984 m * 9.81 \frac{m}{s^2} = 9.016 N$$

Reemplazando en la ecuación 5-13.

$$700(0.06476) + 9.016(0.1492) - R_B(0.2984) = 0$$

$$R_B' = \frac{700(0.06476) + 9.016(0.1492)}{0.2984} = 156.42 N$$

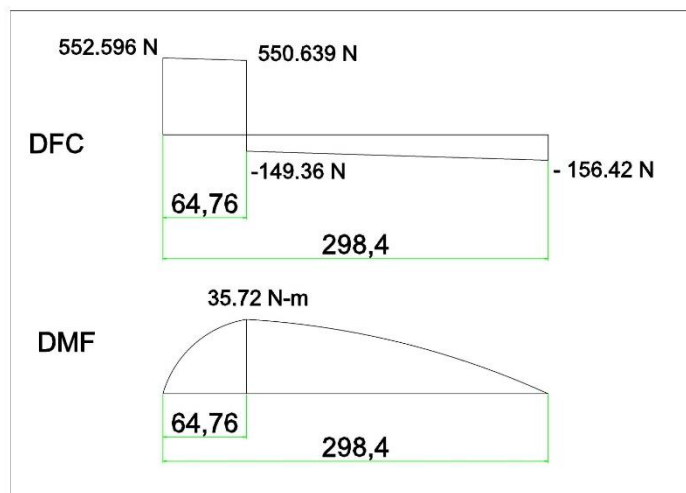
Reemplazando en la ecuación 5-12.

$$700 + 9.016 - R_A - 156.42 = 0$$

$$R_A' = 552.596 N$$

Se generó los diagramas de fuerza cortante y momento flector:

Figura 5.37. Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flector – Viga 1 y 2 con carga



Se corroboró de la sección seleccionada utilizando la fórmula de tensiones máximas en secciones transversales, mediante la fórmula (2-16).

$$\sigma = \frac{M * C}{I} \dots \dots \dots (2 - 16)$$

Momento máximo = 35.72 Nm

C = distancia al eje neutro = 0.0254 m

$$I = \text{Momento de inercia} = \frac{0.0508^4 - 0.0468^4}{12} m^4 = 1.55 * 10^{-7} m^4$$

Reemplazando:

$$\sigma = \frac{35.72 \text{ Nm} * 0.0254 \text{ m}}{1.55 * 10^{-7} m^4} = 5.85 \text{ MPa}$$

Se tomó un factor de seguridad de 5.

$$\sigma_{dis} = \sigma * f.s. = 5.85 \text{ MPa} * 5 = 29.25 \text{ MPa}$$

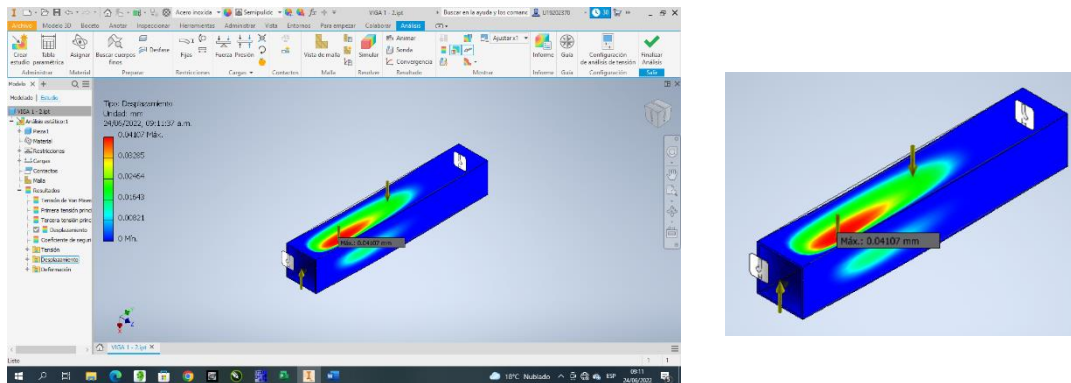
Para confirmar el material, el esfuerzo de diseño debe ser menor al módulo de rigidez.

Módulo de rigidez = 235 MPa

$$\sigma_{dis} \ll \text{Módulo de Rigidez}$$

Se simuló la viga en el software Autodesk Inventor, mediante el método de elementos finitos, el cual determina la tensión equivalente o también tensión de von-Mises.

Figura 5.38. Simulación de la Viga 1-2 bajo carga



Se observó que la deformación generada por las cargas del sistema en la viga tiene el siguiente valor.

$$\text{Deformación} = 0.04107 \text{ mm}$$

Se observa que la deformación es menor a la deflexión máxima de la tabla 5.7, por lo tanto, se acepta el perfil seleccionado y la longitud de la viga.

- Cálculo de viga 3 con actuador neumático en actuación

Se determinó el sistema de ecuaciones mediante los conceptos de las fórmulas (2-12) y (2-14).

$$\sum F_y = 0 \dots \dots \dots (2 - 12)$$

$$RA' + RA' + \text{Peso propio} - R_{A1} - R_{B1} = 0 \dots \dots \dots (5 - 14)$$

$$\sum M_{A1} = 0 \dots \dots \dots (2 - 14)$$

$$RA'(0.48) + RA'(1.02) + \text{Peso propio}' \frac{1.5}{2} - R_{B1}(1.5) = 0 \dots \dots \dots (5 - 15)$$

Se calculó el peso propio.

$$\text{Peso propio}' = 3.08 \frac{Kg}{m} * 1.5 m * 9.81 \frac{m}{s^2} = 45.32 N$$

En la ecuación (5-15).

$$552.596(0.48) + 552.596(1.02) + 45.32(0.75) = 1.5 R_{B1}$$

$$R_{B1} = \frac{552.596(0.48) + 552.596(1.02) + 45.32(0.75)}{1.5} = 575.256 N$$

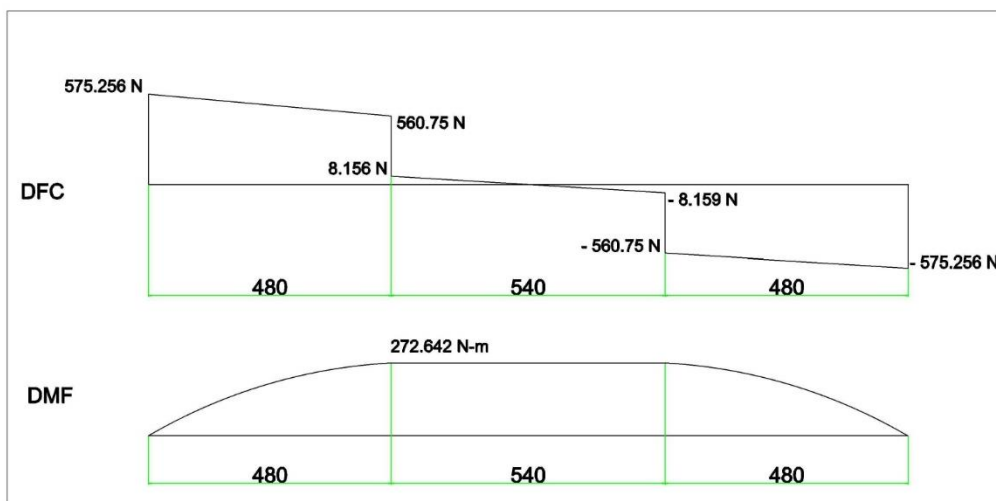
En la ecuación (5-14).

$$552.596 + 552.596 + 45.32 - R_{A1} - 575.256 = 0$$

$$R_{A1} = 575.256 N$$

Se generó los diagramas de fuerza cortante y momento flector

Figura 5.39. Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flector – Viga 3 con carga



Se corroboró de la sección seleccionada utilizando la fórmula de tensiones máximas en secciones transversales, mediante la fórmula (2-16).

$$\sigma = \frac{M * C}{I} \dots \dots \dots (2 - 16)$$

Momento máximo = 272.642 Nm

C = distancia al eje neutro = 0.0254 m

$$I = \text{Momento de inercia} = \frac{0.0508^4 - 0.0468^4}{12} m^4 = 1.55 * 10^{-7} m^4$$

Reemplazando en la ecuación (2-16).

$$\sigma = \frac{272.642 Nm * 0.0254m}{1.55 * 10^{-7} m^4} = 44.67 MPa$$

Se tomó un factor de seguridad de 5.

$$\sigma_{dis} = \sigma * f.s. = 44.67 MPa * 5 = 223.35 MPa$$

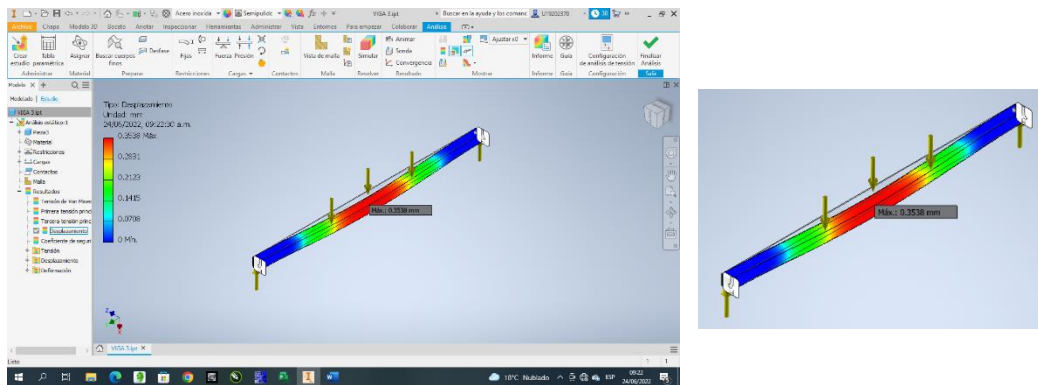
Para confirmar el material, el esfuerzo de diseño debe ser menor al módulo de rigidez.

Módulo de rigidez = 235 MPa

$$\sigma_{dis} < \text{Módulo de Rigidez}$$

Se simuló la viga en el software Autodesk Inventor, mediante el método de elementos finitos, el cual determina la tensión equivalente o también tensión de von-Mises.

Figura 5.40. Simulación de la viga 3 bajo carga



Se observó que la deformación generada por las cargas del sistema en la viga tiene el siguiente valor.

$$\text{Deformación} = 0.3538 mm$$

Se observa que la deformación es menor a la deflexión máxima de la tabla 5.7, por lo tanto, se acepta el perfil seleccionado y la longitud de la viga.

- Cálculo de viga 4 con actuador neumático en actuación

Se determinó el sistema de ecuaciones mediante los conceptos de las fórmulas (2-12) y (2-14).

$$\sum F_y = 0 \dots \dots \dots (2 - 12)$$

$$RB' + RB' + \text{Peso propio} - R_{A2} - R_{B2} = 0 \dots \dots \dots (5 - 16)$$

$$\sum M_{A2} = 0 \dots \dots \dots (2 - 14)$$

$$RB'(0.48) + RB'(1.02) + \text{Peso propio} \frac{1.5}{2} - R_{B2}(1.5) = 0 \dots \dots \dots (5 - 17)$$

Se calculó el peso propio.

$$\text{Peso propio} = 3.08 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * 1.5 \text{ m} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 45.32 \text{ N}$$

Reemplazando en la ecuación (5-17).

$$156.42(0.48) + 156.42(1.02) + 45.32(0.75) = 1.5 R_{B2}$$

$$R_{B2} = \frac{156.42(0.48) + 156.42(1.02) + 45.32(0.75)}{1.5} = 179.08 \text{ N}$$

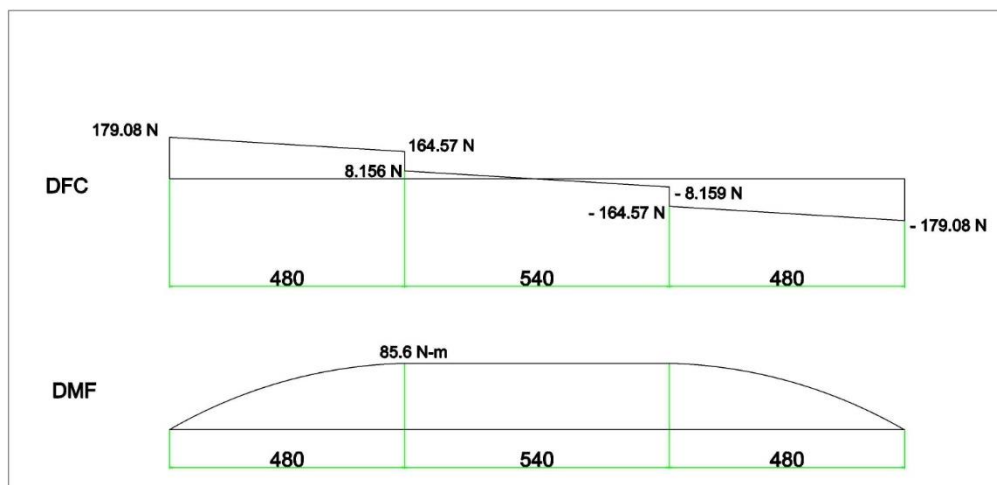
Reemplazando en la ecuación (5-16).

$$156.42 + 156.42 + 45.32 - R_{A1} - 179.08 = 0$$

$$R_{A2} = 179.08 \text{ N}$$

Se generó los diagramas de fuerza cortante y momento flector:

Figura 5.41. Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flector – Viga 4 con carga



Se corroboró de la sección seleccionada utilizando la fórmula de tensiones máximas en secciones transversales, mediante la fórmula (2-16).

$$\sigma = \frac{M * C}{I} \dots \dots \dots (2 - 16)$$

Momento máximo = 85.6 Nm

C = distancia al eje neutro = 0.0254 m

$$I = \text{Momento de inercia} = \frac{0.0508^4 - 0.0468^4}{12} m^4 = 1.55 * 10^{-7} m^4$$

Reemplazando en la ecuación (2-16).

$$\sigma = \frac{85.6 \text{ Nm} * 0.0254 \text{ m}}{1.55 * 10^{-7} m^4} = 13.5 \text{ MPa}$$

Se tomó un factor de seguridad de 5.

$$\sigma_{dis} = \sigma * f.s. = 13.5 \text{ Mpa} * 5 = 67.5 \text{ MPa}$$

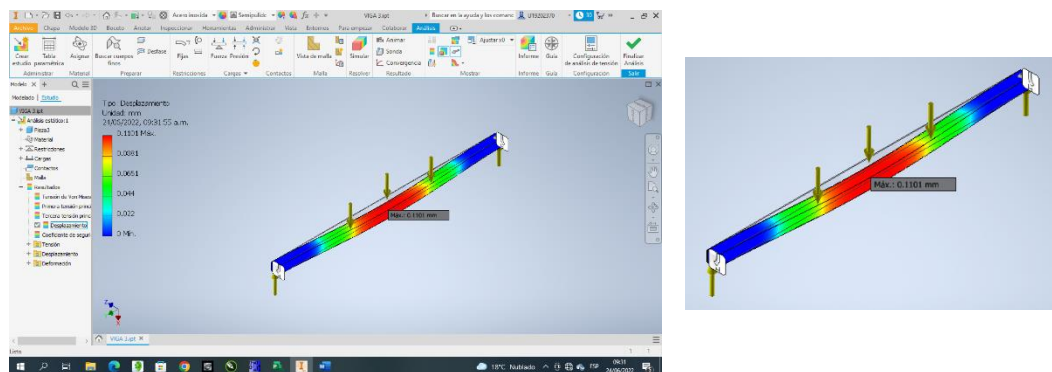
Para confirmar el material, el esfuerzo de diseño debe ser menor al módulo de rigidez.

Módulo de rigidez = 235 MPa

$$\sigma_{dis} \ll \text{Módulo de Rigidez}$$

Se simuló la viga en el software Autodesk Inventor, mediante el método de elementos finitos, el cual determina la tensión equivalente o también tensión de von-Mises.

Figura 5.42. Simulación de Viga 4 bajo carga



Se observó que la deformación generada por cargas del sistema en la viga tiene el siguiente valor.

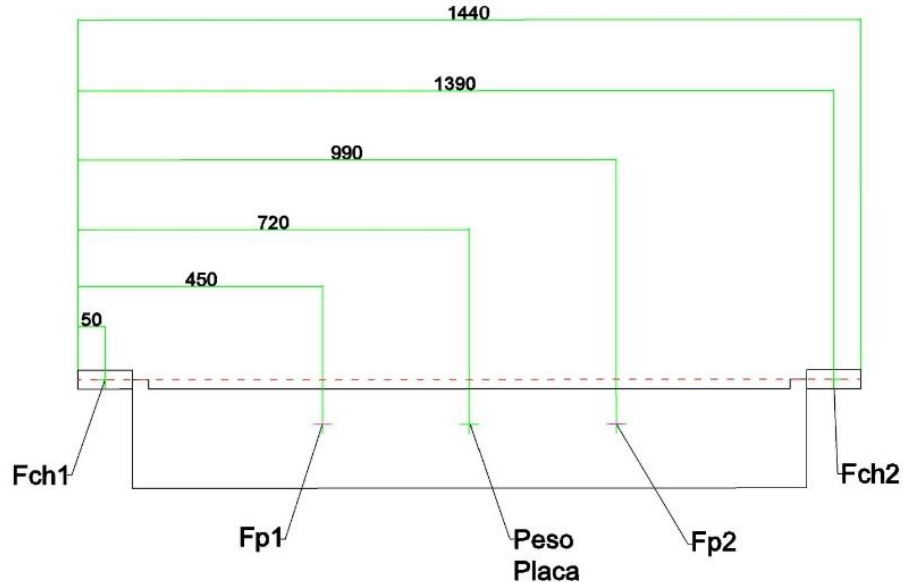
$$\text{Deformación} = 0.1101 \text{ mm}$$

Se observa que la deformación es menor a la deflexión máxima de la tabla 5.7, por lo tanto, se acepta el perfil seleccionado y la longitud de la viga.

