

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE TERMOFORMADORA COMO RECURSO PEDAGÓGICO EN  
LA ASIGNATURA DE MATERIALES Y PROCESOS II DE LA LICENCIATURA EN DISEÑO  
TECNOLÓGICO DE LA UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

PRESENTADO POR

BRILLITTE ANDREA ZABALA DÍAZ

COD 2014201047

SEBASTIÁN ZABALA DÍAZ

COD 2013201073

Trabajo de Grado para optar al título de Licenciados en Diseño Tecnológico

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA LICENCIATURA EN DISEÑO TECNOLÓGICO BOGOTÁ

2020

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE TERMOFORMADORA COMO RECURSO PEDAGÓGICO EN LA  
ASIGNATURA DE MATERIALES Y PROCESOS II DE LA LICENCIATURA EN DISEÑO  
TECNOLÓGICO DE LA UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

PRESENTADO POR

BRILLITTE ANDREA ZABALA DÍAZ

COD 2014201047

SEBASTIÁN ZABALA DÍAZ

COD 2013201073

DIRECTORA:

MG. PATRICIA TÉLLEZ LÓPEZ

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA LICENCIATURA EN DISEÑO TECNOLÓGICO BOGOTÁ

2020

### ***Dedicatoria***

*Queremos dedicar este trabajo a nuestra familia especialmente a nuestra madre Ana Elvia Diaz, por su cariño y apoyo incondicional durante todo este proceso, por estar con nosotros en todo momento, porque con sus consejos y palabras de aliento hicieron de nosotros mejores personas y nos acompañó en todos nuestros sueños y metas.*

### ***Agradecimientos***

*Nuestros profundos agradecimientos a nuestros compañeros de vida Rick Bertoldi y Laura Hormaza, ellos, siendo la mayor motivación en nuestras vidas encaminadas al éxito, fueron el ingrediente perfecto para poder lograr alcanzar esta dichosa y merecida victoria en nuestra vida.*

*Les agradecemos por tantas ayudas y tantos aportes no solo para el desarrollo de nuestro trabajo de grado, sino también para nuestra vida, son nuestra inspiración y motivación.*

*Terminar este proyecto no hubiera sido posible sin el apoyo profesional de nuestra tutora MG Patricia Téllez López, quien con paciencia encausó nuestro trabajo con sus conocimientos, con el firme propósito de alcanzar los objetivos trazados.*

*Agradecemos infinitamente al profesor Fabio González Rodríguez, quien confió en nuestra capacidad y entrega para seguir adelante con nuestro trabajo, quien fue un apoyo incondicional a lo largo de nuestra formación profesional.*

*De igual manera nuestros agradecimientos a la Universidad Pedagógica Nacional y al programa de Licenciatura en Diseño Tecnológico, en donde nos formamos íntegramente como profesionales y personas que pueden aportar a construir un mundo mejor.*

## Contenido

Introducción .....	1
Capítulo 1: Planteamiento del problema .....	3
Justificación.....	4
Antecedentes .....	6
Diseño de prototipos pensados para la educación .....	6
Materiales de apoyo para la educación .....	8
Diseño de máquinas de termoformado .....	9
Objetivos .....	11
Objetivo general .....	11
Objetivos específicos .....	11
Capítulo 2: Marco teórico .....	11
Marco teórico pedagógico.....	12
Aprendizaje significativo .....	12
Didáctica .....	13
Materiales didácticos .....	14
Entorno educativo.....	14
Marco teórico específico.....	15
Polímeros .....	15
Principales propiedades de los polímeros .....	15
Clasificación de los polímeros .....	16
Materiales adecuados para termoformado .....	16

Proceso de termoformado .....	17
Termoformado al vacío.....	18
Bombas de succión .....	19
Presión absoluta .....	20
Presión relativa.....	20
Presión atmosférica .....	20
Moldes para termoformado.....	21
Capítulo 3: Metodología .....	24
Momento 1 .....	26
Método de diseño de Michael French.....	26
Etapa 1: Análisis del problema.....	27
Limitaciones del diseño .....	27
Características del usuario .....	28
Análisis de los criterios de diseño .....	29
Análisis estructural del diseño: .....	30
Etapa 2: Diseño conceptual.....	31
Diagrama morfológico.....	31
Aplicación de la matriz de Pugh.....	32
Sistema de calefacción de la lámina .....	35
Sistema de control .....	37
Sistema de formado .....	38
Sistema de desplazamiento del marco de sujeción.....	39

Selección de los sistemas de la máquina.....	40
Especificaciones técnicas de los sistemas .....	40
Análisis de vacío del sistema de formado.....	41
Relación de áreas.....	41
Volumen a desplazar con la bomba de succión.....	45
Selección del tanque de vacío .....	48
Diagrama del sistema de vacío.....	48
Características técnicas de la resistencia de calentamiento lineal: .....	49
Características del sistema de estructura.....	51
Características de la caja de vacío: .....	52
Características del marco de sujeción.....	52
Características del sistema de desplazamiento.....	53
Características técnicas del sistema de control.....	54
Evaluación económica .....	55
Análisis ergonómico.....	56
Ergonomía física / Antropometría .....	56
Ergonomía cognitiva .....	59
Ergonomía Organizacional .....	59
Bosquejo inicial.....	60
Etapa 3: Dar forma a los esquemas.....	61
Esquemas de los sistemas .....	61
Sistema de calefacción de la lámina .....	61

Sistema de desplazamiento del marco de sujeción .....	62
Sistema de control .....	63
Esquemas de los elementos complementarios: .....	64
Etapa 4: Desarrollo de detalles .....	66
Correcciones a los esquemas.....	66
Detalles estéticos: .....	70
Detalles de diseño final:.....	71
Fabricación.....	72
Sistema de calefacción de la lámina .....	72
Sistema de desplazamiento del marco de sujeción.....	75
Control de temperatura de la resistencia.....	78
Control de encendido del sistema de formado .....	80
Prototipo .....	92
Verificación del funcionamiento de la termoformadora .....	94
Momento 2 .....	97
Concepción de la propuesta pedagógica .....	97
Diseño de cartilla guía .....	97
1. Fase preparatoria. ....	97
2. Fase de elaboración.....	101
3. Fase de impresión .....	101
Capítulo 4: Conclusiones .....	102
Bibliografía.....	105

Páginas web:.....	106
Imágenes .....	107
Anexos .....	109
Anexo 1. Cartilla guía.....	109
Anexo 2. Manual de usuario .....	129
Anexo 3. Planos.....	139
Anexo 4. Fotos del prototipo.....	146
Anexo 5. Simulaciones .....	152
Estructura .....	152
Características del material .....	153
Palanca.....	153
Anexo 6. Fichas técnicas.....	154
Sellante de poliuretano .....	154
Remaches Pop .....	156
Lámina alfajor .....	158
Acero Cold Rolled.....	159

### **Lista de diagramas**

Diagrama 1. Diagrama organizacional del marco teórico. Fuente: Elaboración propia.....	12
Diagrama 3. Diagrama organizacional de la metodología. Fuente: Elaboración propia .....	25
Diagrama 4. Diagrama morfológico de las alternativas de sistemas, Fuente: Manual de termoformado plastiglas México e imágenes tomadas de la WEB .....	32