- Cálculo de viga 5 con actuador neumático en actuación

Primero se determinó los nuevos valores de las fuerzas ejercidas por las chumaceras, ya que ahora la placa se encuentra en posición vertical.

Figura 5.43. Distribución de fuerzas en placa posición vertical



Se determinó el sistema de ecuaciones mediante los conceptos de las fórmulas (2-12) y (2-14).

$$\sum F_y = 0 \dots \dots \dots (2 - 12)$$

$$Peso\ Placa - F_{pistón1} - F_{pistón2} - F_{ch1'} - F_{ch2'} = 0 \dots \dots \dots (5 - 18)$$

$$\sum M_{chumacera\ 1} = 0 \dots \dots \dots (2 - 14)$$

$$Peso(0.67) - F_{pistón1}(0.4) - F_{pistón2}(0.94) + F_{ch2'}(1.34) = 0 \dots \dots \dots (5 - 19)$$

Reemplazando en la ecuación (5-19).

$$138.911(0.67) - 621.38(0.4) - 621.38(0.94) + F_{ch2'}(1.34) = 0$$

$$F_{ch2'} = \frac{621.38(0.4) + 621.38(0.94) + 138.911(0.67)}{1.34} = 551.92\ N$$

Reemplazando en la ecuación (5-18).

$$138.911 - 621.38 - 621.38 - F_{ch1'} + 551.92 = 0$$

$$F_{ch1'} = 551.92\ N$$

Se determinó el sistema de ecuaciones mediante los conceptos de las fórmulas (2-12) y (2-14).

$$\sum F_y = 0 \dots \dots \dots (2 - 12)$$

$$Fch1' - Fch2' + \text{Peso Térmicos} + \text{Peso propio} - R_{A3} - R_{B3} = 0 \dots \dots \dots (5 - 20)$$

$$\sum M_{A3} = 0 \dots \dots \dots (2 - 14)$$

$$Fch1'(0.08) + P_{propio}(0.75) + P_{Térmicos}(0.75) + Fch2'(1.42) - R_{B3}(1.5) = 0 \dots \dots (5 - 21)$$

Se calculó el peso propio.

$$\text{Peso propio} = 3.08 \frac{Kg}{m} * 1.5 m * 9.81 \frac{m}{s^2} = 45.32 N$$

Se calculó el peso de elementos térmicos.

$$\text{Peso propio} = 10 Kg * 9.81 \frac{m}{s^2} = 98.1 N$$

Reemplazando en la ecuación (5-21).

$$551.92(0.08) + 45.32(0.75) + 98.1(0.75) + 551.92(1.42) = R_{B3}(1.5)$$

$$R_{B3} = \frac{551.92(0.08) + 45.32(0.75) + 98.1(0.75) + 551.92(1.42)}{1.5} = 623.63 N$$

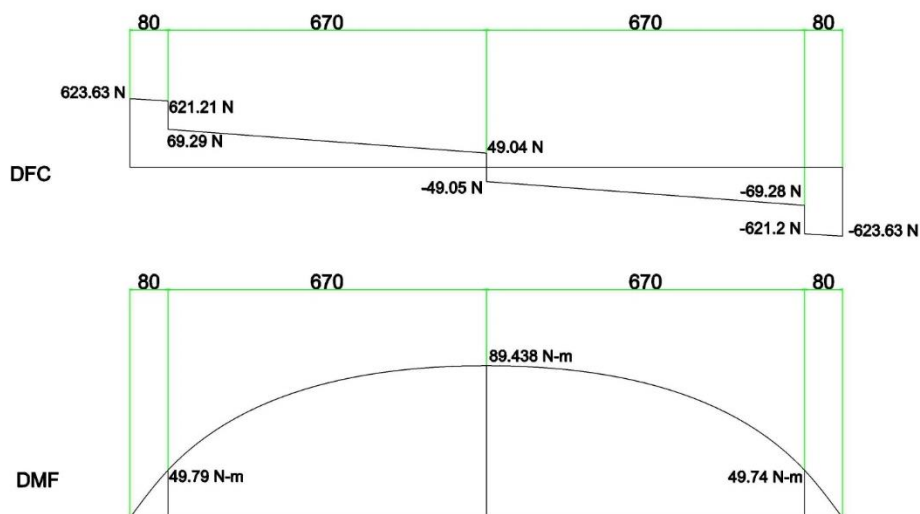
Reemplazando en la ecuación (5-20).

$$551.92 + 45.32 + 98.1 + 551.92 - 623.63 - R_{A3} = 0$$

$$R_{A3} = 623.63 N$$

Se generó los diagramas de fuerza cortante y momento flector:

Figura 5.44. Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flector – Viga 5 con carga



Se corroboró de la sección seleccionada utilizando la fórmula de tensiones máximas en secciones transversales, mediante la fórmula (2-16).

$$\sigma = \frac{M * C}{I} \dots \dots \dots (2 - 16)$$

Momento máximo = 89.438 Nm

C = distancia al eje neutro = 0.0254 m

$$I = \text{Momento de inercia} = \frac{0.0508^4 - 0.0468^4}{12} m^4 = 1.55 * 10^{-7} m^4$$

Reemplazando en la ecuación (2-16).

$$\sigma = \frac{89.438 Nm * 0.0254m}{1.55 * 10^{-7} m^4} = 14.6 MPa$$

Tomando un factor de seguridad de 5.

$$\sigma_{dis} = \sigma * f.s. = 14.6 MPa * 5 = 73 MPa$$

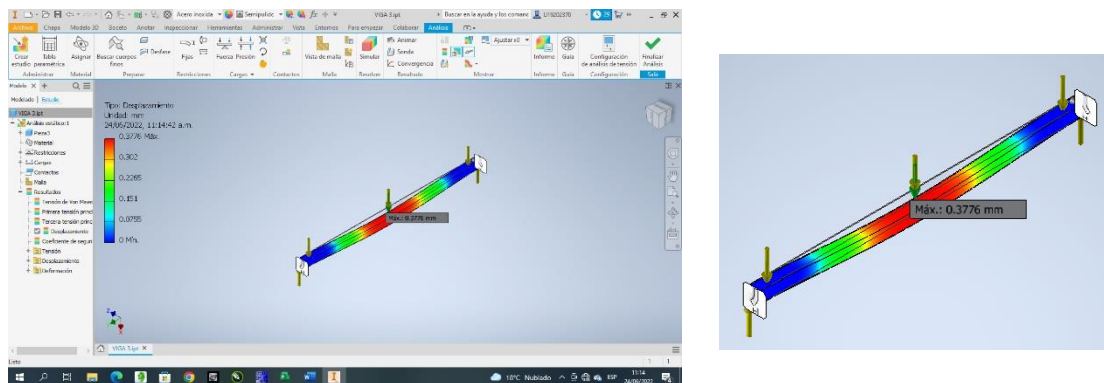
Para confirmar el material, el esfuerzo de diseño debe ser menor al módulo de rigidez.

Módulo de rigidez = 235 MPa

$$\sigma_{dis} \ll \text{Módulo de Rigidez}$$

Se simuló la viga en el software Autodesk Inventor, mediante el método de elementos finitos, el cual determina la tensión equivalente o también tensión de von-Mises.

Figura 5.45. Simulación de Viga 5 bajo carga



Se observó que la deformación generada por el peso propio del sistema en la viga tiene el siguiente valor.

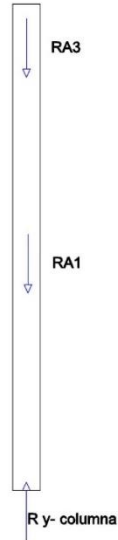
$$\text{Deformación} = 0.33776 mm$$

Se observa que la deformación es menor a la deflexión máxima de la tabla 5.7, por lo tanto, se acepta el perfil seleccionado y la longitud de la viga.

- Cálculo de columna 1 con actuador neumático en actuación

Primero se determinó la carga a la que se encuentra sometida la columna.

Figura 5.46. Diagrama de Cuerpo Libre – Columna 1 con carga



Se determinó la ecuación mediante el concepto de la fórmula (2-12).

$$\sum F_y = 0 \dots \dots \dots (2 - 12)$$

$$R_{Y-columna} - RA1 - RA3 = 0$$

$$R_{Y-columna} = RA1 + RA3 = 575.256 \text{ N} + 623.63 \text{ N} = 1198.886 \text{ N}$$

Se comprobó si la columna es corta o larga, mediante la comparación de las relaciones de esbeltez mostradas en las fórmulas (2-17) y (2-18).

$$Re = \text{Relación de Esbletez} = \frac{L_e}{r} \dots \dots \dots (2 - 17)$$

Debido a la condición de empotramiento de la columna, la longitud efectiva (Le) viene determinado por:

$$\text{Longitud efectiva} = \text{Longitud real} * K = 0.9 * 2 = 1.8 \text{ m}$$

$$r = \text{radio de giro} = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$I = \text{Momento de inercia} = \frac{0.0508^4 - 0.0468^4}{12} \text{ m}^4 = 1.55 * 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$A = \text{Área transversal} = 0.0508^2 - 0.0468^2 = 3.9 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{1.55 * 10^{-7} \text{ m}^4}{3.9 * 10^{-4} \text{ m}^2}} = 0.0199 \text{ m}$$

Por lo que la relación de esbeltez es:

$$Re = \text{Relación de esbeltez} = \frac{\text{Longitud efectiva}}{\text{radio de giro}} = \frac{1.8 \text{ m}}{0.0199 \text{ m}} = 90.45$$

Se calculó la relación de esbeltez de transición (Cc).

$$\text{Relación de esbeltez Crítica} = Cc = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * E}{\sigma}} \dots \dots \dots (2 - 18)$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * 193 * 10^9}{235 * 10^6}} = 127.32$$

Como la relación de esbeltez es menor a la relación de esbeltez de transición, determinamos que la columna es corta.

Se determinó la carga crítica por medio de la fórmula de Euler (2-19)

$$P_{cr} = \pi^2 \frac{E * I}{Le^2} \dots \dots \dots (2 - 19)$$

Reemplazando en la ecuación 2-19.

$$P_{cr} = \pi^2 \frac{193 * 10^9 \text{ Pa} * 1.55 * 10^{-7} \text{ m}^4}{1.8^2 \text{ m}^2} = 91126.3 \text{ N}$$

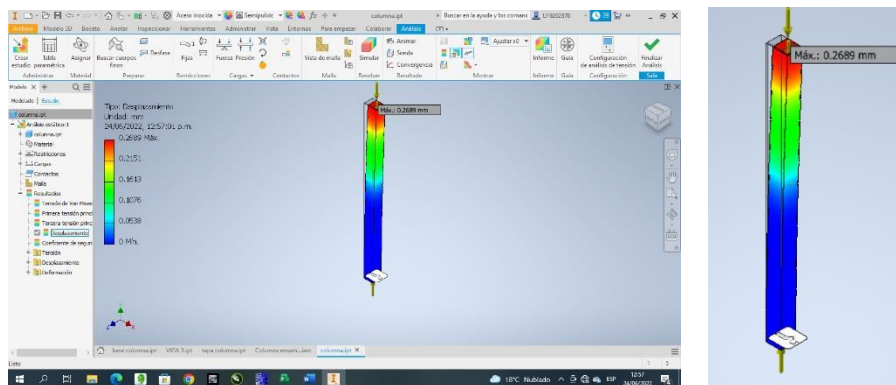
Cálculo de factor de seguridad.

$$\text{Factor de seguridad} = \frac{91126.3 \text{ N}}{1198.886 \text{ N}} = 76$$

Comparando con la carga máxima a la que está sometida la columna, observamos que la columna es estable debido a que la carga es menor a la carga crítica.

Se simuló la viga en el software Autodesk Inventor, mediante el método de elementos finitos, el cual determina la tensión equivalente o también tensión de von-Mises.

Figura 5.47. Simulación de Columna 1 bajo carga



Se observó que la deformación de la columna es:

$$Deformación = 0.2689 m$$

Con lo cual corroboramos que la sección del material seleccionado es capaz de soportar los esfuerzos a los que se encuentra sometido.

5.1.7. Diseño de programación

Primero se diseñó la secuencia del proceso para proceder a diseñar el circuito.

Tabla 5.7. Secuencia del equipo de termoformado

N° de Paso	Descripción
1	Selección el rango de longitud del dobléz
2	Presionar botón de inicio
3	Se activan las resistencias calefactoras (el tiempo se determinó en la sección 4.6.4)
4	Se desactivan las resistencias calefactoras
5	Se activan los actuadores neumáticos (Los actuadores neumáticos se detienen mediante un sensor de fin de carrera que trabaja con la placa de formado)
6	Se deja que la placa de formado mantenga su posición durante unos minutos para garantizar el enfriamiento de la pieza
7	Los actuadores neumáticos regresan la placa de formado a su posición de inicio (Los actuadores neumáticos se detienen mediante un sensor de fin de carrera que trabaja con la placa de formado)
8	El sensor de fin de carrera reinicia la selección de rango de longitud.

Para la programación del PLC se recurrió al software Logosoft, y se diseñó el siguiente programa lógico (Los planos se encuentran en el anexo G).

5.1.8. Radio de flexión

Siguiendo las recomendaciones del informe técnico de la empresa BERKEL (sin fecha) indican que el radio de flexión debe ser de por lo mínimo de la misma

dimensión de la hoja de policarbonato, por ende, se utilizará un arco de tubo cuadrado de 2" con un eje de $\varnothing 20$ mm en la frontal, para que cumpla con esta sugerencia.

Figura 5.48. Tope de flexión – vista lateral

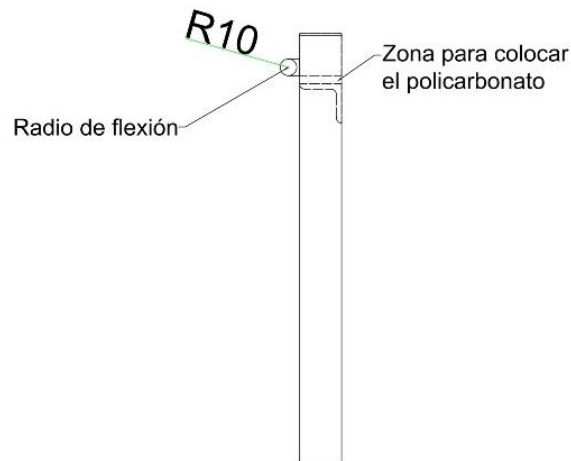


Figura 5.49. Tope de flexión – vista isométrica



5.1.9. Manual de usuario y restricciones de diseño

5.1.9.1. Manual de usuario

Generalidades

El presente manual tiene como objetivo presentar las instrucciones de uso, las recomendaciones de seguridad e información importante sobre los equipos.

Este documento debe ser leído antes del uso de la máquina para que se garantice la seguridad del operario y el correcto funcionamiento de la termoformadora.

Recomendaciones de Seguridad

- No operar el equipo si no ha leído y comprendido el contenido de este manual.
- Antes de iniciar las labores verifique que la llave principal se encuentra en posición de apagado.
- Para cualquier intervención (mantenimiento preventivo, correctivo o inspección) asegúrese de que el equipo se encuentra desenergizado eléctrica y neumáticamente.
- Los EPP's requerido para el uso del equipo son los siguientes:
 - Calzado de Seguridad.
 - Guantes de Seguridad.
 - Lentes de Seguridad.
 - Ropa de Seguridad.
 - Tapones para oídos.
 - Malla para cabello (opcional).
- Evitar utilizar objetos externos colgantes (collares, pulseras, relojes) que puedan causar un accidente.
- En caso de que el operario tenga el pelo largo, recogerlo con una cola y utilizar una malla.

Simbología

Tabla 5.8. Simbologías de riesgo, recomendaciones y prohibiciones (1/2)






Símbolo	Descripción
	Riesgo eléctrico: En esa zona existe riesgo de contacto directo o indirecto, manipular bajo supervisión y con el equipo desenergizado.
	Superficie caliente: En esta zona las superficies alcanzan altas temperaturas que pueden causar quemaduras
	Peligro de atrapamiento: En esa zona se puede generar atrapamiento de dedos y manos.

Tabla 5.9. Simbologías de riesgo, recomendaciones y prohibiciones (2/2)

Símbolo	Descripción
	<p>EPP's: Equipos de Protección Personal requeridos para operar el equipo</p> <ul style="list-style-type: none"> - Calzado de Seguridad - Guantes de Seguridad - Lentes de Seguridad - Ropa de Seguridad - Tapones para oídos
	<p>Prohibido intervenir si el equipo no se encuentra desenergizado</p>

Antes de operar el equipo

Antes de utilizar el equipo revisar las siguientes condiciones

- C1: Verificar que el piso del ambiente de trabajo se encuentre seco, y que en el ambiente no haya presencia de gases inflamables.
- C2: Verificar que los cables de alimentación se encuentren en buen estado, de la misma manera los conectores neumáticos.
- C3: Verificar la toma de energía, llaves de alimentación y mangueras neumáticas.
- C4: Verificar que la placa de policarbonato a calentar sea máxima de 1 m de longitud.
- C5: Verificar que los bordes del policarbonato se encuentren rectificadas o no presentes deformaciones que impidan la sujeción y manipulación
- C6: Verificar que el policarbonato no se encuentra humedecido

Nota 1: Si las condiciones ambientales (C1, C2 y C3) no se cumplen, no se procederá hasta levantar la condición de no cumplimiento, dependiendo de cada caso.

Nota 2: Si las condiciones de material (C4, C5 y C6) no se cumplen, proceder a replantear el diseño, mecanizar la pieza o realizar un presecado respectivamente.