## Lista de tablas

Tabla 1. Peso versus valor.....	33
Tabla 2. Peso de cada criterio.....	33
Tabla 3. Puntuación y valor de cada criterio .....	34
Tabla 4. Selección del sistema de calefacción de lámina.....	35
Tabla 5. Selección del sistema de estructura (material) .....	36
Tabla 6. Selección del sistema de control. ....	37
Tabla 7. Selección del sistema de formado .....	38
Tabla 8. Selección del sistema de desplazamiento del marco de sujeción .....	39
Tabla 9. Tabla de costos de fabricación. ....	56
Tabla 10. Identificación de la asignatura .....	97
Tabla 11. Objetivos de la asignatura.....	99

## Lista de figuras

Figura 1. Materiales adecuados para termoformado. Fuente: Manual de termoformado Plastiglas México.....	17
Figura 2. Tanque de vacío. Fuente: Manual del termoformado, (1999).....	19
Figura 3. Presiones. Fuente Ingeniería Alimentaria .....	20
Figura 4. Molde Macho. Fuente: Manual de termoformado Plastiglas México .....	21
Figura 5. Molde Macho. Fuente: Manual de termoformado Plastiglas México .....	22
Figura 6. Empleo de materiales en molde de termoformado. ....	22
Figura 7. Empleo de materiales en molde de termoformado. ....	23
Fuente: Manual de termoformado Plastiglas México.....	23
Figura 8. Modelo de Michael French del proceso de diseño. Fuente: Métodos del diseño Nigel Cross.....	26

Figura 9 Relación de tamaño del objeto con respecto a la caja de vacío. Fuente: Autores. ....	41
Figura 10. Área superficial de la caja de vacío y área superficial del objeto .....	42
Figura 11. División de lámina termoplástica completa. ....	43
Figura 12 Tamaños .....	43
Figura 13. Medidas Caja de Vacío .....	46
Figura 14. Diagrama del sistema de vacío. ....	48
Figura 15. Bomba de succión. ....	49
Figura 16. Distribución de la resistencia tubular.....	50
Figura 17. Resistencia tubular.....	51
Figura 18. Simulación de la estructura. ....	52
Figura 19. Marco de sujeción sobre la caja de vacío.....	53
Figura 20. Palanca en dos posiciones .....	53
Figura 21. Diagrama eléctrico.....	55
Figura 23. Alturas recomendadas para trabajar de pie. ....	57
Figura 24. Zonas de alcance recomendadas para una posición fija. ....	57
Figura 25. Empuñadura. ....	58
Figura 26. Dimensiones recomendadas para el acceso con el pie.....	58
Figura 27. Dimensiones maquina termoformadora. ....	60
Figura 28. Esquema general de máquina de termoformado .....	61
Figura 29. Distribución de la resistencia en la caja del sistema de calentamiento.....	62
Figura 30. Sistema de desplazamiento del marco de sujeción.....	62
Figura 31. Sistema de control .....	63
Figura 32. Estructura interna de la máquina de termoformado.....	64
Figura 33. Caja de vacío y área de termoformado .....	64

Figura 34. Marco de sujeción de material a termoformar. ....	65
Figura 35. Marco de sujeción de material a termoformar. ....	65
Figura 36. Esquema del conjunto. ....	66
Figura 37. Sistema de calefacción de la máquina. ....	67
Figura 38. Sistema de estructura ....	68
Figura 39. Sistema de control de la máquina. ....	69
Figura 40. Control de temperatura de la resistencia. ....	69
Figura 41. Pedal que acciona la succión. ....	70
Figura 42. Diseño máquina completa. ....	71
Figura 43. Diseño máquina con avisos informativos. ....	72
Figura 44,45. Fabricación caja de la resistencia. ....	73
Figura 46,47. Caja de resistencia, Tapa de la caja. ....	73
Figura 48,49. Pegado de la fibra de vidrio. ....	74
Figura 50,51. Fibra de vidrio completa, ganchos sujetadores. ....	74
Figura 52,53. Resistencia fijada a la caja. ....	75
Figura 54,55. Proceso de corte de la lámina de acero. ....	75
Figura 56,57. Procesos de soldadura con arco eléctrico. ....	76
Figura 58,59. Perforación con taladro de árbol, tornillos de la palanca. ....	76
Figura 60. ....	77
Figura 61. ....	77
Figura 63,64,65. Sistema de control. ....	78
Figura 66,67,68. Control de temperatura. ....	79
Figura 69. Sistema de control de temperatura de la resistencia. ....	79
Figura 70,71. Pedal de succión, pedal de succión instalado. ....	80

Figura 72,73. Ubicación de la bomba se succión, conexiones de la bomba de succión.....	81
Figura 74. Parte de abajo de la caja de vacío conectada a la manguera de succión.....	81
Figura 75,76. Lámina cortada. ....	82
Figura 77,78. Trazos de puntos de perforación.....	82
Figura 79,80,81. Trazos completos de perforación, perforación con taladro de árbol, lámina completamente perforada.....	83
Figura 82,83,84. Pulido de la lámina perforada. ....	83
Figura 85,86,87. Lámina perforada terminada.....	84
Figura 88,89,90. Medición de la caja de vacío, corte de la caja de vacío, ensamble de la caja de vacío.....	85
Figura 91,92. Medición de la tapa inferior de la caja, aplicado de sellante.....	85
Figura 93,94,95. Corte de tubos de hierro con tronzadora, corte de tubos de hierro con pulidora. ....	86
Figura 96. Tubos de hierro cortados.....	86
Figura 97,98,99. Soldadura de piezas con arco eléctrico. ....	87
Figura 100,101. Piezas soldadas con arco eléctrico. ....	87
Figura 102. Estructura completa soldada.....	88
Figura 103,104,105,106. Trazado de corte, corte de tubo cuadrado, doblado de tubo cuadrado para formar el marco de sujeción. ....	88
Figura 107,108,109. Soldadura del marco de sujeción con arco eléctrico. ....	89
Figura 110. Soldadura del seguro con arco eléctrico. Fuente: Autores.....	89
Figura 111,112. Pegado de cauchos protectores, ensamble de bisagras.....	90
Figura 113. Marco de sujeción ensamblado en la estructura. ....	91
Figura 114,115. Ensamble de tapas metálicas con remaches pop.....	91

Figura 116,117. Pulido de imperfecciones. .... 92

Figura 118,119. Pintado de tapas metálicas..... 92

Figura 120,121. Prototipo de máquina termoformadora ensamblado y terminado..... 93

Figura 122,123. Moldes y material termoformado..... 94

Figura 124,125. Moldes con el material ya termoformado..... 95

Figura 126,.127. Objetos termoformados. .... 95

Figura 128. Proceso de empaque con Skin. .... 96

## Introducción

En el presente informe de trabajo de grado se presenta el diseño y fabricación de un prototipo de máquina termoformadora con el objetivo de fortalecer la enseñanza y aprendizaje del proceso de termoformado de polímeros, dado que en el programa de Diseño Tecnológico, los docentes en formación deben poseer habilidades técnicas mediante las cuales se evidencien sus conocimientos, dichas habilidades son adquiridas partiendo de la teoría impartida por el docente en el transcurso de la carrera y posteriormente, su práctica en el taller de tecnología. Este objetivo demanda un constante cambio y exploración de nuevos modelos y materiales de apoyo educativo con los cuales se puedan optimizar los procesos de enseñanza-aprendizaje, los cuales son procesos que hacen parte de la postura pedagógica abordada en la presente propuesta; ya que el aprendizaje significativo plantea el suceso educativo teniendo en consideración “tres elementos del proceso educativo: los profesores y su manera de enseñar; la estructura de los conocimientos que conforman el currículo y el modo en que éste se produce y el entramado social en el que se desarrolla el proceso educativo”. (Ausubel, 1983, p.1). Para lograr este propósito, es pertinente contar con ambientes y espacios que estén adecuados correctamente, que permitan el desarrollo práctico de las teorías, mediante los cuales se puedan fomentar la creatividad de forma dinámica y experimental.

El trabajo está segmentado en (4) capítulos principales: En el primer capítulo se encuentran la introducción, planteamiento del problema, antecedentes, justificación y objetivos, contextualizando el presente trabajo de grado, de esta manera se da un panorama general de la temática a tratar además de la importancia de esta en el desarrollo del trabajo, se identifica la problemática que lo orienta, estableciendo objetivos a cumplir, también se encuentra la recopilación de trabajos previos realizados que aportan a la realización de diferentes aspectos metodológicos. En el segundo capítulo, se sitúan tanto el marco teórico pedagógico como el marco teórico específico, donde se identifican los aspectos generales necesarios para el diseño y fabricación del material, asimismo los elementos teóricos pertinentes, tanto pedagógicos como técnicos que sustentan el trabajo. En el tercer capítulo se incluye la metodología que está destinada al diseño y fabricación del material, la cual está segmentada en dos momentos, un primer momento que

atiende a la implementación de un método para el diseño de la máquina de termoformado que culmina con su fabricación, posteriormente un segundo momento, donde se encuentra el diseño de la cartilla guía, aplicando elementos pedagógicos para su elaboración, además de los criterios que se tomaron en cuenta para este fin; el cuarto capítulo comprende las conclusiones, bibliografía y anexos, aportando un análisis de los resultados y hallazgos importantes, en este capítulo se encuentran los referentes bibliográficos que sustentan el trabajo.

## Capítulo 1: Planteamiento del problema

Los espacios educativos actuales, demandan un dinamismo constante en la implementación de herramientas o apoyos pedagógicos que puedan facilitar y enriquecer el proceso de enseñanza y aprendizaje en el ámbito educativo. En términos generales, el trabajo en el aula se concibe como una búsqueda permanente de situaciones “problema” y la consideración de estrategias de enseñanza que aporten a sus posibles alternativas de solución.

Uno de los métodos para tal fin, se encuentra en la implementación de estrategias didácticas comprendidas como “el conjunto de procedimientos, apoyados en técnicas de enseñanza, que tienen por objeto llevar a buen término la acción didáctica, es decir, alcanzar los objetivos de aprendizaje” (ITESM, 2010. p.5). A su vez, en la planeación e implementación del material de apoyo didáctico, que facilite el proceso de enseñanza y aprendizaje.

En este marco, en la Licenciatura en Diseño Tecnológico se utilizan diversos recursos pedagógicos en diferentes espacios académicos, para lograr este fin, estando sujetos a cambios o mejoras que permitan a los estudiantes interiorizar el conocimiento y que permitan complementar la teoría vista en estos escenarios con la práctica.

Durante el desarrollo del programa de Diseño Tecnológico se evidencia la necesidad de fortalecer los recursos del espacio académico de “Materiales y procesos II” que permitan la comprensión del proceso de termoformado con el cual se utilizan y transforman diferentes polímeros. Desde esta situación problema, la ausencia de algunas herramientas y máquinas cuya utilidad esté relacionada con actividades de reconocimiento, uso y transformación de materiales específicos, se plantea el proyecto de elaborar y desarrollar una máquina que permite realizar ejercicios prácticos que sustenten y complementen el espacio teórico abordado, tanto en la asignatura mencionada, como en diversos espacios educativos propios del programa, es decir, que, en términos prácticos y metodológicos, resulta pertinente realizar un elemento que aporte herramientas didácticas que beneficien a la comunidad educativa tanto en su proceso de formación estudiantil como en la ejecución de una práctica que enriquece su futuro quehacer docente.



El desconocimiento del proceso de transformación de los materiales termoplásticos puede causar un limitado uso de polímeros en sus proyectos, ya que, si bien, se ha enseñado la teoría del proceso del termoformado, no se ha podido fundamentar la práctica en talleres o laboratorios por ausencia de material de apoyo educativo que permitan la ejecución y comprensión del proceso.

En consecuencia, se hace necesaria la implementación de materiales de apoyo que permitan la aplicación de conocimientos adquiridos en la asignatura de Materiales y procesos II del programa de Diseño Tecnológico, por esta razón, en el presente trabajo de grado se propone el diseño y elaboración de un recurso pedagógico que nos brinde una mejor comprensión de los factores y variables que intervienen en el proceso de termoformado de materiales termoplásticos, cumpliendo los requerimientos didácticos de la asignatura y brindando un recurso pedagógica a otras asignaturas del programa curricular, con lo cual, el docente en formación experimente el proceso de termoformado con el apoyo de una cartilla, como guía impresa, que facilite el desarrollo de la práctica, facilitando a los estudiantes comprender los conceptos explicados teóricamente el profesor de la asignatura.

### **Justificación**

Las instituciones educativas de nivel superior deben contar con instrumentos, espacios e instalaciones adecuadas para el desarrollo de las temáticas abordadas en los programas académicos que ofertan, garantizando una educación de alta calidad para sus estudiantes. En la Universidad Pedagógica Nacional (sede calle 72), los estudiantes de la Licenciatura en Diseño Tecnológico cuentan con un taller de Tecnología, donde cuentan con diferentes herramientas, máquinas y elementos que facilitan los trabajos prácticos, complementando su actividad académica, estos trabajos se hacen necesarios debido al contenido estructural ofertado para el programa académico, ya que proyecta a sus estudiantes como futuros docentes, que atienden el área de tecnología en los colegios a nivel nacional.

Los trabajos prácticos son definidos como:

Aquellos que se realizan en el aula, y que proporcionan una serie de herramientas que ayudan al explicar una temática específica abarcando ciertas alternativas diferentes a una cátedra explicativa basada solamente en el aula de clase donde no hay mayor interacción entre maestro y estudiante,

es por esto que cuando se habla de trabajo práctico se puede decir que estos forman parte esencial en la enseñanza de la ciencias ya que propicia múltiples objetivos como son la observación, la familiarización, e interpretación de ciertos fenómenos que son el objeto de estudio en los trabajos prácticos. (Caamaño, 2003)

Es allí, donde se resalta la importancia de contar con un ambiente de aprendizaje para desarrollar las competencias previstas de la asignatura Materiales y Procesos II, en el cual se puedan poner en práctica sus contenidos y en particular el proceso de termoformado de polímeros, ya que en el enfoque metodológico de su programa se incluyen “visitas técnicas a la industria donde se puedan confrontar aspectos teóricos”, esto hace necesario el diseño de un prototipo de máquina termoformadora de polímeros como material de apoyo educativo que complementará la práctica de diversos conocimientos adquiridos teóricamente, como afirma (Kolb, 1939)

“El aprendizaje experiencial propone un marco para evaluar y fortalecer los vínculos fundamentales entre educación, trabajo y desarrollo personal y hace énfasis en la importancia del vínculo que puede desarrollarse entre el salón de clases y el mundo real” (Kolb, 1939, p.51).