Instrucciones de uso

- Para operar el equipo primero definir el rango de longitud de la guarda, según el siguiente cuadro.

Tabla 5.10. Rangos de Longitud

Rango	Longitud
1	<0-250> mm
2	<251-500> mm
3	<501-750> mm
4	<751-1000> mm

- Ubicar la placa siguiendo las siguientes indicaciones
 - Si la placa es de rango 1, colocarla en el sector de la 1ra resistencia, la cual se ubica en el mismo sector de la botonera.
 - Si la placa es de rango 2, colocarla compartida entre la 1ra y 2da compartiendo la longitud entre ambas resistencias
 - Si la placa es de rango 3, colocarla en la zona que comprende desde la resistencia 1 al número 3, compartiendo la longitud entre la resistencia 1 y 3
 - Si la placa es de rango 4, ubicar la placa a lo largo de todas las resistencias.
- Una vez colocada la placa, colocar el sensor de fin de carrera en la posición correspondiente y asegurarlo con una llave mixta.
- Realizar la conexión del equipo.
- Encender el circuito de fuerza y control de la termoformadora.
- Verificar que la línea de aire tenga esté activa.
- Conectar la alimentación de aire al punto de distribución del equipo.
- Seleccionar el intervalo de longitud en la botonera de control.
- Apretar el botón de inicio y esperar que el equipo termine su proceso.
- Retirar la placa o reposicionarla para un segundo dobléz y repetir el proceso.

Notas de Seguridad

- El operario no deberá apoyarse en la estructura, principalmente por el peligro de atrapamiento.
- El proceso finalizará cuando la placa formadora haya regresado a su posición original.
- El operario no deberá manipular las resistencias cuando estas están energizadas o hayan terminado de realizar un doblado.
- En caso de atrapamiento, presionar el botón de parada automática, desconectar la alimentación eléctrica, la alimentación neumática y proceder a atender al damnificado.

5.1.9.2. Restricciones

El equipo de termoformado presenta las siguientes restricciones de diseño, las cuales deberán ser cumplidas.

- EL material base para la guarda es policarbonato de 10 mm de espesor.
- El largo máximo para realizar el doblado es de 1 m.
- Los ángulos interiores que el equipo será capaz de generar son de: 90°, 105°, 120°, 135°, 150°, 165°.
- El equipo no genera ángulos interiores menores a 90°.
- El sentido de los dobleces es envolvente.
- No se recomienda hacer dobleces en ambos sentidos, a menos que cumpla con las dimensiones.
- En caso de que el doblado sea una "U", el lado horizontal deberá ser de por lo menos 80 mm.
- No se recomienda el uso del equipo en guardas que puedan estar en contacto directo con alimentos o envases de alimentos.

Nota: en caso una de estas restricciones no sea cumplida, no se garantiza la operatividad del equipo.

5.1.10. Listado de materiales

El listado de materiales necesarios requeridos para la termoformadora.

Tabla 5.11. Listado de materiales

Item	Material	Cantidad	Unidad
1	Tubo cuadrado 2" x 2" x 2 mm	13	m
2	Angulo "L" 2"x 1/4"	2	m
3	Eje Ø 20 mm	1.3	m
4	Eje Ø 35 mm	0.5	m
5	Eje Ø 16 mm	0.1	m
6	Plancha Lisa 2 mm	1220 x 200	mm x mm
7	Plancha Lisa 3/16"	1240 x 350	mm x mm
8	Platina 1/4" x 4"	300 x 500	mm x mm
9	Bloque de Acero Inoxidable	1	Global
10	Bronce Grafitado Ø 1"	0.1	m
11	Pistón 150 mm - Ø40 / Ø 16	2	Unidades
12	Placa Basculante de pistón	2	Unidades
13	Cabeza de rotula	2	Unidades
14	Racores neumáticos	4	Unidades
15	Manguera neumática	6	m
16	Electroválvula 5/3 - 2 solenoides	2	Unidades
17	PLC 6ED1052-1MD00-0BA7 Siemens	1	Unidad
18	Módulo de Extensión	3	Unidades
19	Termocupla	4	Unidades
20	Módulo de Termocupla	1	Unidad
21	Sensor de fin de Carrera	2	Unidades
22	Fuente 220/24 v	1	Unidad
23	Cables para tablero	1	Global
24	Cables de fuerza	1	Global
25	Pernería	1	Global
26	Resistencia Calefactora	4	Unidades
27	Ladrillo Refractario	1	Global
28	Caja de paso para accesorios neumáticos	1	Unidad
29	Caja de control de componentes eléctricos	1	Unidad
30	Chumaceras UCP 207	2	Unidades

5.1.11. Costo del equipo

El costo de los materiales requeridos para la termoformadora:

Tabla 5.12. Costos de materiales

Ítem	Material	Cantidad	Unidad	C. U.	Total
1	Tubo cuadrado 2" x 2" x 2 mm	13	m	S/. 37.80	S/. 491.40
2	Angulo "L" 2"x 1/4"	2	m	S/. 26.46	S/. 52.92
3	Eje Ø 20 mm	1.3	m	S/. 67.79	S/. 88.12
4	Eje Ø 35 mm	0.5	m	S/. 158.36	S/. 79.18
5	Eje Ø 16 mm	0.1	m	S/. 55.30	S/. 5.53
6	Plancha lisa 2 mm	1.22 x 0.2	m x m	S/. 50.00	S/. 50.00
7	Plancha lisa 3/16"	1.24 x 0.35	m x m	S/. 110.00	S/. 110.00
8	Platina 1/4" x 4"	0.3 x 0.5	m x m	S/. 65.00	S/. 65.00
9	Bloque de acero inoxidable	1	Global	S/. 70.00	S/. 70.00
10	Bronce grafitado Ø 1"	0.1	m	S/. 30.00	S/. 3.00
11	Pistón 150 mm - Ø40 / Ø 16	2	Uds.	S/. 878.70	S/. 1,757.40
12	Placa basculante de pistón	2	Uds.	S/. 132.26	S/. 264.52
13	Cabeza de rotula	2	Uds.	S/. 10.00	S/. 20.00
14	Racores neumáticos	4	Uds.	S/. 10.00	S/. 40.00
15	Manguera neumática	6	m	S/. 5.00	S/. 30.00
16	Electroválvula 5/3 - 2 solenoides	2	Uds.	S/. 220.00	S/. 440.00
17	PLC 6ED1052-1MD00-0BA7 Siemens	1	Ud.	S/. 1,602.41	S/. 1,602.41
18	Módulo de expansión	1	Global	S/. 543.03	S/. 543.03
19	Termocupla tipo K	4	Uds.	S/. 50.00	S/. 200.00
20	Módulo de termocupla	1	Ud.	S/. 504.24	S/. 504.24
21	Sensor de fin de carrera	2	Uds.	S/. 14.45	S/. 28.91
22	Fuente 220/24 v	1	Ud.	S/. 756.03	S/. 756.03
23	Cables para tablero	1	Global	S/. 50.00	S/. 50.00
24	Cables de fuerza	1	Global	S/. 50.00	S/. 50.00
25	Pernería	1	Global	S/. 50.00	S/. 50.00
26	Resistencia calefactora	4	Uds.	S/. 312.00	S/. 1,248.00
27	Ladrillo refractario	1	Global	S/. 150.00	S/. 150.00
28	Caja paso accesorios neum.	1	Ud.	S/. 30.00	S/. 30.00
29	Caja control comp. eléctricos	1	Ud.	S/. 50.00	S/. 50.00
30	Chumaceras UCP 207	2	Uds.	S/. 52.54	S/. 105.08
Sub-total materiales					S/. 8,934.78

Tabla 5.13. Costos de mano de obra

Ítem	Especialista	H-H	Costo x hora	Costo
1	Mecánico	40	S/. 15.00	S/. 600.00
2	Soldador	20	S/. 20.00	S/. 400.00
3	Ayudante	40	S/. 8.00	S/. 320.00
4	Electricista	20	S/. 15.00	S/. 300.00
5	Automatista	20	S/. 23.00	S/. 460.00
			Sub total mano de obra	S/. 2,080.00

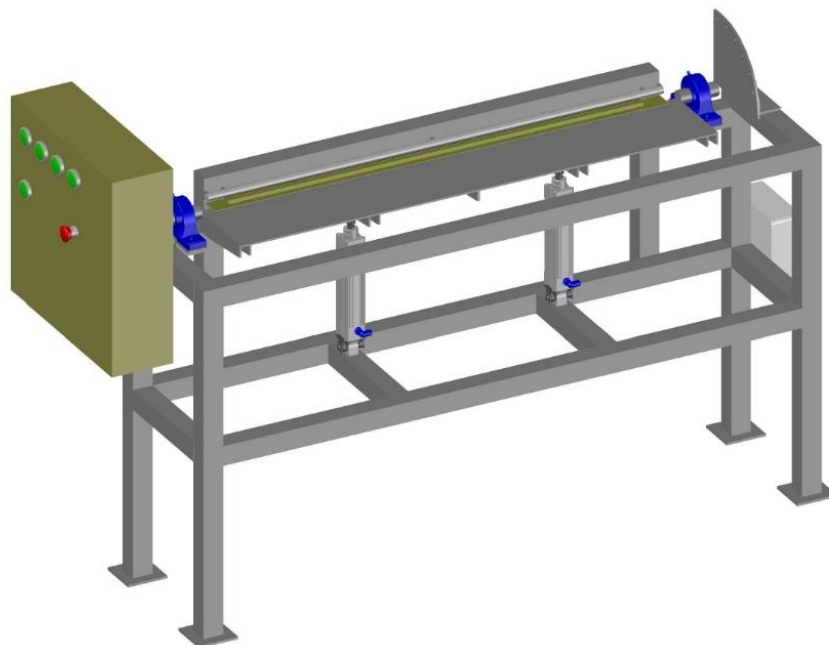
Tabla 5.14. Compilado de costos

Ítem	Concepto	Costo
1	Materiales	S/. 8,934.78
2	Mano de Obra	S/. 2,080.00
Total		S/. 11,014.78

5.1.12. Diseño final de la termoformadora

Luego de realizar los cálculos pertinentes, la termoformadora se definió de la siguiente manera (Ver planos en el Anexo H).

Figura 5.50. Diseño final de la termoformadora



5.1.13. Recopilación de resultados

- Las condiciones requeridas para realizar el proceso de termoformado sin afectar al policarbonato (generar burbujas en la superficie) son:
 - El Policarbonato debe alcanzar una temperatura interna de 190 °C.
 - La resistencia calefactora no debe generar una temperatura mayor a los 115 °C porque causa daños a la superficie del policarbonato.
- Debido a las condiciones de temperatura mencionadas anteriormente, el tiempo requerido para alcanzar la temperatura necesaria para una resistencia de Ø15 mm de 128 watts de potencia es de 4 minutos 27 segundos, mientras que para una resistencia de Ø 15 mm de 120 watts es de 4 minutos 44 segundos.
- El equipo de termoformado posee los siguientes sistemas:
 - Sistema calefactor
 - Resistencia calefactora de máximo 128 watts, 220v, diámetro de resistencia Ø 15 mm y longitud 250 mm.
 - Sistema de formado
 - Actuador neumático de 150 mm de carrera. Ø Émbolo 40 mm, Ø vástago 16 mm y presión de operación 6 bar.
 - Electroválvula 5/3 de 2 solenoides con retorno de resorte.
 - Caudal de aire requerido:
 - Caudal mínimo: 4.78 l/min.
 - Presión: 6 bar.
 - Estructura:
 - Material: Acero inoxidable AISI 304.
 - Chumaceras UCP 207.
 - Control:
 - PLC 6ED1052-1MD00-0BA7 Siemens.
 - Módulo de expansión.
 - Termocupla tipo K.
 - Módulo de termocupla.
 - Fuente 220/24 v.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

- Se diseñó un equipo de termoformado mediante la caracterización de componentes, selección de accesorios, parametrización de la alimentación neumática, cálculo y simulación de estructuras, capaz de realizar el proceso de termoformado, siendo el principal límite de control el sistema de calentamiento, ya que si este no se controla dañará a la materia prima sin lograr el proceso esperado.
- Según las pruebas realizadas sobre el policarbonato, se corroboró que la temperatura máxima de utilización (115 °C) no debe ser superada, ya que sobrepasada esta temperatura el policarbonato comienza a generar burbujas en su superficie generando así el descarte de la pieza, también se comprobó que es posible llevar al policarbonato a la temperatura de moldeo (180°C y 210°C) y permitiendo que se genere el doblado, el cual debe ser realizado de manera rápida puesto que el policarbonato se enfría con rapidez.
- Según las pruebas realizadas, observamos que uno de los factores determinantes para el proceso es la temperatura máxima de utilización, por lo que la resistencia calefactora al tener un límite de temperatura, esta puede entregar una potencia máxima calculada de 128 watts, y el tiempo necesario para realizar el calentamiento de la plancha mostrada es de 4 min 27 segundos y utilizando una resistencia de potencia de 120 watts, el tiempo es de 4 min 44 segundos.
- Siguiendo con la definición de Capella, se calculó los sistemas o partes del equipo de termoformado, obteniéndose las características de las resistencias a utilizar, la selección del actuador neumático y los parámetros de la alimentación de aire, se diseñó la estructura del equipo y se comprobó mediante el cálculo de resistencia de materiales y el software Autodesk Inventor, se diseñó la programación que debe tener el PLC para controlar el proceso.

6.2. Contratación de los resultados con otros estudios similares

6.2.1. Estudios internacionales

- Los autores Cadena y Salazar (2021) Diseño y construcción de una máquina de termoformado con compresión para la fabricación de cubrebocas, controlado mediante un sistema neumático, para la micro empresa tejidos Martínez” diseñaron un equipo de termoformado en el que a diferencia de otros, son los moldes los que alcanzan la temperatura de moldeo del material, mediante la conducción, esto se debe a que el producto debe ser sellado, lo que genera que el tiempo de calentamiento de los moldes sea de 28 min, y un proceso de sellado de menos de 10 segundos, calcularon también las características del sistema neumático en el cual se dotó de un compresor al equipo, para esta investigación no se utilizaron moldes para el termoformado debido a que no es recomendable poner en contacto el sistema de calentamiento con el policarbonato, y se requiere de una alimentación de aire externa de 6 bares de presión y un caudal bajo debido a que el proceso no es repetitivo.
- Para López y Lozano (2021) en “Diseño de una máquina termoformadora multifuncional didáctica para el laboratorio de procesos en la Fundación Universidad de América” el cálculo de las resistencias y tiempos de calentamiento se realizaron en base al PVC, pues era el que más calor requería, utilizando una resistencia cuya temperatura de operación es de 300 °C, el cual cuenta con un potenciómetro con el cual se puede regular la temperatura de salida, tomando como tiempo de calentamiento 60 segundos. En nuestra investigación tomamos valores fijos, exceptuando el tiempo, pues la temperatura de la resistencia es la que define el tiempo.
- Para Arbeláez Toro et al. (2019) en “Intervención tecnológica para la reconversión y automatización de una máquina termoformadora por vacío de una sola estación” los autores en su investigación, utilizaron resistencias de níquel cromo de 2000 watts de potencia y un controlador PLC para la automatización del proceso, no calcularon el tiempo requerido por el material ya que hicieron el equipo era apto para varios materiales y dependía de la ingeniería previa, la definición de parámetros tales como

temperatura superficial del material, tiempo de calentamiento y presión, en nuestro caso al utilizar un único material estos valores son fijos.

- Según Albán y Jiménez (2019) en “Construcción de un prototipo de termoformador matricial para la elaboración de vajilla desechable biodegradable en base a hojas de Achira. (Canna Indica L)” los autores utilizaron resistencias que generaban una temperatura promedio de 110 °C y el proceso de termoformado y prensado duró 5 min, debido a que se requería que el calentamiento de las láminas de Achira debía realizarse de manera gradual a fin de evitar que las láminas se quemaran, de manera similar a la investigación presentada, ya que se desea reducir el tiempo de calentamiento, esto requeriría una resistencia de mayor potencia y esta a su vez tendría una mayor temperatura superficial lo que generaría que se dañara el policarbonato.
- Según Forero, Santana y Leonardo (2018) en “Diseño de máquina termoformadora didáctica para el laboratorio de materiales de ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas” su investigación recurrió a un método similar para los cálculos térmicos, con la principal diferencia de que no se tomó en cuenta la temperatura de uso máximo, por lo que el tiempo requerido por el proceso de calentamiento, mientras que el presentado en esta investigación puede ser 4 minutos 27 segundos o de 4 minutos 44 segundos.

6.2.2. Estudios nacionales

- Los autores Chavarry y Mendoza (2021) en “Análisis estructural y térmico de una máquina termoformadora de botas de caucho de uso industrial para mejorar su rendimiento y disminuir su costo de operación”, en su análisis, mediante la recolección de datos y simulación en solidworks, comprobaron que la estructura presentaba un sobredimensionamiento y que los moldes donde se generaba el termoformado presentaban fallas en el diseño que generaba que el proceso demoras y generase un producto deficiente, en la investigación realizada se diseñó una estructura con altos niveles de factor de seguridad pero al no estar construida no se puede verificar si es posible reducir su sección, lo mismo aplica para el sistema de calentamiento.