Además de contribuir en el enfoque de evaluación, mostrado dentro del plan de asignatura de materiales y procesos II, que precisa un 35% de laboratorios, es también una herramienta que resulta útil en el taller de la licenciatura contribuyendo a la realización de trabajos de termoformado que ayuden en futuros proyectos, no solo de estudiantes de la licenciatura sino también a estudiantes de otras licenciaturas de la universidad.

Adicionalmente, el recurso pedagógico ofrece un beneficio económico a los estudiantes, debido a que el proceso de termoformado es costoso, por cuanto, requiere de la fabricación de un molde, lo cual eleva los costos en la consecución de estos productos por parte de los estudiantes de la Universidad Pedagógica. El hecho de tener un prototipo de termoformadora en el taller representa un aspecto importante en la motivación de los estudiantes ya que la ausencia de este tipo de máquinas ha sido un impedimento para llevar a cabo proyectos en esta área.

## **Antecedentes**

La elaboración de un prototipo de una máquina de termoformado es un ejercicio que devela dos ejercicios esenciales; por un lado, plantea la posibilidad de realizar acciones prácticas que manifiestan el conjunto de conocimientos y habilidades adquiridos durante la carrera mediante una herramienta técnico-pedagógica y, por otro, promover acciones didácticas que movilicen el desarrollo de elementos teóricos previos a partir de ejercicios prácticos.

Dentro de los trabajos previos que fueron revisados, se hallaron propuestas similares que, si bien no se enfocan todos ellos en la construcción del prototipo, sí realizan importantes aportes a la reflexión e implementación de acciones encaminadas a fortalecer y complementar el ejercicio de enseñanza-aprendizaje e incluso generar beneficios dentro y fuera del aula, lo cual favorece el carácter social de la educación, resultando positivo para la comunidad en general.

Por lo anterior, la búsqueda de los antecedentes se realizó a partir de la consideración de tres temáticas principales: la primera, es el diseño de prototipos pensados para la educación, la segunda, la realización de materiales de apoyo para la educación y la tercera, es el diseño de máquinas de termoformado.

Algunos de los trabajos destacados en la revisión documental de cada línea fueron los siguientes:

### **Diseño de prototipos pensados para la educación**

- Jorge Esneder Díaz Gutiérrez & Edwin Daniel Demoya Correal & Oscar Andrés González Torres. (2016). Diseño y construcción de prototipo para el aprendizaje del proceso técnico de afilado de buril. Trabajo de grado para optar el título de licenciado en diseño tecnológico. Universidad Pedagógica Nacional.

Descripción: El mencionado trabajo basa su indagación en el aula-taller de la carrera de Licenciatura en Diseño Tecnológico, específicamente en la asignatura “fundamentos de tecnología”, donde identifican una problemática específica referente a los procesos de afilado de buril, para mitigar esta deficiencia los autores plantean el diseño y fabricación de un prototipo de una máquina de afilado de buril.

Este trabajo evidencia la importancia y beneficios que se pueden obtener al dar la oportunidad a los y las estudiantes de poner en práctica los conocimientos vistos en la teoría, y desde un enfoque pedagógico fortalece y enriquece el proceso de aprendizaje en las aulas de clase.

Aportes: Se tomó en cuenta este trabajo como aporte para el presente informe ya que en este se ejemplifica, comparte y aporta, a la problemática planteada debido a que tal deficiencia surge por la falta de herramientas, maquinaria y dispositivos que cumplen funciones pedagógicas y didácticas, tanto en el taller como en el aula de clase.

- Ruth Yibeth Lizcano Prada, Lida Mercedes Otálora Virgüez, Carlos Alfredo Bermúdez Arenas. (2018). Elaboración e implementación de un recurso educativo para la enseñanza y el aprendizaje de conceptos relacionados con transmisión de movimiento. Trabajo de grado para optar el título de licenciado en diseño tecnológico. Universidad Pedagógica Nacional

Descripción: El trabajo de grado está dirigido a los estudiantes de la Universidad Pedagógica Nacional para los cuales elaboraron un recurso educativo para la enseñanza y aprendizaje de conceptos relacionados con la transmisión de movimiento.

En este trabajo se ve reflejada la importancia de dinamizar las actividades educativas en pro del aprendizaje, ellos en su implementación del recurso educativo basaron las actividades realizadas en el constructivismo y gracias a esto los estudiantes tuvieron la oportunidad de conocer la teoría previamente, complementado y fundamentando el conocimiento adquirido en la transmisión de movimiento.

Aportes: Se toma este trabajo como antecedente ya que se realiza un prototipo, el cual, es utilizado en el aula de clase como un recurso pedagógico dando fuerza a la intención de este trabajo, también toman como modelo pedagógico el constructivismo para el planteamiento de actividades a realizar con el prototipo, se tomó este enfoque como guía para el planteamiento y elaboración de la clase y las actividades a realizar con su prototipo.

- Jossie Steven Rodríguez Goyeneche. (2020). Diseño y desarrollo de un prototipo funcional; desgranadora de arveja para un mercado local. Trabajo de grado para optar el título de licenciado en diseño tecnológico, Universidad Pedagógica Nacional.

Descripción: En dicho trabajo de grado se presenta un prototipo desgranador de arveja el cual fue proyectado para ser empleado en un mercado local donde se especializan en trabajar la arveja verde fresca, para esto tuvo en cuenta todas las problemáticas que generan el desgranamiento manual de arveja, el autor desarrolló su proceso de diseño basado en diagramas de árbol, con esto logra esbozar y analizar las dificultades implícitas del proceso.

Aporte: En este trabajo de grado fue posible evidenciar todo un proceso de diseño partiendo de una problemática relacionada con la optimización de tiempo de desgranado frente a la cual se llevó a cabo la realización de un prototipo funcional que permitió solventarla.

En general, el aporte más significativo de este trabajo tiene un carácter más esquemático que conceptual en la medida en que se tomó como referente el modelo organizativo y metodológico del proceso de investigación, esto dio una orientación que permitió elaborar y organizar la metodología del presente trabajo.

### **Materiales de apoyo para la educación**

- *Oscar Iván Rodríguez Rojas. (2015). Diseño de material didáctico e implementación de un software, para la iniciación experimental en circuitos eléctricos en estudiantes de grado 11. Trabajo de grado para optar el título de licenciado en física.*

Descripción: En este trabajo se desarrolla una propuesta pedagógica a partir de un ejercicio que facilite la enseñanza de construcción de circuitos eléctricos básicos a estudiantes de grado 11 mediante herramientas físicas (Cartilla didáctica) y tecnológicas (Software).