- Para Cayo (2021) en “Análisis de la regulación nacional e internacional de Bisfenol A en plásticos de uso alimentario y su implicancia en la salud pública peruana”, la autora determinó que la legislación existente a nivel nacional no abarca todos los ámbitos de uso del policarbonato principalmente los que se encuentran en contacto con los alimentos, pese a que a nivel internacional y mundial si existen estas legislaciones, por lo que se tomó como referencia para las restricciones de uso del equipo, no recomendando su uso, ni el del policarbonato en guarda que tengan contacto directo con alimentos.
- Según Triveño Luque (2020) en “Diseño de una máquina extrusora de plástico para fabricación de pallets para la empresa envasadora Majes E.I.R.L.”, para garantizar la estabilidad y la aceptación de la estructura diseñara tomo como referencia a los autores McCormac y Csernak, que dicen en uno de sus apartados que la deformación máxima permisible en elementos mecánicos es de L/540, para la presente investigación se utilizó otro de ellos en el que eran más exigente siendo esta deformación de L/800, y siendo comprobada mediante la simulación en Autodesk Inventor.
- Según Porras (2018) en “Diseño de una máquina recicladora orientada a la producción de filamentos de plástico ABS para la impresión 3d en la PUCP”, el autor mediante la simulación de las estructuras y elementos de corte, determinó que los factores de seguridad eran superiores al 1.5, con lo que acepto los materiales y dimensiones, nuestra investigación determinó que el factor de seguridad de la estructura es mayor al 1.5, con lo que se acepta también el material.
- Para Ventura y Cotacallapa (2017) en “Estudio del proceso de termoformado de láminas de PVC”, los autores concluyeron que para conseguir un termoformado optimo, la variable de temperatura era la que debía ser controlada principalmente tomando como referencia la temperatura superficial máxima que puede alcanzar el material, en la investigación realizada se comprobó mediante las pruebas de quemado, por lo tanto, se caracterizó una resistencia óptima para el proceso.

VII. CONCLUSIONES

- Se diseñó un equipo de termoformado para la fabricación de guardas de policarbonato de 10 mm de espesor y de una longitud hasta un máximo de 1 metro de longitud, que cuenta con 04 resistencias eléctricas de 128 watts, 220 voltios, de temperatura superficial de 115°C, 15 mm de diámetro y 250 mm de largo, 02 actuadores neumáticos de 150 mm de carrera, 40 mm diámetro de émbolo, 16 mm de diámetro de vástago, estructura de acero inoxidable AISI 304, de tubo cuadrado de 2", de 1650 x 450 x 900 mm, alimentación neumática externa de 4.78 l/min y 6 bares, y un PLC 6ED1052-1MD00-0BA7, con sus respectivos módulos de expansión de señales analógicas y digitales, sensores de posición, sensores de temperatura tipo K y sus respectivos módulos para acoplamiento al PLC.
- Las condiciones necesarias para el termoformado es una temperatura de 115 °C, la cual representa el límite máximo de temperatura que el policarbonato no puede alcanzar en su superficie, y el policarbonato debe alcanzar una temperatura de 190°C para alcanzar su estado de deformación. Si no se cumplen con estas temperaturas, el policarbonato presentará burbujas en su superficie y no se conseguirá realizar el doblez requerido respectivamente.
- Debido a que la temperatura máxima de uso continuo para el policarbonato (115 °C) es un limitante para el proceso, la potencia generada por una resistencia de Ø 15 mm y 250 mm de largo es de 128 Watts y requiere de 4 minutos 27 segundos para calentar el área de afectación, y para una de 120 watts de potencia requiere de 4 minutos 44 segundos.
- El equipo cuenta con los siguientes sistemas y componentes:
 - Sistema calefactor compuesto de 04 resistencias de 128 watts de potencia, Ø 15 mm y 250 mm largo.
 - Sistema neumático compuesto por 02 actuadores neumáticos de 150 mm de carrera, Ø 40 mm de embolo y Ø 16 mm diámetro, 02 electroválvula 5/3 y alimentación de 4.78 L/min y 6 bares.

- Estructura de acero inoxidable AISI 304 de medidas generales 1650 x 450 x 900 mm.
- Sistema de control compuesto de PLC 6ED1052-1MD00-0BA7 Siemens, sensores de temperatura, sensores de final de carrera y módulos adicionales para PLC.

VIII. RECOMENDACIONES

- Para la implementación del equipo se recomienda realizar pruebas con una resistencia acorde a lo calculado y/o un regulador de voltaje para el control de potencia, debido a que el tiempo puede variar dependiendo las características de las mismas.
- Se recomienda adicionar un controlador PID para el control de la temperatura de la resistencia para procesos repetitivos y prolongados.
- Se recomienda diseñar un sistema de control variable para que este equipo amplie su uso a otros materiales y espesores.
- Para una futura investigación se recomienda construir el equipo y verificar si los elementos que componen la estructura requieren de algún refuerzo o aumento de sección, ya que en la realidad pueden tomarse medidas reales de la deformación generada.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEROS Y SISTEMAS HIDRÁULICOS DE MÉXICO S.A., 2019. Símbolos para el diagrama de fuerza fluída. [en línea]. [Consulta: 21 mayo 2022]. Disponible en: <http://www.ashm.mx/blog/simbolos-graficos-para-diagramas-de-fuerza-fluida-2/>.
- ALBÁN RUIZ, Diana Alejandra y JIMÉNEZ SANTANA, Alfredo José. 2019. *Construcción de un prototipo de termo formado matricial para la elaboración de vajilla desechable biodegradable en base a hojas de achira (Canna Indica L.)* [en línea]. Tesis [Titulación]. Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi. [Fecha de consulta: 8 de julio 2022] Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/5905>.
- ARBELÁEZ TORO, J.J. et al. 2019. Intervención tecnológica para la reconversión y automatización de una máquina termoformadora por vacío de una sola estación. *Revista EIA*, Julio-Diciembre, **16** (32), 181-194. [Fecha de Consulta: 14 de mayo 2022]. ISSN: 1794-1237. DOI <https://doi.org/10.24050/reia.v16i32.1197>.
- ARTEPLÁSTICA - A, [sin fecha]. *Polycarbonato Compacto Datasheet*. [en línea]. [Fecha de consulta: 05 de junio 2022]. Disponible en: <https://arteplastica.es/polycarbotano-compacto/>.
- ARTEPLÁSTICA - B, [sin fecha]. *Metacrilato colada*. [en línea]. [Fecha de consulta: 05 de junio 2022]. Disponible en: <https://arteplastica.es/metacrilato-de-colada/>.
- ARTEPLÁSTICA - C, [sin fecha]. *PET*. [en línea]. [Fecha de consulta: 05 de junio 2022]. Disponible en: <https://arteplastica.es/pet-2/>.
- ARTEPLÁSTICA - D, [sin fecha]. *PETG*. [en línea]. [Fecha de consulta: 05 de junio 2022]. Disponible en: <https://arteplastica.es/petg/>.
- BECERRA ELEJALDE, L.L., 2022. Accidentes laborales costaron \$2 billones en 2021 a las empresas [en línea]. *Portafolio*. 24 marzo 2022. [Fecha de consulta: 8 julio 2022]. Disponible en: <https://www.portafolio.co/economia/empleo/accidentes-laborales-en-colombia-durante-2021-cuantos-fueron-y-cuanto-costaron-563246>.
- BEDFORD, A. y FOWLER, W., 2008. *Mecánica para ingeniería Estática*. 5ta

- edición. México: Pearson Education .633 pp. ISBN: 9789702612155.
- BERKEL, [sin fecha]. *Informe técnico policarbonato compacto*. [en línea] [Fecha de consulta: 25 de junio 2022]. Disponible en:
http://www.berkel.com.br/download/pdf/es/boletim_policarbonato_compactas.pdf
- BUENO, A., 2011. *Unidad Didáctica: «Simbología Neumática e Hidráulica»* [en línea]. [Fecha de consulta: 14 de mayo 2022]. Disponible en:
http://www.portaleso.com/neumatica/ud_simbologia_neu.pdf.
- CADENA VITERI, Erick Nicolás y SALAZAR MARTÍNEZ, Kevin Daniel, 2021. *Diseño y construcción de una máquina de termoformado por compresión para la fabricación de cubrebocas, controlado mediante un sistema neumático, para la micro empresa tejidos Martínez* [en línea]. Tesis [Titulación] Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas. [Fecha de consulta 14 de mayo 2022] Disponible en:
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/24002>.
- CAPELLA, F., 1996. *Termoformado: Procedimiento, Maquinaria y Materiales*. [en línea] [Fecha de consulta: 21 de mayo 2022] Disponible en:
<https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/3765-Termoformado-Procedimiento-maquinaria-y-materiales.html>.
- CAYO MORALES, Sheyla Lucía, 2021. *Análisis de la regulación nacional e internacional de Bisfenol A en plásticos de uso alimentario y su implicancia en la salud pública peruana* [en línea]. Tesis [Titulación] Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos [Fecha de consulta: 8 de julio 2022]. Disponible en:
<https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/17415>.
- CEBRIÁN ANGULO, J.L., 2020. Accidentabilidad laboral en España: estudio de la importancia de los accidentes de trabajo con baja en dedos y manos. *Revista Formación de seguridad laboral* [en línea], Mayo-Junio (171), 53-55 [Fecha de consulta: 8 de julio 2022]. Disponible en:
https://www.seguridad-laboral.es/especiales-prl/proteccion-de-manos/accidentabilidad-laboral-en-espana-estudio-de-la-importancia-de-los-accidentes-de-trabajo-con-baja-en-dedos-y-manos_20200706.html.
- CENGEL, Y.A. y GHAJAR, A.J., 2011. *Transferencia de Calor y Masa* [en

- línea]. *4^{ta} edición*. México: McGraw Hill Educación [Fecha de consulta: 7 de mayo 2022]. ISBN 978-607-15-0540-8. Disponible en: <https://itscv.edu.ec/wp-content/uploads/2019/06/Transferencia-de-calor-y-masa.-Fundamentos-y-aplicaciones-Cuarta-Edición.pdf>.
- CHAVARRY SUSANIBAR, Christian y MENDOZA MORALES, Hever Luisa, 2021. *Análisis estructural y térmico de una máquina termoformadora de botas de caucho de uso industrial para mejorar su rendimiento y disminuir su costo de operación*. [en línea]. Tesis [Titulación] Trujillo: Universidad César Vallejo. [Fecha de consulta: 8 de julio 202]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/76318>.
- DE ARCO BACCA, Alfonso, RAMÍREZ LASSO, Eduardo y SERRANO DÍAZ, Raúl Felipe, 2009. *Caracterización de las propiedades mecánicas según la influencia de los elementos externos al policarbonato en discos compactos recuperados* [en línea]. Tesis [Titulación]. Cali: Universidad Autónoma de Occidente. [Fecha de consulta: 14 de mayo 2022]. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/handle/10614/6116>.
- ELGEGREN, M., TIRAVANTI, G.J., ORTIZ, B.A., OTERO, M.E., WAGNER, F., CERRÓN, D.A. y NAKAMATSU, J., 2012. *Chemical Recycling of plastic wastes*. *Revista de la Sociedad Química del Perú* [en línea]. Abril-Junio **78**(2), 105-119 [Fecha de consulta: 14 de mayo 2022]. ISSN: 1810-634X Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2012000200005&lng=es&nrm=is&tlng=es.
- ESPINOZA CORREA, Moisés, 2015. *Aplicación del método QFD para el diseño de un envase de geometría especial en el proceso de termoformado* [en línea] Tesis [Tesis de doctorado]. Logroño: Universidad de la Rioja. [Fecha de consulta: 14 de mayo 2022]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=46765>.
- ESPINOZA MONTES, C., 2014. *Metodología de investigación Tecnológica* [en línea]. 2da edición. Huancayo: Ciro Espinoza Montes. ISBN 978-612-00-1667-1. Disponible en: <https://docplayer.es/62603218-Metodologia-de-investigacion-tecnologica.html>.
- FERNÁNDEZ, O., 2017. *Que es un PLC SIEMENS logo*. [en línea] [Fecha de

- consulta: 14 de mayo 20220]. Disponible en:
<http://codigoelectronica.com/blog/que-es-un-plc-siemens-logo>.
- FILAMENT2PRINT, 2019. ¿Qué es el PETG? [en línea] [Fecha de consulta: 27 mayo 2022]. Disponible en:
https://filament2print.com/es/blog/49_petg.html.
- FORERO LÓPEZ, Daniel Ferney, SANTANA ACERO, Daniel Enrique y LEONARDO PIRACUN, Hugo, 2018. *Diseño de una máquina termoformadora didáctica para el laboratorio de materiales de ingeniería de la universidad distrital Francisco José de Caldas* [en línea]. Tesis [Tesis de titulación]. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. [Fecha de Consulta: 07 de mayo 2022]. Disponible en:
<https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/13586>.
- GERE, J.M. y GOODNO, B.J., 2009. *Mecánica de materiales* [en línea]. 7ma edición. México: Cengage Learning [Fecha de consulta: 14 de junio 2022]. ISBN: 978-607-481-315-9. Disponible en: <https://pdfcoffee.com/mecanica-de-materiales-7ma-edicion-james-m-gere-3-pdf-free.html>.
- HACHI QUINTANA, José Gabriel y RODRÍGUEZ MEJÍA, Juan Diego, 2010. *Estudio de Factibilidad para reciclar envases plásticos de Polietileno Tereftalato(PET), en la Ciudad de Guayaquil* [en línea] Tesis [Tesis de Titulación]. Guayaquil: Universidad Politecnica Salesiana. [Fecha de consulta: 25 de junio 2022] Disponible en:
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2450>.
- HAYES, B.E., 1999. *Como medir la satisfacción del cliente* [en línea]. 2da. Edición. S.I.: Alfaomega Grupo Editor. ISBN 9701512154. Disponible en:
<https://qdoc.tips/como-medir-la-satisfaccion-del-cliente-pdf-free.html>.
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ COLLADO, C. y BAPTISTA LUCIO, P., 2014. *Metodología de la investigación*. 6ta edición. México: McGraw-Hill Education. 632 pp. ISBN 9781456223960.
- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO, 2000. *Protección de máquinas frente a peligros mecánicos : resguardos*. NTP 552. Madrid: INSHT. [en línea]. Disponible en:
https://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp_552.pdf/44c27530-8c15-4e2f-b91d-9293c0326ac4.

- INTERWALL S.A.C. - A, [sin fecha]. *Policarbonato Alveolar - Celular Bayer Multi UV*. [en línea] [Fecha de consulta: 27 mayo 2022]. Disponible en: <http://www.interwall.pe/node/239>.
- INTERWALL S.A.C. - B, [sin fecha]. *Policarbonato Sólido Plazacarb*. [en línea]. [Fecha de consulta: 27 mayo 2022]. Disponible en: <http://www.interwall.pe/productos/policarbonato-solido-plazcarb>.
- LÓPEZ MORENO, Carlos, CARRIÓN VILCHES, Francisco y ESPEJO CONESA, Cayetano, 2014. *Estudio de nuevos Films de PMMA modificados con líquido iónico* [en línea]. Tesis [Tesis de titulación]. Guayaquil: Universidad Politécnica de Cartagena [Fecha de consulta: 25 de junio 2022]. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/handle/10317/4390>.
- LÓPEZ RODRÍGUEZ, Juan Sebastián y LOZANO BUITRAGO, Edwin Alexander, 2021. *Diseño de una máquina de termoformado multifuncional didáctica para el laboratorio de procesos en la Fundación Universidad de América* [en línea]. Tesis [Tesis de titulación]. Bogotá: Fundación Universidad de América [Tesis de titulación: 8 de julio 2022]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8611>.
- LÓPEZ SERRANO RAMOS, F., MENDIZÁBAL MIJARES, E. y ORTEGA GUDIÑO, P., 2015. *Introducción a la ciencia de los polímeros* [en línea]. México: Universidad de Guadalajara [Fecha de consulta: 12 de junio 2022]. ISBN: 978-607-742-418-5. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/286457627_Introduccion_a_la_ciencia_de_los_polimeros.
- MCCORMAC, J.C. y SCERNAK, S.F., 2012. *Diseño de estructuras de acero* [en línea]. 5 ed. México: Alfaomega Grupo Editor S.A. [Fecha de consulta: 24 de junio 2022]. ISBN: 978-607-707-559-2. Disponible en: https://www.academia.edu/28111116/Diseño_de_Estructuras_De_Acero_McCormac_5ta_Ed_pdf.
- MINISTERIO DEL TRABAJO, 2022. Notificaciones de accidentes de trabajo, incidentes peligrosos y enfermedades ocupacionales. [en línea] [Fecha de consulta: 07 de mayo 2022]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/mtpe/informes-publicaciones/2829503->

notificaciones-de-accidentes-de-trabajo-incidentes-peligrosos-y-enfermedades-ocupacionales-enero-2022.

- PAHL, G., BEITZ, W., FELDHUSEN, J. y GROTE, K.-H., 2007. *Engineering Design A Systematic Approach* [en línea]. 3rd ed. Londres: Springer [Fecha de consulta: 25 de agosto 2022]. ISBN 978-1-84628-319-2. Disponible en: https://www.academia.edu/22269444/Engineering_Design_Springer_2007_1846283183.
- PAZ, María, 2016. *Reciclado de PET a partir de botellas post consumo* [en línea]. Tesis [Tesis de titulación]. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba [Fecha de consulta: 25 de junio 2022]. Disponible en: <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/5567>.
- PLASKOLITE, [sin fecha]. Láminas de policarbonato TUFFAK Guía de fabricación / Manual Técnico. [en línea] [Fecha de consulta: 20 de junio 2022] Disponible en: <https://plastitec.mx/laminas-policarbonato.html>.
- PLÁSTICOS DE INGENIERÍA S.A.C., [sin fecha]. Policarbonato plástico para uso general. [en línea] [Consulta: 7 mayo 2022]. Disponible en: http://www.pisac.pe/pisac_nw/productos/plasticos-para-uso-general/policarbonato/.
- PLASTIGLAS DE MÉXICO, 2009. Manual Técnico: Termoformado. [en línea] [Fecha de consulta: 14 de mayo 2022]. Disponible en: http://www.plastiglas.com.mx/images/content/PLASTIGLAS_INST/uploads/1167953021504Termoformado.pdf.
- PORRAS SOLORZANO, Jean Peare, 2018. *Diseño de una máquina recicladora orientada a la producción de filamentos de plásticos ABS para la impresión 3d en la PUCP* [en línea]. Tesis [Tesis de titulación]. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú [Fecha de consulta: 07 de mayo 2022]. Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13008>.
- QUISPE BALCÁZAR, Ricardo Erick y SARAVIA JURADO, Carlos Alain, 2020. *Desarrollo de un controlador de temperatura para un molde de inyección con sistema de canal caliente empleando lógica difusa* [en línea]. Tesis [Tesis de titulación]. Lima: Universidad Privada de Ciencias Aplicadas [Fecha de consulta: 20 de mayo 2022]. Disponible en:

- <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/652351>.
- ROMO MENDOZA, Liliana Elizabeth, 2008. *Síntesis de nanopartículas de NiO y su incorporación en una matriz de PMMA* [en línea]. Tesis [Tesis de maestría]. Coahuila: Centro de Investigación en Química Aplicada [Fecha de consulta: 20 de junio 2022]. Disponible en:
<https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/63>.
- SORIA TELLO, Saturnino, 2013. *Sistemas Automáticos Industriales de Eventos Discretos*. México: Alfaomega Grupo Editor. ISBN 978-607-707-590-5.
- TACO CAHUANA, Enma Frine, 2015. *Optimización del proceso de termoformado aplicando diseño de experimentos* [en línea]. Tesis [Tesis de titulación]. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín [Fecha de consulta: 14 de mayo 2022]. Disponible en:
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/70>.
- TRIVEÑO LUQUE, Andre Mateo, 2020. *Diseño de una máquina extrusora de plástico para fabricación de pallets para la empresa envasadora Majes E.I.R.L.* [en línea]. Tesis [Tesis de titulación]. Arequipa: Universidad de Santa María [Fecha de consulta: 07 de mayo 2022]. Disponible en:
<http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/10315>.
- UPIITA, 2011. *Cálculos en actuadores neumáticos* [en línea] [Fecha de consulta: 24 de junio 2022]. Disponible en:
<https://neumaticahidraulica.files.wordpress.com/2011/02/sesion-5.pdf>.
- VENTURA VILCA, Wilar y COTACALLAPA CÁCERES, Hector Danny, 2017. *Estudio del proceso de termoformado en láminas de PVC* [en línea]. Tesis [Tesis de Titulación]. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa [Fecha de consulta: 7 de mayo 2022]. Disponible en:
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10840>.

X. ANEXOS

ANEXO A. Matriz de consistencia

DISEÑO DE UNA TERMOFORMADORA BIDIMENSIONAL PARA LA FABRICACIÓN DE GUARDAS DE POLICARBONATO DE HASTA 1 METRO DE LONGITUD APLICADO PARA LA INDUSTRIA METALMECÁNICA 2022

Tabla 10.1. Matriz de consistencia

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología	Técnicas e Instrumentos
P.G.: ¿Cómo se diseña una termoformadora bidimensional para fabricar guardas de policarbonato de hasta 1 metro de largo?	O.G.: Diseñar una termoformadora bidimensional para fabricar guardas de policarbonato de 1 metro de largo.	H.G.: Si se diseña una termoformadora bidimensional fabricaremos guardas de policarbonato de 1 metro de largo.		Sistema de calentamiento	Resistencia Calefactora	Diseño metodológico: - Enfoque Reduccionista - Tipo Básico - Nivel Descriptivo - Diseño Descriptivo simple	Técnicas: - Técnica documental - Técnica empírica Instrumentos de Recolección de Datos: - Fichas técnicas - Multímetro - Amperímetro - Termómetro infrarrojo
P.E.1: ¿Cuáles son las condiciones a las que debe estar sometido el policarbonato para que se realice el proceso de termoformado y no pierda sus propiedades?	O.E.1: Determinar las condiciones a las que debe estar sometido el policarbonato para que se realice el termoformado sin perder sus propiedades.	H.E.1: Si determinamos las condiciones a las que el policarbonato debe estar sometido realizaremos el termoformado sin perder sus propiedades.	V.I.: Termoformadora Bidimensional	Sistema de Control	Tiempo de calentamiento		
P.E.2: ¿Qué tiempo se requiere para lograr el proceso de termoformado sin perder propiedades?	O.E.2: Determinar el tiempo requerido para el proceso de termoformado sin perder sus propiedades.	H.E.2: Si determinamos el tiempo necesario para el proceso realizaremos el termoformado sin perder propiedades.		Mecanismos de formado	Actuador Neumático	Método de investigación: - Método sistémico	
P.E.3: ¿Qué sistemas y componentes son necesarios para el proceso de termoformado bidimensional de policarbonato?	O.E.3: Determinar los sistemas y componentes necesarios para el proceso de termoformado bidimensional de policarbonato.	H.E.3: Si determinamos los sistemas y componentes necesarios realizaremos el proceso de termoformado bidimensional de policarbonato.	V.D.: Proceso de Fabricación de Guardas	Procedimientos de operación	Restricciones de diseño Procedimiento	Población y muestra: Equipo de Termoformado	

ANEXO B. Certificados de instrumentos de medición

UNI-T

Calibration Certificate

Product Code: Description:

UT33B+

Personnel Tester

Serial Number:

- Threshold settings prior to calibration:

This is a new calibration there are no previous calibration values.

- Calibration of this instrument is hereby certified to be within the published specification as shown below:

Function	Input Adjust	Reading Range
DCV	190.0mV	188.7↔191.3mV
ACV	190.0V	187.9↔192.1V
DCA	190.0uA	188.3↔191.7uA
Ω	190.0Ω	188.3↔191.7Ω
BATT	9.00V	8.79↔9.21V

- The instrument is calibrated against standards traceable to CE standards.

- Details of reference equipment used:

Calibration FLUKE 5522A Serial Number: 8965014

- Certificate of reference equipment:

Issue Date: Certificate Number: 201231001

Equipment Control Number:

CTS/T/5522A/001

Date:

02/Sep/2020

Signed:

Name: *Beata Yin*
Title: Quality Supervisor

ESPECIFICACIONES GENERALES

Klein Tools CL 220 es un multímetro digital de gancho de rango automático con media cuadrática real (TRMS) que mide corriente CA con las pinzas, mide voltaje CA/CD, resistencia y continuidad con cables de prueba, y mide temperatura con una sonda de termopar.

- **Altidud de funcionamiento:** 6582" (2000 m)
- **Humedad relativa:** < 95 %, sin condensación
- **Temperatura de funcionamiento:** 32 ° a 122 °F (0 ° a 50 °C)
- **Temperatura de almacenamiento:** 14 ° a 122 °F (-10 ° a 50 °C)
- **Precisión:** valores establecidos según una temperatura ambiente de 65 a 83 °F (18 a 28 °C)
- **Coefficiente de temperatura:** 0,1 % (precisión indicada) por cada °C por encima de los 28 °C o por debajo de los 18 °C, es necesario realizar correcciones si la temperatura del ambiente de trabajo se encuentra fuera del rango de precisión de temperatura
- **Dimensiones:** 8,46" x 3,54" x 1,50" (215 x 90 x 38 mm)
- **Peso:** 11.04 oz (313 g) incluidas las baterías
- **Calibración:** precisa durante un año
- **Función de apagado automático (APO):** después de aproximadamente 10 minutos de inactividad
- **Normas:** IEC EN 61010-1, 61010-2-032, 61010-2-033, IEC EN 61326-1, 61326-2-2
Cumple con las normas UL STD. 61010-1, 61010-2-032, 61010-2-033.
Certificado según las normas CSA STD. C22.2 n° 61010-1, 61010-2-032, 61010-2-033.
- **Grado de contaminación:** 2
- **Precisión:** ± (% de lectura + cantidad de dígitos menos significativos)
- **Protección ante caídas:** 6.5' (2 m)
- **Clasificación de seguridad:** CAT III 600 V, clase 2, doble aislamiento
- **Entorno electromagnético:** IEC EN 61326-1. Este equipo cumple con los requisitos para su uso en entornos electromagnéticos básicos y controlados, como propiedades residenciales, establecimientos comerciales e instalaciones de industria ligera.

Especificaciones sujetas a cambios.

ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS

Función	Rango	Resolución	Precisión
Voltaje CA (V CA)	200.0 mV	0.1 mV	± (2,5 % + 10 dígitos)
	2.000 V	1 mV	
	20.00 V	10 mV	
	200.0 V	100 mV	
	600 V	1 V	
Voltaje CD (V CD)	200.0 mV	0.1 mV	± (1,0 % + 8 dígitos)
	2.000 V	1 mV	
	20.00 V	10 mV	
	200.0 V	100 mV	± (1,0 % + 3 dígitos)
	600 V	1 V	

Impedancia de entrada: 10 MΩ
Rango de frecuencia: 45 a 400 Hz
Entrada máxima: 600 V CA RMS o 600 V CD

Corriente CA (A CA)	Rango	Resolución	Precisión
Corriente CA (A CA)	2.000 A	1 mA	± (2,5 % + 30 dígitos)
	20.00 A	10 mA	
	200.0 A	100 mA	± (2,0 % + 10 dígitos)
	400 A	1 A	

Rango de frecuencia: 50 a 60 Hz

Resistencia	Rango	Resolución	Precisión
Resistencia	200.0 Ω	0.1 Ω	± (1,2 % + 5 dígitos)
	2.000 kΩ	1 Ω	
	20.00 kΩ	10 Ω	
	200.0 kΩ	100 Ω	± (1,2 % + 3 dígitos)
	2.000 MΩ	1 kΩ	
	20.00 MΩ	10 kΩ	± (2,0 % + 5 dígitos)

Entrada máxima: 600 V CA RMS o 600 V CD

Temperatura °F	Rango	Resolución	Precisión
Temperatura °F	-40 a 10 °F	1 °F	± (1,2 % + 7 dígitos)
	11 a 1832 °F	1 °F	± (1,2 % + 6 dígitos)
	-40 a -12 °C	1 °C	± (1,2 % + 4 dígitos)
Temperatura °C	-11 a -1000 °C	1 °C	± (1,2 % + 3 dígitos)

OTRAS APLICACIONES DE MEDICIÓN

Entrada máxima: 600 V CA RMS o 600 V CD

- **Verificación de continuidad:** señal audible < 10 Ω, 1,5 mA de corriente máxima
- **Frecuencia de muestreo:** 3 muestros por segundo
- **Sobrecarga:** se indica "OL" en la pantalla
- **Polaridad:** "-" en pantalla indica polaridad negativa
- **Pantalla:** LCD de 3 ½ dígitos con recuento de 2000



BOSCH

Manufacturer Certificate

Product: GIS 500 Professional
Part no: 0.601.083.4G0
Serial no: 028000419
Inspection date: 028

We hereby certify that the product described above has been tested before shipment and complies with the specifications as stated in the operating instructions. The test equipment used is traceable to national standards or to recognized procedures. This is established by our Quality Management System in accordance to ISO 9001.

M. Merchant *J. Eckstein*

Martin Merchant
Vice President
Business Unit Measuring Tools

Jörg Eckstein
Vice President
Manufacturing Measuring Tools

Robert Bosch Power Tools GmbH
70538 Stuttgart · GERMANY

Robert Bosch Tool Corporation
1800 Central Rd. · Mount Prospect · Illinois 60056 · USA

6 062 943 5 001



ANEXO C. Certificado de policarbonato

GuangZhou Ning E-Plastic co.LTD

Address:Rm.136,Lin he zhong Rd.TianHe,GZ,China
 Whatsapp:0086-15920476903 Mobil:0086-15920476903
 e-mail:ye@ningeplastics.com skype:0086-15920476903

item	test method	unit	PC
color			transparent
porportion	1183	g/cm ³	1.2
heat endurance(continuous)		°C	125
heat endurance(short-term)		°C	135
melting point		°C	
glass transition temperature		°C	150
coefficient of linear thermal expansion(23--100°C average value)		m/(m.k)	65×10-6
—(23-150°C average value)		m/(m.k)	85×10-6
combustibility(UL94)	4589		HB
water absorption(in 23°C water for 24hours)	62	%	0.18
negative(suck in 23°C water)	62	%	0.35
bending tensile stress/tensile stress of broken	527	MPa	70/-
breaking tensile strain	527	%	>50
tensilbe modulus of elasticity	527	MPa	2400
negative 1%/2%compressive stress of nomal strain	604	MPa	18/35
pendulum impact test	179/1eU	kJ/m ²	9
friction coefficient			0.55
luo's hardness	2039-1	-	M75
resistance strength	60243	kv/mm	28
volume resistance	(60093)	Ω×cm	1015
surface resistance	(60093)	Ω	1015
relative permittivity-100Hz/1MHz	(60250)	-	3/3
arc path index(CTI)	(60112)	-	600
bonding property			+
food contact			+
acid resistance			+
alkali resistance			-
carbonated water resistance property			
aromatic compounds of aromatic compounds			
resistance to ketones			
item	test	unit	PC

remarks:+ and 0 mean depending on situation.- is not.

ANEXO D. Reporte de ensayo



CADE MOTORS'S
De: César SENSISE Sáenz
Instalación, mantenimiento y reparación de Grupos Eléctrogénicos,
Motores Diesel, electrobombas, motobombas, sistemas
contra incendios y de petróleo, tableros de transferencia
R.L.C.: 10257473886
Movistar: 995-096-477 // R.P.M.: *16368
RPC: 955-737-673 // Eniel: 946-293-025
cesarsensise@hotmail.com // cesarsensisesaenz@gmail.com
cesarsensise@iclvod.com



Perkins
JOHN DEERE
DSE
cesarsensise@hotmail.com // cesarsensisesaenz@gmail.com
cesarsensise@iclvod.com

INFORME N° 918-22

PRUEBAS DE DOBLADO DE POLICARBONATO

1. **Objetivo**
Demostrar que una resistencia calefactora es capaz de suministrar suficiente calor a las probetas de policarbonato.

2. **Lugar y fecha de ejecución de las pruebas**

Fecha: Domingo 26 de junio del 2022

Lugar: Jr. Francisco Bolognesi 333 – Urb. Playa Rimac – Callao

3. Consideraciones

- La resistencia calefactora tiene una potencia nominal de 2000 W
- No se cuenta con un regulador de voltaje o corriente
- La alimentación de voltaje es de 220 voltios
- Las probetas son de 10 mm de espesor

4. Procedimiento

4.1. Se realizaron las mediciones de voltaje y amperaje de operación de la resistencia



Voltaje = 215 V

Corriente = 7.47 A

Potencia = 215 • 7.47 = 1606.05



4.2. Pruebas de quemado. Se colocó la pieza de policarbonato sobre la resistencia hasta la aparición de las burbujas en su superficie.



Tabla de Resultados pruebas de quemado

Prueba	Tiempo hasta la falla	Temperatura superficial en la falla
1	35 segundos	130.2 °C
2	30 segundos	132.2 °C
3	40 segundos	135.8 °C

4.3. Pruebas de doblado

Para realizar un mejor calentamiento de la muestra, no quemarla tan rápidamente y por ende no arriesgar al personal que está ejecutando las pruebas, se colocó 2 listones cuadrados de madera de 50 mm de lado y se colocó la muestra encima.

Debido a que no se posee un regulador de voltaje para regular la potencia, se dejó que las muestras sobrepasen su temperatura máxima de uso (evidenciado en la presencia de burbujas en la superficie) para garantizar el doblado.

- Prueba 1

Longitud: 1.65 mm.

Tiempo: 3 min 18 seg

Fotografía	Descripción
	Proceso de calentamiento
	Perfil de la muestra después de calentamiento





CADE MOTORS

De: César SENISSE Sáenz
Instalación, mantenimiento y reparación de Grupos Electroógenos,
Motores Diesel, electrobombas, motobombas, sistemas
contraincendios y de petróleo, tableros de transferencia
R.U.C.: 10257473886

Móvil: 995-099-477 // R.P.M.: 516368
RPC: 956-737-673 // Email: cesarsenisse@gmail.com

cesarsenisse@hotmail.com // cesarsenisse@cltfood.com
cesarsenisse@cltfood.com



JOHN DEERE



CADE MOTORS

De: César SENISSE Sáenz
Instalación, mantenimiento y reparación de Grupos Electroógenos,
Motores Diesel, electrobombas, motobombas, sistemas
contraincendios y de petróleo, tableros de transferencia
R.U.C.: 10257473886

Móvil: 995-099-477 // R.P.M.: 516368
RPC: 956-737-673 // Email: cesarsenisse@gmail.com

cesarsenisse@hotmail.com // cesarsenisse@cltfood.com
cesarsenisse@cltfood.com



JOHN DEERE



	Comparación de muestra vs muestra control
	Placa de calentada

Observaciones:

- Presencia de burbujas en la superficie
- Doblez generado sin mucha pendiente.

- Prueba 2

Longitud: 165 mm

Tiempo: 2 min 20 seg

	Descripción Proceso de calentamiento
	Perfil de la muestra después de calentamiento
	Comparación de muestra vs muestra control
	Placa de calentada

Observaciones:

- Baja presencia de burbujas en la superficie
- Poco doblez por poco calentamiento de la placa.

	Comparación de muestra vs muestra control
	Placa de calentada

Observaciones:

- Presencia de burbujas en la superficie
- Doblez generado sin mucha pendiente.

- Prueba 2

Longitud: 165 mm

Tiempo: 2 min 20 seg

	Descripción Proceso de calentamiento
	Perfil de la muestra después de calentamiento
	Comparación de muestra vs muestra control
	Placa de calentada

Observaciones:

- Baja presencia de burbujas en la superficie
- Poco doblez por poco calentamiento de la placa.