Aporte: Se toma como referente a partir del empleo de estrategias que involucran el uso de diferentes herramientas que permiten a los estudiantes aproximarse al manejo de conceptos mediante ejercicios prácticos, con el uso de insumos pedagógicos creados e implementados con el fin de dinamizar los conceptos abordados de forma teórica, en el caso del trabajo en cuestión,

dichos insumos se materializaron en una cartilla y un Software experimental, con los cuales fue posible que los estudiantes se apropiaran de algunos conceptos relacionados con el campo de la física a partir de la interacción con el material de apoyo.

### **Diseño de máquinas de termoformado**

- Alexis Jamil Calle Cabrera & Marcos Andrés Sánchez Marcillo. (2017). Diseño de una máquina de termoformado para laboratorio. Trabajo de grado para optar el título de ingeniero mecánico. Escuela superior politécnica del litoral. Guayaquil-Ecuador.

Descripción: El trabajo citado centra su investigación en el aula- taller del laboratorio de polímeros de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y ciencias de la producción (FIMCP) de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), donde identifican una problemática alusiva a la necesidad de contar con un instrumento que recree el proceso de termoformado, como solución los autores proponen el diseño de un instrumento de laboratorio o máquina que supla las necesidades de interacción de los estudiantes con el proceso de termoformado.

En este trabajo se evidenció la importancia de la correcta recolección de información pertinente, que resuelva las inquietudes en el desarrollo del diseño, así como la importancia de estudiar las diferentes opciones de diseño que aporten a solucionar el problema, destacan la necesidad de contar con conocimientos en Ciencia de los materiales, Diseño mecánico, entre otros.

Aportes: Se tomó en cuenta este trabajo como aporte para el presente informe de trabajo de grado, por cuanto, se presenta el proceso contextualizado de diseño de una máquina de termoformado.

- Flor Yazmín Méndez Martínez. (2012). Análisis térmico de una placa para una prensa de termoformado. Trabajo de grado para optar el título de ingeniera mecánica. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

Descripción: Este trabajo fundamenta su investigación en la identificación de los principales factores involucrados en el calentamiento de una placa para mejorar la homogeneidad

de la temperatura en el termoformado, mediante la obtención de resultados tanto experimentales como numéricos, la autora plantea procedimientos por medio de simulaciones para diferentes placas de calentamiento.

En este trabajo se puede evidenciar la importancia de estudiar, proponer y validar las propuestas mediante un trabajo de investigación que parte de la identificación de factores y conceptos a trabajar, y que en segundo lugar requieren del análisis con herramientas de experimentación, simulación y comparación de resultados, para finalmente, concluir de forma objetiva los elementos importantes de la investigación.

Aportes: Se toma este trabajo como antecedente ya que comparte y aporta una de las problemáticas que se presentan en este proyecto, que tiene que ver con la forma de seleccionar correctamente los elementos que inciden en el desarrollo del proyecto, en este trabajo puntualmente se realizan trabajos de indagación, simulación 3D y cálculos de calentamiento.

En conclusión, es posible determinar que mediante el análisis documental de antecedentes, se plantean diversos aportes en términos metodológicos y conceptuales que enriquecen el trabajo actual permitiendo a su vez, reflexiones en torno a dilemas pedagógicos que son objeto de análisis en el contexto educativo, tales como; resolución de problemáticas en el aula y en contextos próximos, necesidad de recursos pedagógicos que refuercen ejercicios teóricos en el aula: tales como materiales didácticos y la pertinencia del uso de herramientas, máquinas y prototipos como complemento y como espacio de aprendizaje práctico, en donde se movilice el interés y el aprendizaje experiencial de los estudiantes y docentes.

## Objetivos

### Objetivo general

- Diseñar y fabricar un prototipo de máquina termoformadora de polímeros como recurso pedagógico en la asignatura Materiales y Procesos II de la Licenciatura en Diseño Tecnológico.

### Objetivos específicos

- Establecer antecedentes que se relacionan con el presente informe para analizar e indagar aspectos que influyan en el desarrollo del proyecto.
- Identificar las especificaciones de un prototipo de termoformadora, aplicando el método por etapas de Michael French.
- Validar experimentalmente el funcionamiento del prototipo.
- Implementar las fases del proceso de producción de un material educativo propuesto por Mario Kaplun para el diseño de una cartilla guía.

## Capítulo 2: Marco teórico

"Si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, enunciaría este: El factor más importante que influye en el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe.

Averígüese esto y enséñese consecuentemente".

Ausubel

En el presente marco teórico se enuncian los conceptos básicos y principales que favorecen la elaboración del presente trabajo de grado, esto permite identificar el enfoque, propósitos, y a su vez facilitar la comprensión.

A continuación, se presenta un mapa con los ejes temáticos:





*Diagrama 1. Diagrama organizacional del marco teórico. Fuente: Elaboración propia.*

## **Marco teórico pedagógico**

### **Aprendizaje significativo**

El concepto de aprendizaje significativo está ligado a la psicología constructivista en la medida en que, en ambos casos se estipula que el estudiante no solo es el que recibe conocimiento, sino que también puede construir y generar conocimiento propio. Este tipo de aprendizaje enuncia que un estudiante ya posee conocimientos previos, los cuales relaciona con los nuevos reajustando, generando o reconstruyendo a su vez uno nuevo. Ausubel 1983 plantea que “el aprendizaje del alumno depende de la estructura cognitiva previa que se relaciona con la nueva información, debe entenderse por "estructura

cognitiva", al conjunto de conceptos, ideas que un individuo posee en un determinado campo del conocimiento, así como su organización”.

Este tipo de aprendizaje se genera en el estudiante cuando este tiene unos conocimientos previos o una base de los nuevos conocimientos que ya hacían parte de su estructura cognitiva, estas relaciones determinan en él un carácter más cercano y familiar, promoviendo incluso la apropiación de contenidos y conceptos con base en los intereses particulares del estudiante.

El aprendizaje significativo como marco teórico, permite un ejercicio de reflexión constante en cuanto a los factores que contribuyen a que ocurra el aprendizaje, siendo un elemento de reflexión que no sólo se ocupa de observar y medir resultados o ejercicios mecánicos, sino de plantear estrategias que promuevan que el aprendizaje se genere de forma consecuente con los conceptos previos e intereses de los estudiantes.

### **Didáctica**

En el ámbito de la enseñanza un factor importante es la motivación que el educador puede generar en el estudiante a la hora de aprender, de esto depende que se cumplan los objetivos de aprendizaje de un tema determinado, con el propósito de orientar este proceso los docentes atienden a las necesidades del estudiante utilizando diferentes métodos y recursos de enseñanza que generen el aprendizaje de un tema en específico, tal y como afirma Ferrández, Sarramona y Tarín (1977):

La didáctica es la rama de la pedagogía que se ocupa de orientar la acción educadora sistemática, y en sentido más amplio: “como la dirección total de aprendizaje” es decir, que abarca el estudio de los métodos de enseñanza y los recursos que ha de aplicar el educador o educadora para estimular positivamente el aprendizaje y la formación integral y armónica de los educandos. (Ferrández, Sarramona y Tarín. 1977. p.34)

Es así como la didáctica se convierte en un elemento muy importante en la labor docente que bien empleada puede ser decisiva en el aprendizaje de los estudiantes.

### **Materiales didácticos**

Los materiales didácticos son todos los elementos que emplea el docente para facilitar e incentivar el aprendizaje en el estudiante, por medio de estos se desarrollan los conceptos y contenidos pertinentes para la construcción del conocimiento y así garantizar un aprendizaje significativo.

Tal y como afirma Cabero los materiales didácticos son:

Todos los objetos, equipos y aparatos tecnológicos, espacios y lugares de interés cultural, programas o itinerarios medioambientales, materiales educativos que, en unos casos utilizan diferentes formas de representación simbólica, y en otros, son referentes directos de la realidad. Estando siempre sujetos al análisis de los contextos y principios didácticos o introducidos en un programa de enseñanza, favorecen la reconstrucción del conocimiento y de los significados culturales del currículum. (Cabero J. 2001).

Con el fin de garantizar la efectividad del material didáctico estos deben incluir elementos de interés para el estudiante que a su vez le permitan aprender y profundizar los contenidos de determinado tema.

### **Entorno educativo**

El entorno educativo puede definirse como el espacio físico en el cual los estudiantes aprenden y se relacionan, este puede estar determinado por diferentes aspectos tales como; el espacio geográfico, el contexto, la cultura, etc. El entorno educativo constituye un factor fundamental ya que este puede optimizar el aprendizaje y dinamizar la práctica educativa, por ende, dicho entorno debe ser agradable, cómodo y principalmente contar con las herramientas necesarias para la práctica, este último factor juega un papel importante a la hora de generar aprendizaje a través de la experiencia, puesto que un completo entorno educativo brinda al estudiante la posibilidad de ejercer mediante la práctica el fundamento teórico previo generando a su vez un aprendizaje significativo. Según Esteban, M. (2002) “Como es sabido, la manipulación, la actividad entendida en sentido no exclusivamente físico (elaborar un producto, manipular parámetros, tomar decisiones, simular situaciones, etc.) e influir, a través de ello, en el entorno es un requisito y apoyo para lograr un aprendizaje significativo. (Esteban, M. 2002. p5)

## **Marco teórico específico**

### **Polímeros**

Un polímero es una sustancia que se compone de grandes moléculas que también las llaman macromoléculas, estas están formadas por la unión de varios elementos de nominados monómeros, como afirma;

F.W. Billmeyer, Un polímero es una gran molécula construida por la repetición de pequeñas unidades químicas simples. En algunos casos la repetición es de forma lineal, de forma semejante a como una cadena la forman sus eslabones. En otros casos las cadenas son ramificadas o interconectadas formando retículos tridimensionales. La unidad repetitiva del polímero es usualmente equivalente o casi equivalente al monómero o material de partida del que forma el polímero. (Billmeyer. 1973, p.33)

### **Principales propiedades de los polímeros**

Aunque existen variados tipos de plásticos y todos estos presentan características muy diferentes comparten una serie de propiedades entre sí, estas características son propias del material y hacen que sean diferenciados y valiosos dependiendo del uso que se plantee darles, estas propiedades son: Densidad, conductividad térmica y conductividad eléctrica.

Densidad: “El rango de densidades de los plásticos es relativamente bajo y se extiende desde 0.9 hasta 2.3 g/cm<sup>3</sup>. Entre los plásticos de mayor consumo se encuentran el PE (polietileno) y el PP (polipropileno), ambos materiales con densidad inferior a la del agua” (M. Beltrán y A. Marcilla, 2012, p.33). Esta propiedad les permite a los polímeros poder suplantar a otros materiales un ejemplo de esto es el aluminio ya que esto les permite que sean resistentes, pero a la vez ligeros y fáciles de manejar.

Conductividad térmica: “El valor de la conductividad térmica de los plásticos es sumamente pequeño. Los metales, por ejemplo, presentan conductividades térmicas 2000 veces mayores que los plásticos” (M. Beltrán y A. Marcilla, 2012, p.33). la ventaja de tener baja la conductividad térmica de los polímeros les permite ser utilizados como aislantes térmicos y estos se encuentran en cosas comunes que generalmente se tienen en los hogares como embaces para guardar o llevar comida.

Conductividad eléctrica: La conductividad eléctrica de los polímeros al igual que la térmica es baja esto permite que sean aislantes eléctricos lo cual resulta una gran ventaja por su poco peso y permite ser utilizado en diferentes artículos de electrónica también se encuentran en los cargadores o cables de los celulares.

Los polímeros también cuentan con otras propiedades aparte de las 3 principales ya mencionadas algunas de ellas son las propiedades ópticas que se encuentran en algunos polímeros translucidos y que en múltiples ocasiones remplazan a los vidrios, otra propiedad de los polímeros es la resistencia química que le permite resistir diferentes productos y ácidos, y por ultimo unas de las propiedades características e algunos polímeros es su gran elasticidad y son utilizados en cauchos neumáticos o son utilizados para crear artículos de vestuario cómodos.

### **Clasificación de los polímeros**

A continuación, se presenta la clasificación de los polímeros según el comportamiento del material al deformarse (Phulé, 2004):

- Termoplásticos. Están compuestos por cadenas lineales flexibles, dicho material tiene la facilidad de ablandarse y fundirse ante un incremento de temperatura. Esta propiedad permite que se pueda cambiar de forma fácilmente manteniendo sus propiedades mecánicas intactas. Ejemplo: Polietileno.
- Termoestables. son formados por redes tridimensionales calentarse dicho material se ablanda y se puede deformar, sin embargo, el calor desencadena reacciones químicas que lo harán rígido permanentemente y no permite que el material vuelva a fundirse. Ejemplo: Poliuretano.
- Elastómeros. Son cadenas de termoplásticos y termoestables entrelazados entre sí, este material tiene alta deformación elástica. Ejemplo: Hule natural.

### **Materiales adecuados para termoformado**

Los materiales más adecuados para el proceso de termoformado son básicamente todos los polímeros termoplásticos. “Dichos materiales, cuando son sometidos a un calentamiento presentan una variación en su módulo de elasticidad, dureza y capacidad de resistencia bajo carga.” (Manual del

termoformado Plastiglas México, (1999), p.8). Al aumentar la temperatura el material pasara a un estado ahulado esto se puede notar rápidamente en el pandeo de la lámina.

POLÍMEROS	TEMPERATURA DE DEFLECCIÓN AL CALOR			TEMPERATURA DE TERMOFORMADO		
	A 264 PSI (°C)	A 66 PSI (°C)	SIN CARGA (°C)	TEMP. DE LA HOJA (°C)	TEMP DEL MOLDE (°C)	TEMP DE AYUDA (°C)
Acrílico extruido	94	98		135-175	65-75	
Acrílico cell-cast	96	110		160-180	65-75	
Acetobutirato de celulosa	65-75	75-80	120-150	140-160		
Polietileno de alta densidad		60-80	100	145-190	95	170
Polipropileno	55-65	110-115	140	145-200		
Poliestireno	70-95	70-100	100	140-170	45-65	90
Poliestireno alto impacto	85-95	90-95	120	170-180	45-65	90
SAN	100	105		220-230		
ABS	75-115	80-120	95	120-180	70-85	90
Polivinilo de cloruro (R.V.C.)	70	75	110	135-175	45	80
Polycarbonato	130	140	160	180-230	95- 120	140

Figura 1. Materiales adecuados para termoformado. Fuente: Manual de termoformado Plastiglas México.