CADE MOTORS'S
De César SEMSSE Sáenz
Instalación, mantenimiento y reparación de Grupos Electrógenos,
Motores Diesel, electrobombas, inyectores, sistemas
contraincendios y de perdidos, aisleros de transferencia
R.U.C.: 10257473886
Movistar: 995-096-4777 // R.P.M.: 516368
RPC: 955-737-673 // Email: cesarsenisse@gmail.com
cesarsenisse@hotmail.com // cesarsenisse@cluod.com



CADE MOTORS'S
De César SEMSSE Sáenz
Instalación, mantenimiento y reparación de Grupos Electrógenos,
Motores Diesel, electrobombas, inyectores, sistemas
contraincendios y de perdidos, aisleros de transferencia
R.U.C.: 10257473886
Movistar: 995-096-4777 // R.P.M.: 516368
RPC: 955-737-673 // Email: cesarsenisse@gmail.com
cesarsenisse@hotmail.com // cesarsenisse@cluod.com



	Comparación de muestra vs muestra control
	Placa de calentada

Observaciones:

- Presencia de burbujas en la superficie
- Doblez generado sin mucha pendiente

- Prueba 5

Longitud: 63 mm

Tiempo: 4 min (2 min por lado)

	Descripción Proceso de calentamiento
	Perfil de la muestra después de calentamiento

Observaciones:

- Presencia de burbujas en la superficie en una de las superficies
- Doblez generado con pendiente pronunciada

5. Conclusiones

- La resistencia probada si genera el doblez en el policarbonato
- La resistencia por sus propias características no logra alcanzar una temperatura de estabilidad térmica, por ende se requirió de alejar el policarbonato para lograr que se caliente y no se quemara tan rápido

6. Recomendaciones

- Utilizar un regulador de voltaje para regular la potencia de salida de la resistencia o un regulador de amperaje.
- Calcular la potencia en base a la temperatura máxima que debe alcanzar la superficie de la resistencia.
- Seleccionar una resistencia que posea una alimentación de 220 v y la potencia calculada

Callao, 28 de junio 2022

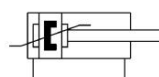

César SEMSSE Sáenz
Gerente General



ANEXO E. Actuador neumático

Cilindro normalizado DSBC-40-150-PPSA-N3

Número de artículo: 2123784

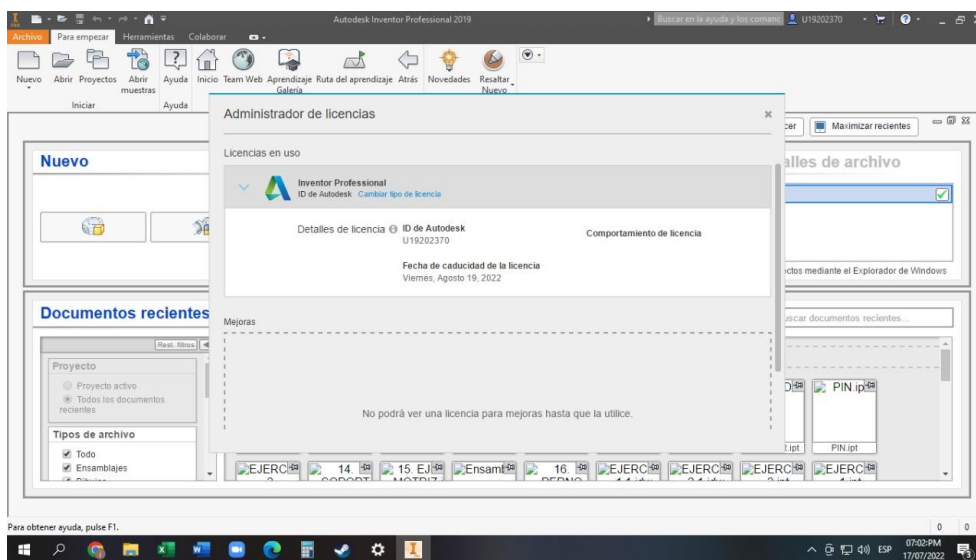
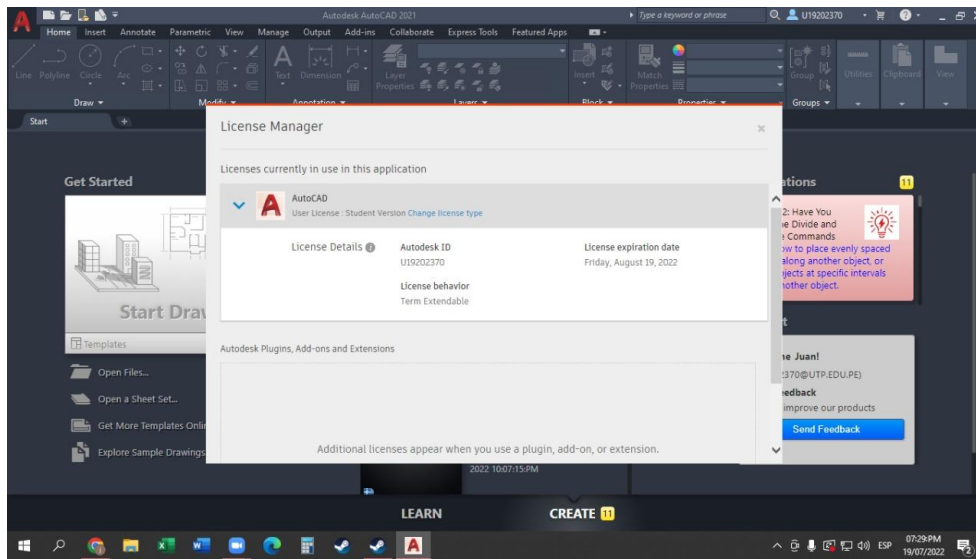


Hoja de datos

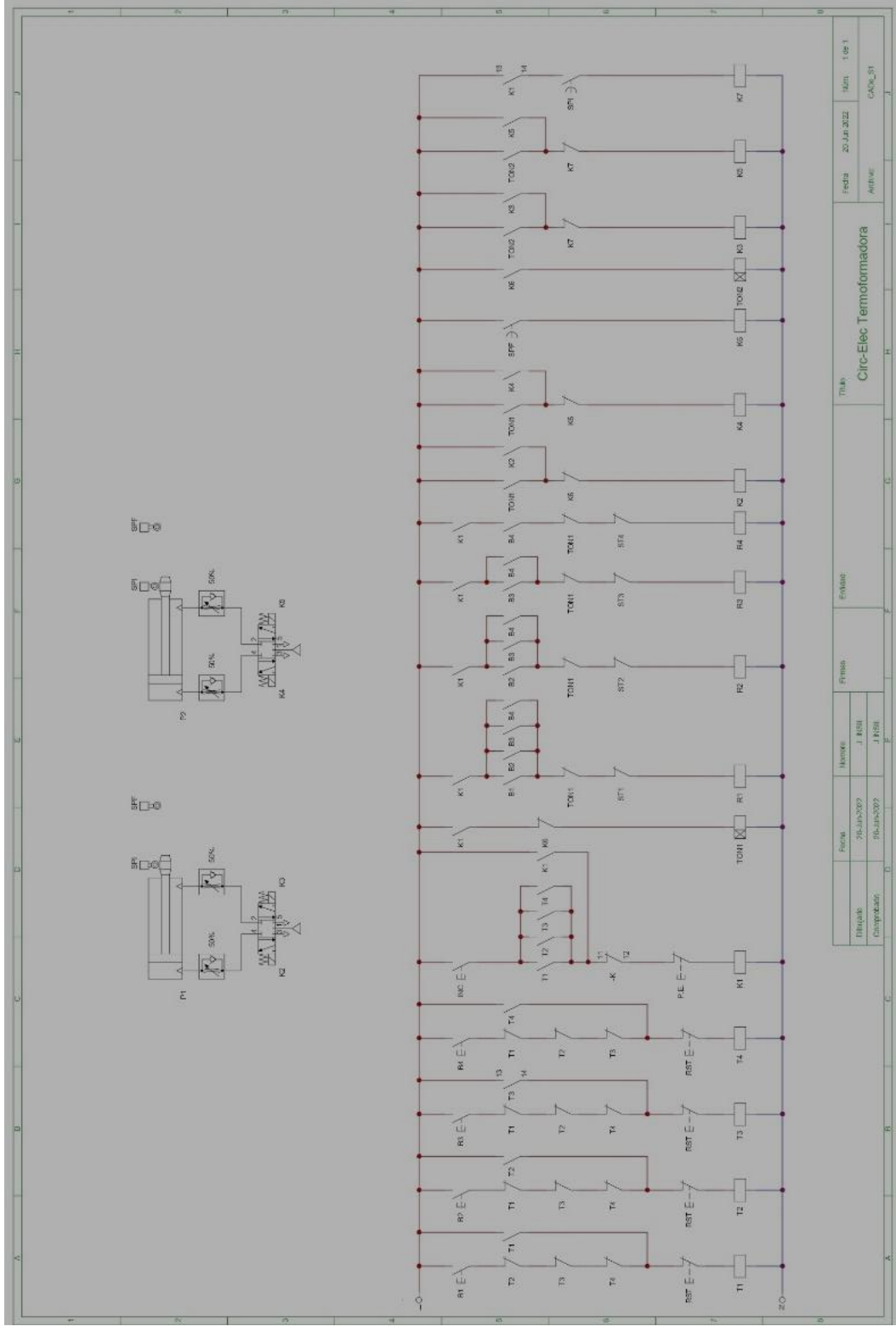
Característica	Valor
Carrera	150 mm
Diámetro del émbolo	40 mm
Rosca del vástago	M12x1,25
Amortiguación	Amortiguación neumática autorregulable de fin de recorrido
Posición de montaje	Cualquiera
Conforme a la norma	ISO 15552
Extremo del vástago	Rosca exterior
Forma constructiva	Émbolo Vástago Camisa perfilada
Detección de posición	Para sensor de proximidad
Símbolo	00992970
Variantes	Vástago simple
Presión de funcionamiento	0.06 MPa ... 1.2 MPa
Presión de funcionamiento	0.6 bar ... 12 bar
Modo de funcionamiento	Doble efecto
Medio de funcionamiento	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4-4]
Nota sobre el medio de trabajo/mando	Admite funcionamiento con lubricación (lo cual requiere seguir utilizándolo)
Clase de resistencia a la corrosión CRC	2 - riesgo de corrosión moderado
Temperatura ambiente	-20 °C ... 80 °C
Energía de impacto en las posiciones finales	0.7 J
Longitud de amortiguación	19 mm
Fuerza teórica con 6 bar, retorno	633 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	754 N
Masa móvil con carrera de 0 mm	205 g
Aumento masa móvil por 10 mm de carrera	16 g
Peso básico con carrera de 0 mm	740 g
Peso adicional por 10 mm de carrera	37 g
Tipo de fijación	A elegir: Con rosca interior Con accesorios
Conexión neumática	G1/4
Nota sobre el material	Conformidad con la Directiva RoHS
Material de la tapa	Fundición inyectada de aluminio, recubierta
Material de la junta del émbolo	TPE-U (PU)
Material del émbolo	Aleación de forja de aluminio

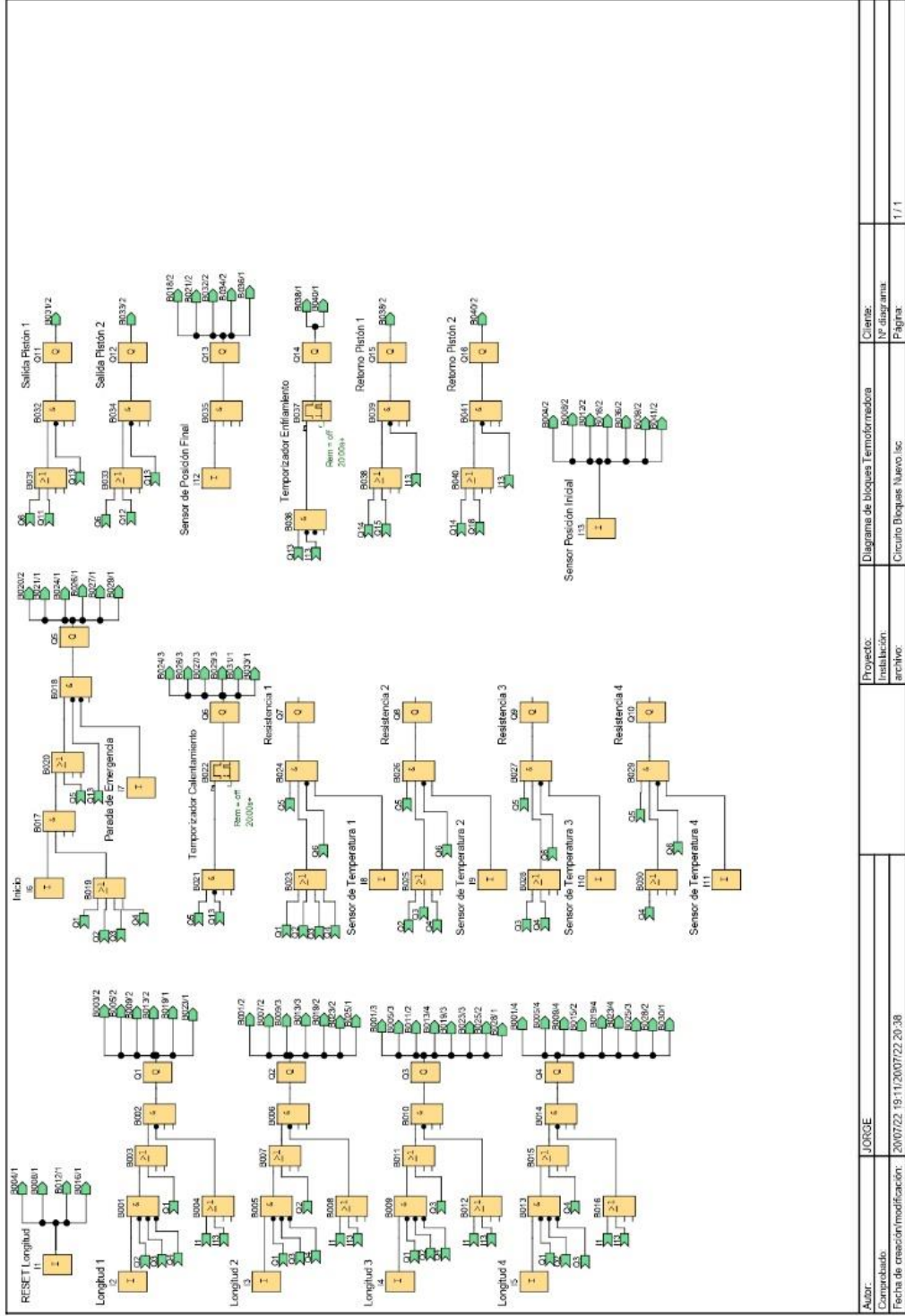
Característica	Valor
Material del vástago	Acero de alta aleación
Material de la junta rascadora del vástago	TPE-U (PU)
Material de la junta de tope	TPE-U (PU)
Material del émbolo de tope	POM
Material de la camisa del cilindro	Aleación forjada de aluminio, superficie pulida y anodizada
Material de las tuercas	Acero, galvanizado
Material del cojinete	POM
Material tornillos con collar	Acero galvanizado