En la figura 3 están clasificados los polímeros más adecuados para el proceso de termoformado, en él se resalta la temperatura que necesita cada material para poder ser termoformado y adquirir la forma del molde deseado, este dato es importante a la hora de manejar el prototipo, al no seleccionar la temperatura apropiada para el material, no se podrá obtener un resultado óptimo del proceso generando arrugas u otros desperfectos.

### Proceso de termoformado

El termoformado es un proceso de transformación o deformación del plástico, el cual se realiza al utilizar una lámina que es calentada, hasta alcanzar su punto elástico, la cual, toma la forma del molde sobre el cual es colocada, este proceso puede ser realizado a través de vacío, presión y temperatura. Una de las grandes ventajas del termoformado es el poco uso de herramientas y su menor tiempo de producción.

Algunas de las industrias en las cuales se usa el termoformado para sus productos son:

- **Industria del empaque:** Gracias al beneficio que ofrece el termoformado en temas de costo-beneficio, la industria del empaque ha sido en la cual se implementa, los artículos que más se empacan con termoformado son; Cosméticos, carnes frías, refrescos, dulces, artículos de papelería, etc.
- **Industria de la comida para llevar:** En este campo es muy utilizado desde empaques para comidas completas (empaques con divisiones) hasta empaques para hamburguesas, refrescos, etc.
- **Transporte:** En los medios de transporte que se usan como el avión, carros, trenes, etc., tienen dentro de su conjunto de partes algunos plásticos termoformados, los cuales no son usados en la parte estructural, pero si en la parte estética ya sea por fuera del vehículo o por dentro.

Estas son solo algunas de las principales industrias en las cuales el termoformado es una parte fundamental, otras industrias importantes, las cuales serán solo mencionadas, son señalización y anuncios, artículos para el hogar, industria alimenticia, industria médica, agricultura y horticultura, construcción y vivienda, entre otros.

### **Termoformado al vacío**

El proceso de termoformado consiste en calentar una lámina de cualquier material termoplástico y que esta tome la forma del molde que se desea, para lograr esto se necesita una fuerza externa que obligue a la lámina a tomar todo el contorno y copiar de manera perfecta el molde al cual se unió.

Las fuerzas más comunes que han sido utilizadas para el proceso de termoformado son vacío o aire a presión, fuerzas mecánicas y la combinación de estas tres la selección del método depende del tamaño y el volumen del producto que se quiere copiar.

“El principio básico del proceso de formado al vacío es el contar con una lámina termoplástica reblandecida sobre un molde perfectamente sellado y donde el aire atrapado será evacuado por la fuerza de vacío o succión”. (Manual del termoformado. 1999. p.34). Mientras la fuerza de succión va evacuando

el aire la presión que se genera en el molde obliga a la lámina a tomar la forma de este creando una copia detallada.

Un equipo de vacío que puede ser utilizado para este fin es el tanque de vacío:

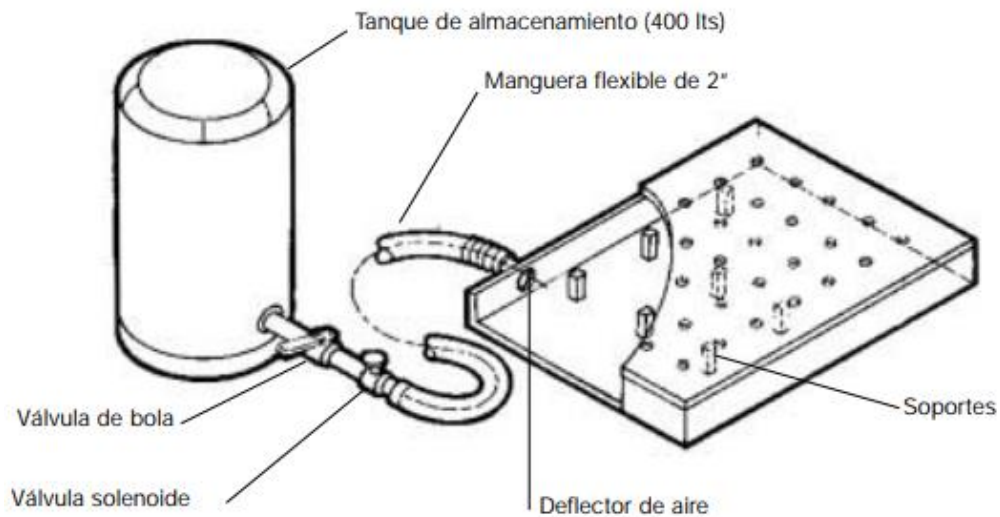


Figura 2. Tanque de vacío. Fuente: Manual del termoformado, (1999).

Según el (Manual del termoformado Plastiglas México, (1999)). “En muchos de los casos un rápido desplazamiento de vacío es de gran importancia. Esto sólo puede ser efectuado localizando el tanque de vacío lo más cercano al molde y reduciendo lo más posible la fricción en la tubería, esto se puede lograr mediante:

- a) Un mayor diámetro de la tubería.
- b) Contar con curvas generosas en la tubería, evitando codos a 90°.
- c) Cambios en la sección transversal de la tubería (cambios de diámetros).” (p36).

### **Bombas de succión**

Las bombas de succión son dispositivos que se utilizan para bombear un fluido de un lugar a otro, estas son utilizadas generalmente en industrias de petróleo, gas, aguas residuales entre otras.

“La característica principal de la bomba es la de convertir energía de una fuente de movimiento (motor) primero en velocidad (energía cinética) y después en energía de presión. El funcionamiento es simple: dichas bombas usan el efecto centrífugo para mover el fluido y aumentar su presión. Dentro de



una cámara emética dotada de entrada y salida gira una rueda con paleta el cual es el corazón de la bomba.” (Gustavo Tolentino 2013)

### **Presión absoluta**

La presión absoluta es el valor total de presión que actúa sobre un cuerpo o sistemas y es la resultante de la suma entre la presión atmosférica y la presión relativa.

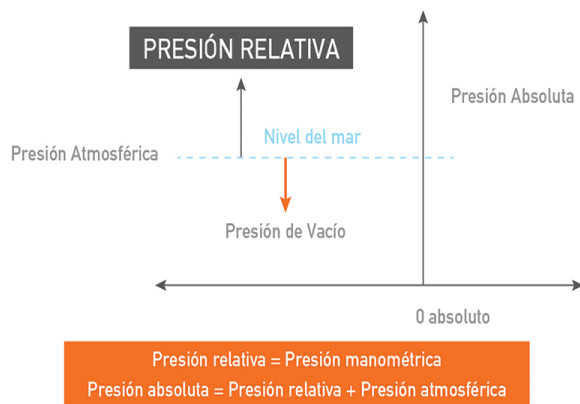


Figura 3. Presiones. Fuente Ingeniería Alimentaria

[¿QUÉ ES LA PRESIÓN? | Ingeniería Alimentaria \(ialimentaria.com.ar\)](http://ialimentaria.com.ar)

### **Presión relativa**

“La presión relativa o manométrica es la determinada por un elemento (manómetro, transmisor de presión...) que mide la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica del lugar donde se efectúa la medición.” (Ingeniería Alimentaria (2020).)