ANEXO F. Licencias de softwares

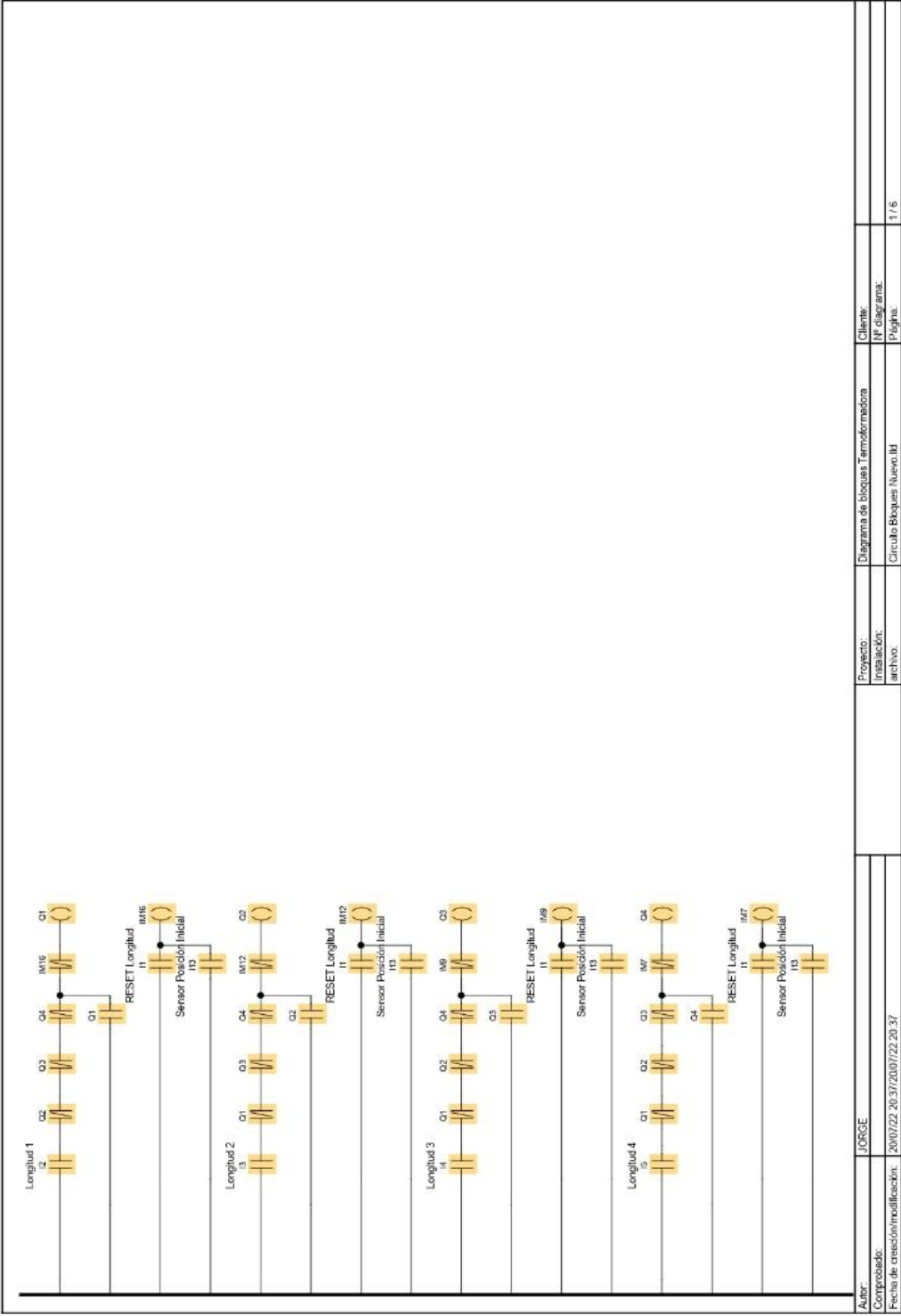


ANEXO G. Circuitos Electroneumáticos

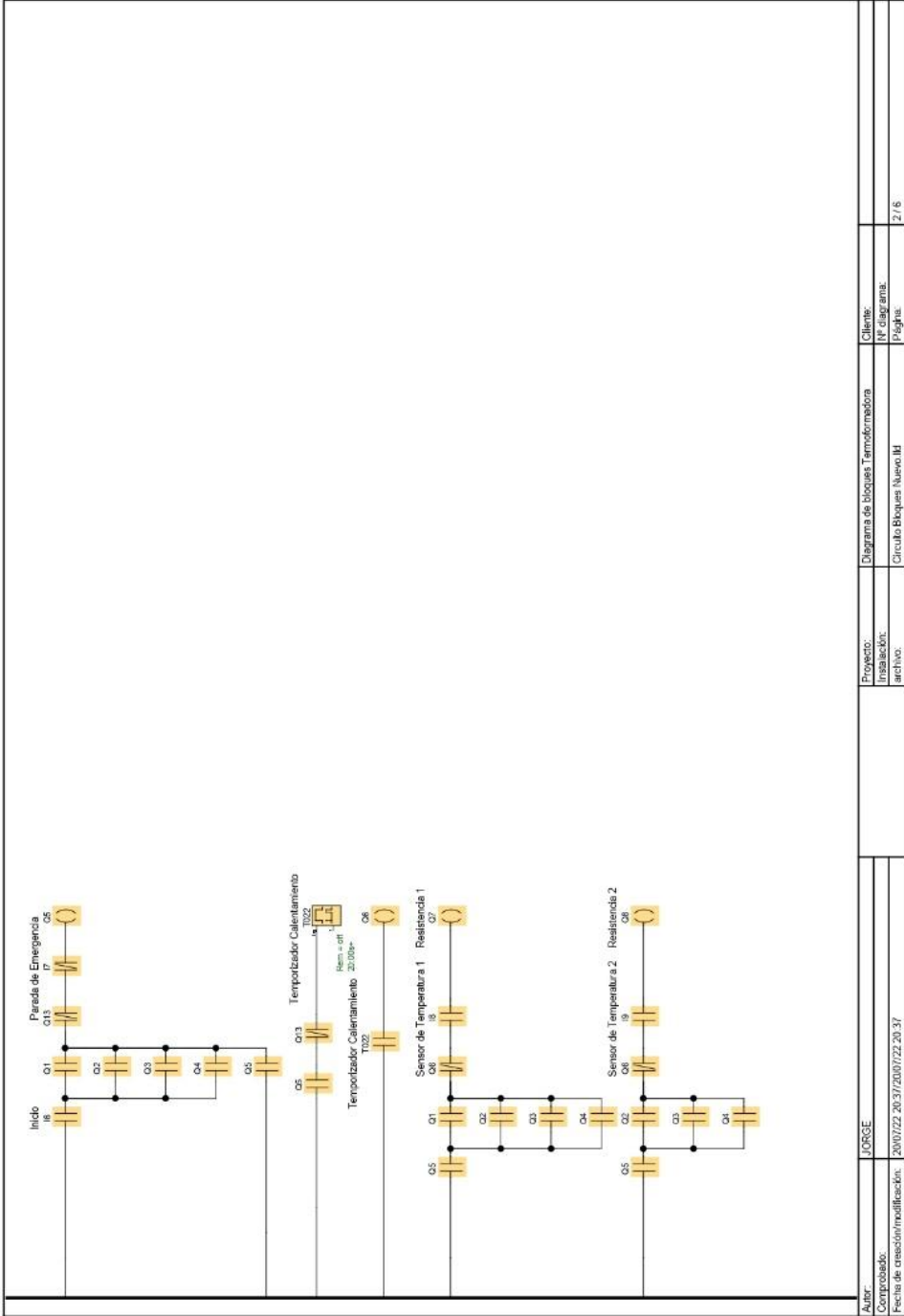




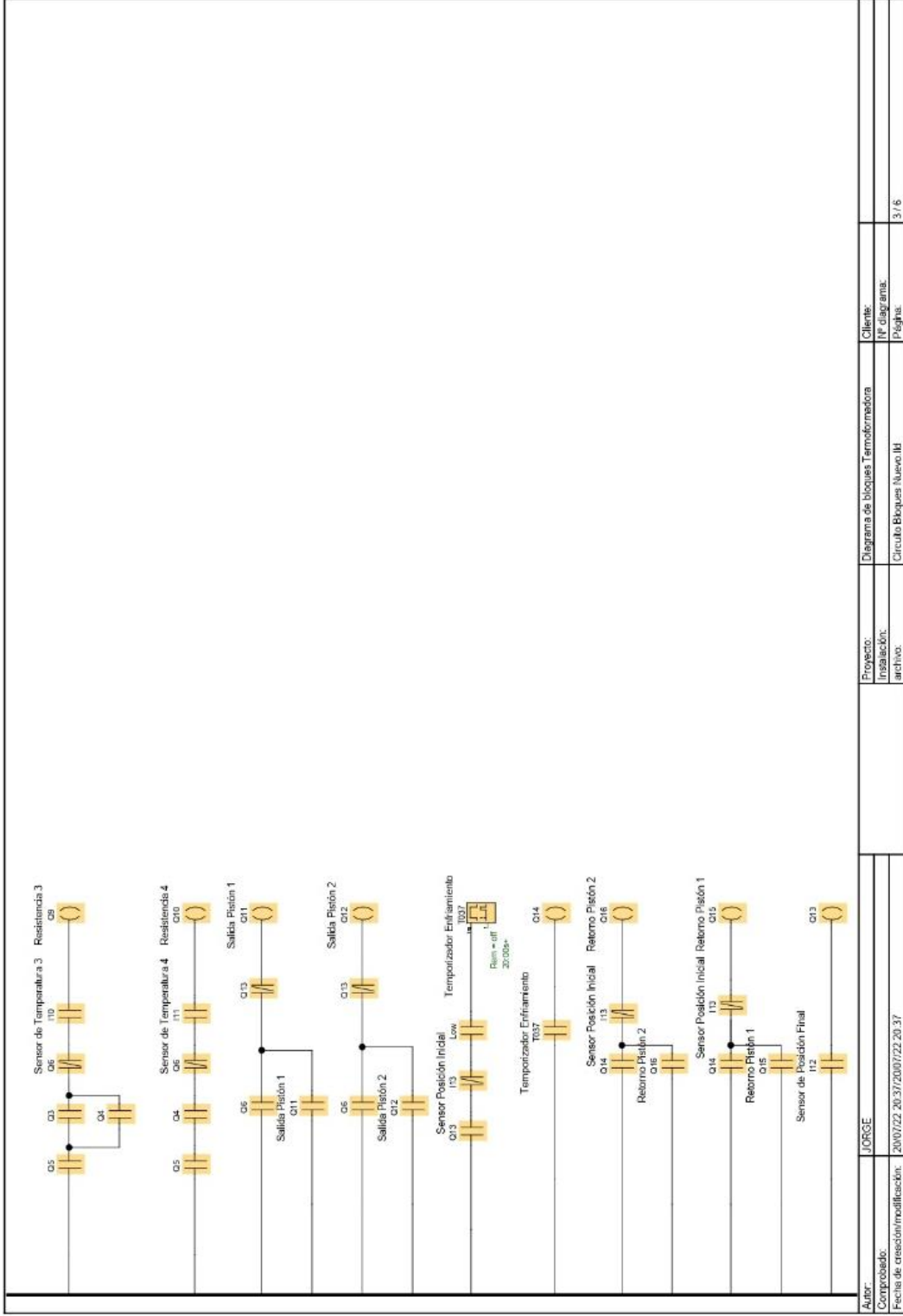
Autor:	JORGE	Proyecto:	Diagrama de bloques Termofornadora	Criente:	
Comprobado:		Instalación:		Nº diagrama:	
Fecha de creación/modificación:	20/07/22 19:11:20/07/22 20:38	archivo:	Circuito Bloques Nuevo,lec	Página:	1 / 1



Proyecto:	Diagrama de bloques Termoformadora	Cliente:	
Instalación:	archivo	Nº diagrama:	1/6
Fecha de creación/modificación:	20/07/22 20:37/20/07/22 20:37	Circuito Bloques Nuevo IM	
Autor:	JORGE		

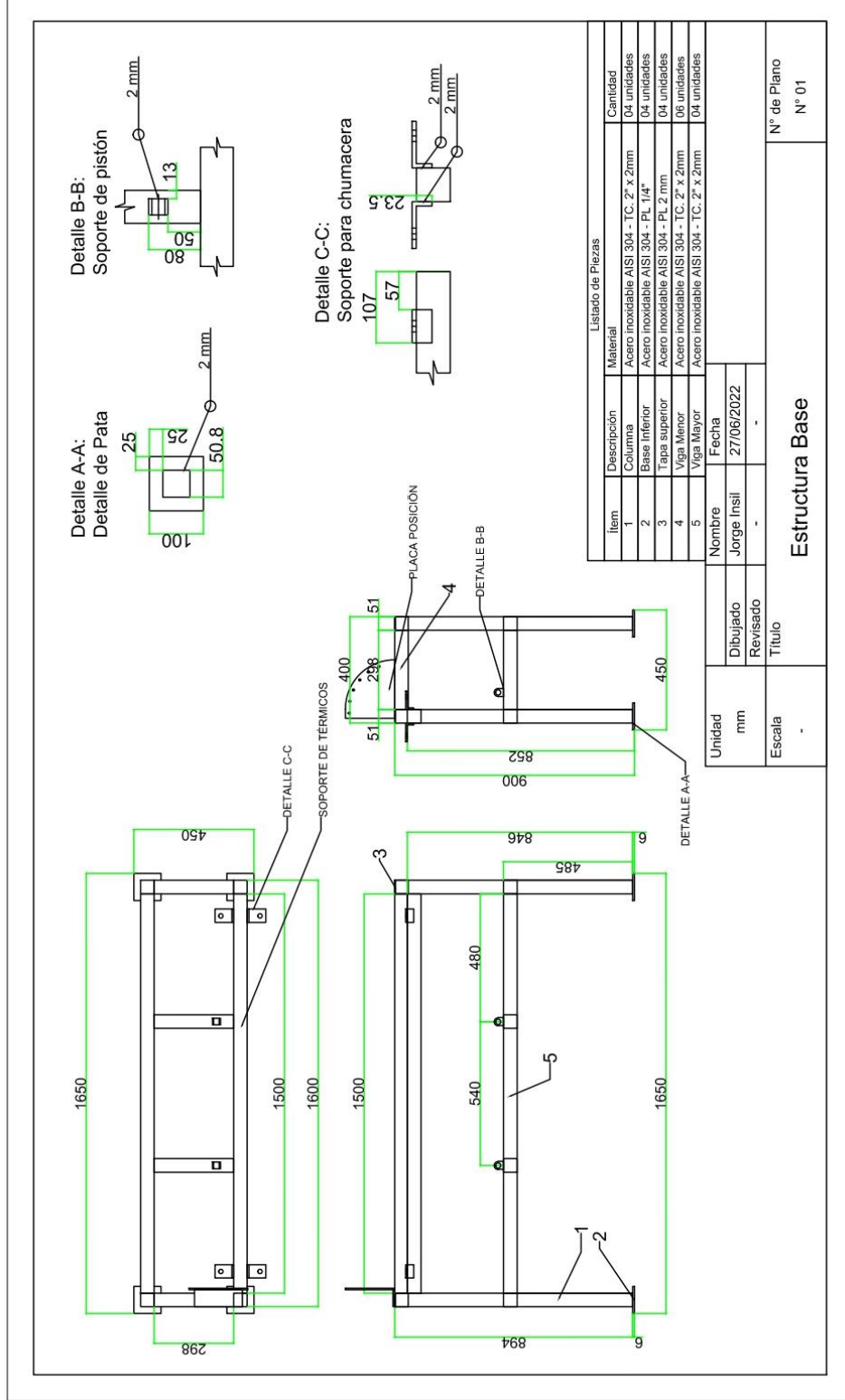


Autor:	JORGE	Proyecto:	Diagrama de bloques Transformadora	Cliente:	
Comprobado:		Instalación:	Circuito Bloques Nuevo III	Nº diagrama:	
Fecha de creación/modificación:	20/07/22 20:37/20/07/22 20:37	archivo:		Página:	2 / 6



Autor: JORGE		Proyecto: Diagrama de bloques Termofórmula		Cliente: IP Diag ana.	
Comprobado: 20/07/22 20:37/20/07/22 20:37		Instalación: archivo.		Páginas: 3 / 6	
Fecha de creación/modificación:		Circuito Bloques Nuevo III			

ANEXO H. Planos



Listado de Piezas			
Item	Descripción	Material	Cantidad
1	Columna	Acero inoxidable AISI 304 - TC. 2" x 2mm	04 unidades
2	Base inferior	Acero inoxidable AISI 304 - PL 1/4"	04 unidades
3	Tapa superior	Acero inoxidable AISI 304 - PL 2 mm	04 unidades
4	Viga Menor	Acero inoxidable AISI 304 - TC. 2" x 2mm	06 unidades
5	Viga Mayor	Acero inoxidable AISI 304 - TC. 2" x 2mm	04 unidades

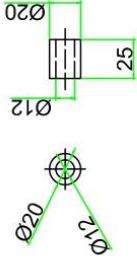
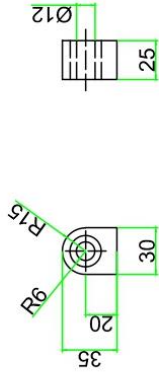
Nombre	Fecha
Jorge Insill	27/06/2022

Unidad	Dibujado	Revisado	Título	N° de Plano
mm	-	-	-	N° 01
Escala	-	-	-	-

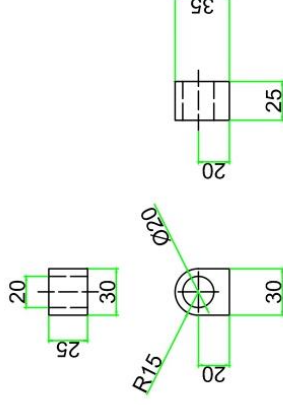
Estructura Base

Soporte de Pistón:

- Cilindro Normalizado DSBC-40-150-D3-PPSA-N3
- Brida Basculante SNCB-40
- Cabeza de Rótula SGS-M12x1,25

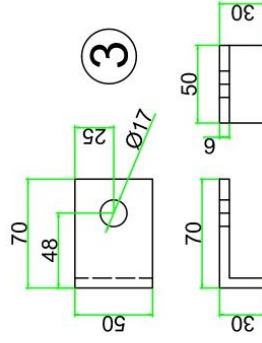


1



2

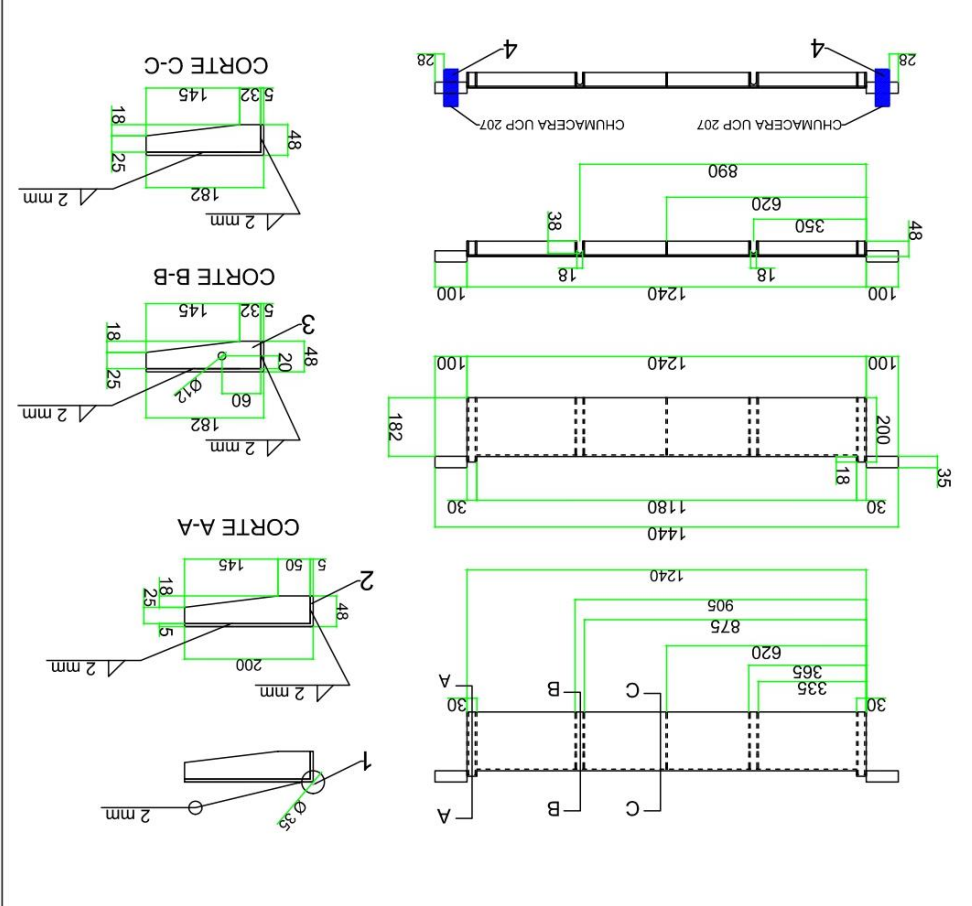
Soporte para chumacera



3

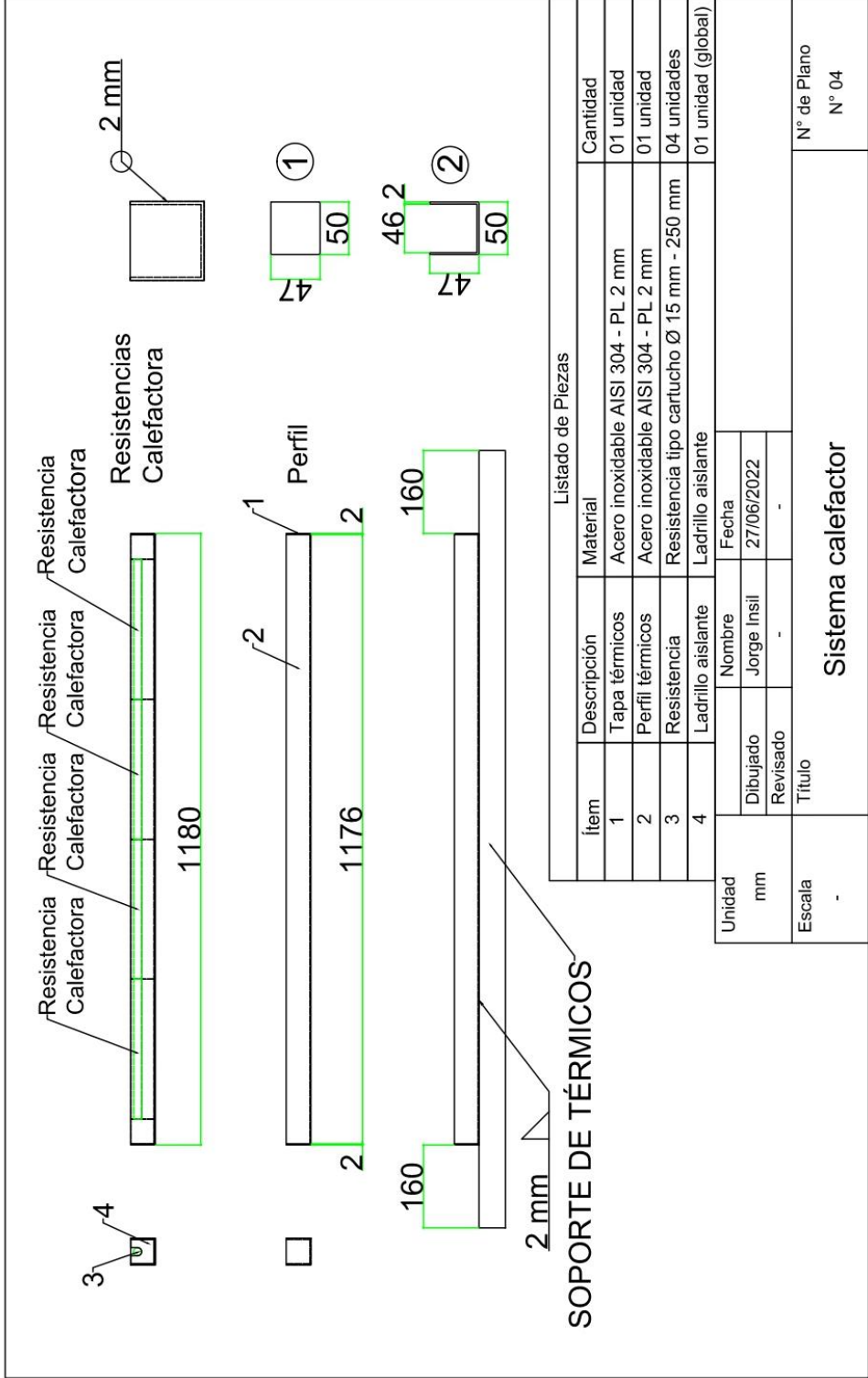
Listado de Piezas					
Item	Descripción	Material			Cantidad
1	Bocina	Bronce Grafitado			02 unidades
2	Bloque base	Acero inoxidable AISI 304			02 unidades
3	Soporte chumacera	Acero inoxidable AISI 304			04 unidades
Unidad		Nombre	Fecha		
mm		Dibujado	27/06/2022		
		Revisado			
Escala		Título			N° de Plano
		Accesorios Complementarios			N° 02

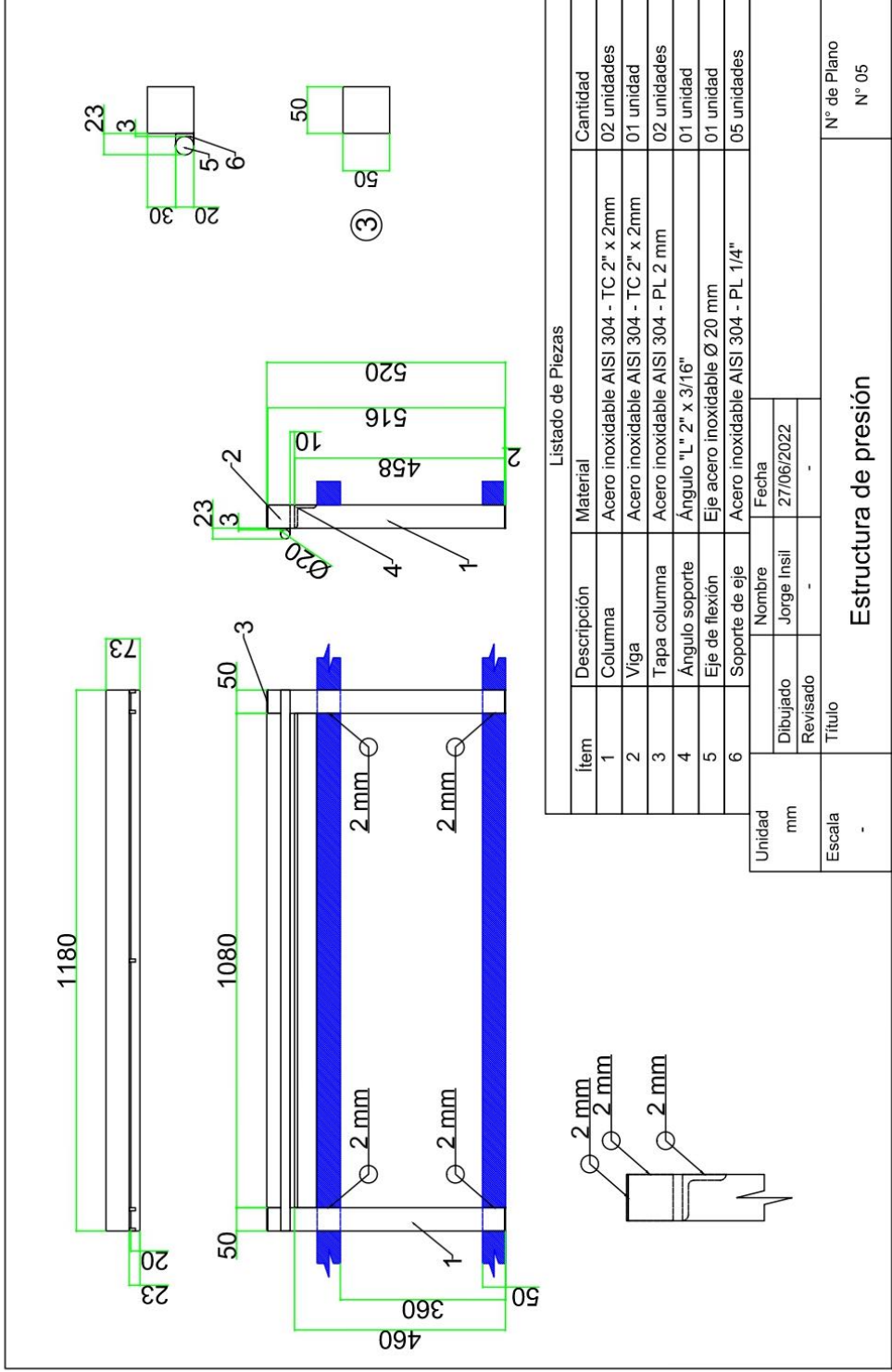
Escala		-	
mm		-	
Unidad	Revisado	Nombre	Fecha
4	Jorge Insil	Chumaceras	27/06/2022
3	-	Refuerzos	-
2	-	Cuerpo principal	-
1	-	Eje de pivote	-
02 unidades	-	Eje acero inoxidable Ø 35 mm	-
01 unidad	-	Acero inoxidable AISI 304 - PL 1/4"	-
09 unidades	-	Acero inoxidable AISI 304 - PL 1/4"	-
02 unidades	-	Chumacera UCP 207 (eje de Ø 35mm)	-
Cantidad			
Material			
Descripción			
Estado de Piezas			

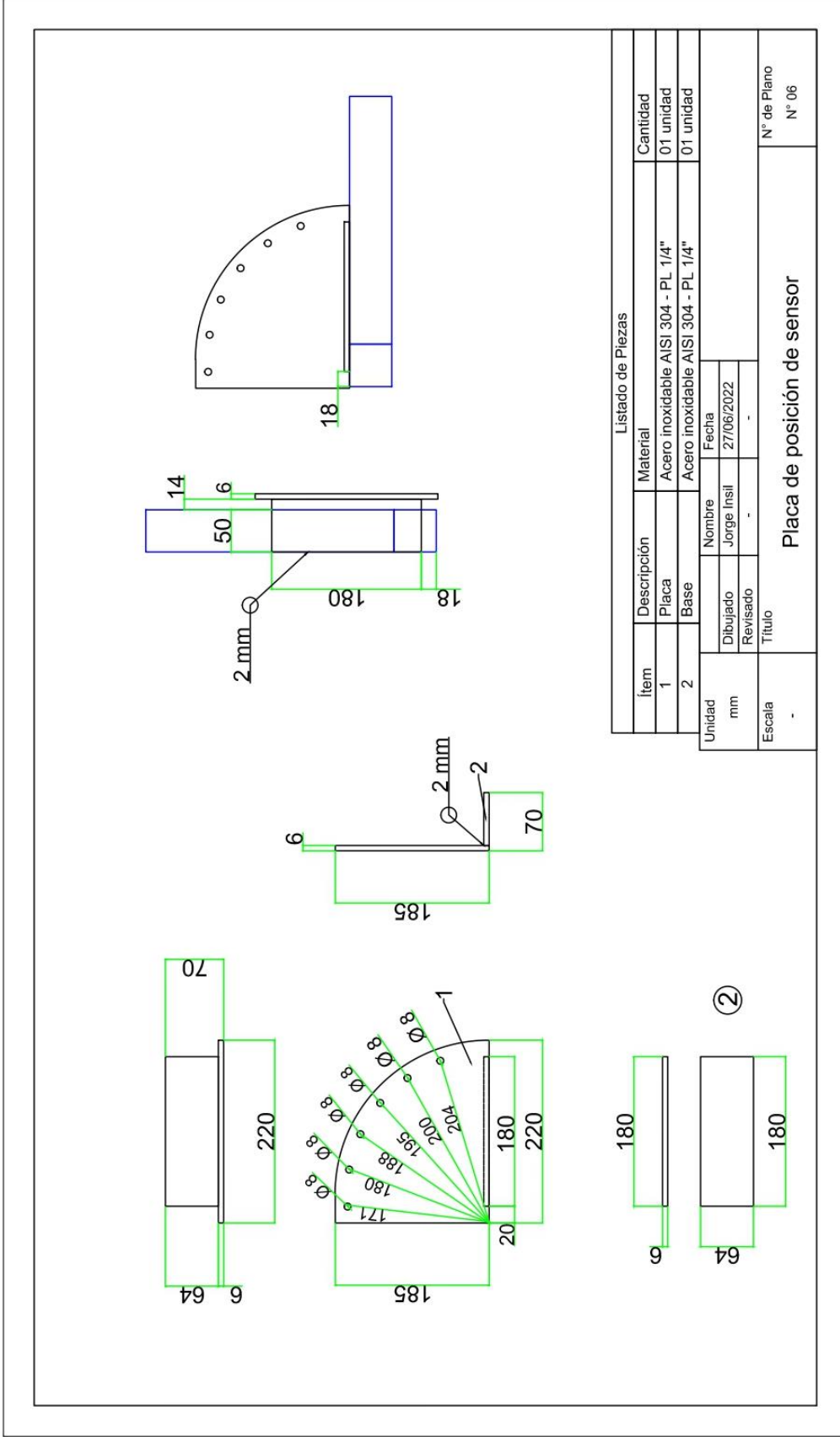


Placa de Doblado

N° de Plano
N° 03







Listado de Piezas			
Item	Descripción	Material	Cantidad
1	Placa	Acero inoxidable AISI 304 - PL 1/4"	01 unidad
2	Base	Acero inoxidable AISI 304 - PL 1/4"	01 unidad
Unidad	Nombre		Fecha
mm	Dibujado	Jorge Insil	27/06/2022
Escala	Revisado	-	-
-	Título		N° de Plano
-	Placa de posición de sensor		N° 06

ANEXO I. Carta de Autorización



CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE DATOS DE LA EMPRESA

Yo César Senisse Sáenz, identificado con DNI 25747388, en mi calidad de gerente general de la empresa/institución CADE MOTOR'S con R.U.C N° 10257473886

OTORGO LA AUTORIZACIÓN

Al señor Jorge Enrique Inoil Arica identificado con DNI N° 74654280, tesista del ciclo de tesis para titulación de la facultad de ingeniería Mecánica y de Energía que utilice la siguiente información de la empresa:

- El Informe N° 918-22 de pruebas de doblado de Policarbonato, sus datos y fotografías recolectadas.

con la finalidad de que pueda desarrollar su tesis para optar el título de ingeniero mecánico.

Con respecto al uso del nombre de la empresa, en mi calidad de representante legal, manifiesto que:

- () Se debe mantener en reserva el nombre o cualquier distintivo de la empresa; o
(X) Se puede mencionar el nombre de la empresa en la tesis.

Adjuntar a esta carta la siguiente información del representante legal (firmante):

- Vigencia de Poder o Ficha RUC o consulta RUC (para el caso de empresas privadas).
- ROF o MOF o Resolución de designación, (para el caso de empresas públicas)

Firma y sello del Representante Legal
DNI: 25747388

El Tesista declara que los datos emitidos en esta carta y en la Tesis son auténticos. En caso de comprobarse la falsedad de datos, el bachiller será sometido al inicio del procedimiento disciplinario correspondiente; asimismo, asumirá toda la responsabilidad ante posibles acciones legales que la empresa, otorgante de información, pueda ejecutar.

Firma del Bachiller
DNI: 74654280

Consulta RUC

Resultado de la Búsqueda
Número de RUC: 10257473886 - SENISSE SAENZ CESAR AUGUSTO
Tipo Contribuyente: PERSONA NATURAL CON NEGOCIO
Tipo de Documento: DNI 25747388 - SENISSE SAENZ, CESAR AUGUSTO
Nombre Comercial: CADE MOTOR'S
Fecha de Inscripción: 30/04/2009 Fecha de Inicio de Actividades: 30/04/2009
Estado del Contribuyente: ACTIVO
Condición del Contribuyente: HABIDO
Domicilio Fiscal: -
Sistema Emisión de Comprobante: MANUAL Actividad Comercio Exterior: SIN ACTIVIDAD
Sistema Contabilidad: MANUAL/COMPUTARIZADO
Actividad(es) Económica(s): Principal - 3314 - REPARACIÓN DE EQUIPO ELÉCTRICO Secundaria 1 - 3312 - REPARACIÓN DE MAQUINARIA Secundaria 2 - 4520 - MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES

Comprobantes de Pago c/aut. de impresión (F. 806 u 816): FACTURA RECIBO POR HONORARIOS BOLETA DE VENTA GUIA DE REMISION - REMITENTE
Sistema de Emisión Electrónica: FACTURA PORTAL DESDE 27/06/2019 BOLETA PORTAL DESDE 10/12/2019 RECIBOS POR HONORARIOS AFILIADO DESDE 03/02/2016
Emisor electrónico desde: 03/02/2016
Comprobantes Electrónicos: RECIBO POR HONORARIO (desde 03/02/2016),FACTURA (desde 27/06/2019),BOLETA (desde 10/12/2019),GUIA (desde 16/06/2022)
Afiliado al PLE desde: -
Padrones: NINGUNO
Fecha consulta: 27/07/2022 19:04