### **Presión atmosférica**

La presión atmosférica es aquella que ejerce la atmósfera sobre la superficie de la tierra y todo lo que se encuentra en ella, a medida que se cambia de altitud esta presión varía, entre menos altura haya, la presión será mayor debido a que la cantidad de masa de aire es mayor.

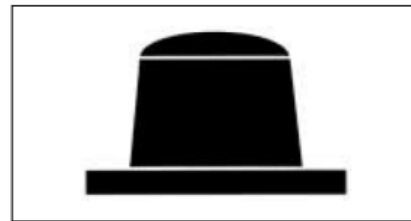
### Moldes para termoformado

En la industria del termoformado se utilizan moldes con diferentes características que dependen del tipo de producto que se desea obtener, así como también del acabado de la pieza, según el manual de termoformado de Plastiglas México, los tres principales aspectos a considerar son:

1. Forma y dimensiones de la pieza.
2. Apariencia de la pieza.
3. Volumen estimado de fabricación.

Otros elementos a tener en cuenta que se mencionan en el manual, están relacionados con los bordes de los moldes, en los cuales deben evitarse paredes de  $90^\circ$ , el molde deberá tener un ángulo de salida de por lo menos  $3^\circ$ . Como se muestra en la imagen.

5. Una pequeña curvatura del molde en las partes planas de las áreas grandes, permitirá obtener áreas planas al enfriar el material.



6. No se podrán obtener piezas con paredes a  $90^\circ$ , el molde deberá tener un ángulo de salida de por lo menos  $3^\circ$ .

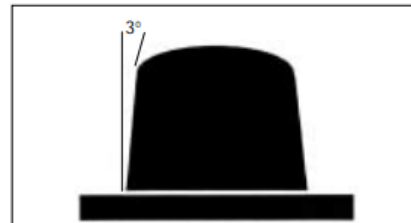


Figura 4. Molde Macho. Fuente: Manual de termoformado Plastiglas México

Uno de los tipos de moldeo en el proceso de termoformado al vacío, es el realizado por molde macho, debido a su facilidad de utilización.

“Un molde macho es más fácil de usar, cuesta menos y es el más adecuado para formar piezas profundas. En general un molde hembra no deberá emplearse para formar piezas que requieran una profundidad mayor de la mitad del ancho de la pieza. El molde hembra se usará cuando la pieza terminada requiera que la cara cóncava no tenga contacto con el molde” (manual de termoformado Plastiglas México, (1999), p.43). En la imagen se muestra un ejemplo de molde macho.

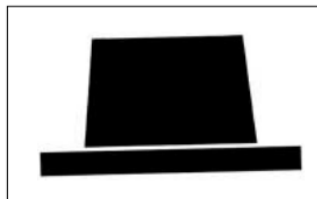


Figura 5. Molde Macho. Fuente: Manual de termoformado Plastiglas México

Para la fabricación de moldes se utilizan diferentes materiales, según el manual, existen cuatro grupos para la construcción de moldes de termoformado:

- 1) Madera
- 2) Minerales
- 3) Resinas plásticas
- 4) Metales

En las imágenes se muestra el empleo de los materiales anteriormente mencionados en moldes de termoformado.

GRUPO	MATERIALES EMPLEADOS	VOLUMEN DE PRODUCCIÓN	VENTAJAS Y DESVENTAJAS
Maderas	Pino Caoba Cedro Maple Triplay Aglomerado	Baja	Estos moldes se caracterizan por ser de bajo costo, tiempo de construcción corto y buen acabado superficial, aunque en algunos casos la veta de la madera deje marcas de moldeo. La madera deberá ser estufada y si se desea un mejor acabado y evitar cambios dimensionales debido a la humedad, los moldes deberán sellarse con caseína, barniz fenólico o resina epóxica diluida en metil etil cetona. Para lograr un mejor acabado la veta de la madera debe estar paralela a la longitud del molde. Los moldes hechos con triplay o aglomerado tienen más duración. La duración del molde puede prolongarse considerablemente reforzando las aristas con metal.

Figura 6. Empleo de materiales en molde de termoformado.

Fuente: Manual de termoformado Plastiglas México.

GRUPO	MATERIALES EMPLEADOS	VOLUMEN DE PRODUCCIÓN	VENTAJAS Y DESVENTAJAS
Minerales	Yeso (carbonato de calcio) Fluosilicato de sodio	Baja Mediana	Los moldes de yeso tienen mayor duración que los de madera y pueden vaciarse de un compuesto de yeso de bajo encogimiento, alta resistencia y reforzados en su interior con malla de metal, fibra de vidrio u otros materiales que no absorban humedad. El yeso se vacía sobre el modelo y debe dejarse curar por espacio de 5 a 7 días a temperatura ambiente. Si la superficie del modelo es buena, no se requerirá un acabado posterior. Los recubrimientos de resina poliéster, epóxica o fenólica proporcionan una superficie más resistente. Deben tenerse extremas precauciones para no astillar el yeso al hacer las perforaciones de vacío. En ocasiones puede eliminarse las perforaciones, si se dejan previamente insertados trozos de alambre, que sean removidos de su sitio después del fraguado.
Resinas plásticas	Resina poliéster, Resina epóxica, Resina fenólica, Laminados plásticos, Nylon	Mediana	Los moldes de resinas plásticas son más costosos y elaborados que los de yeso o madera, pero ofrecen una mayor duración, superficies más tersas y mejor estabilidad dimensional. A las resinas poliéster, epóxicas o fenólicas se pueden cargar con polvo de aluminio, que proporciona una temperatura más homogénea del molde o, con caolín, fibra de vidrio y otras cargas. A estos moldes se puede incorporar el sistema de vacío, embebiendo media caña de cartón en la parte posterior del molde.
Metálicos	Aluminio, Cobre-berilio, Fierro	Alta	Son ideales para grandes corridas de producción, altas presiones o formado mecánico. Pueden usarse moldes de fundición en aluminio, bronce o cualquier otra aleación de bajo punto de fusión, y maquinados en acero, latón o bronce. Son los más costosos, el tiempo de construcción es largo, tienen mejor acabado superficial, bajo costo de mantenimiento y mejor estabilidad dimensional. Es forzoso utilizar sistema de enfriamiento, así como evitar enfriamientos rápidos en la pieza.

Figura 7. Empleo de materiales en molde de termoformado.

Fuente: Manual de termoformado Plastiglas México.

### **Capítulo 3: Metodología**

En este capítulo se presentan las etapas realizadas para el desarrollo del presente trabajo de grado, el cual consiste en el diseño de una propuesta de material de apoyo educativo para la asignatura de Materiales y Procesos II del programa de Licenciatura en Diseño Tecnológico de la Universidad Pedagógica Nacional, el material pretende ser un recurso pedagógico en la enseñanza-aprendizaje del proceso de termoformado de polímeros.

La propuesta del diseño del recurso pedagógico consta de una máquina termoformadora de polímeros con dimensiones y características adecuadas para un entorno educativo, además se incluye una cartilla guía en la que se plantea una sesión de clases con una actividad que el estudiante está en la capacidad de realizar con la máquina de termoformado. Este material es un recurso que puede emplear el docente para mediar el proceso de enseñanza- aprendizaje.

En el siguiente diagrama se presenta la metodología asumida para el desarrollo de la propuesta.

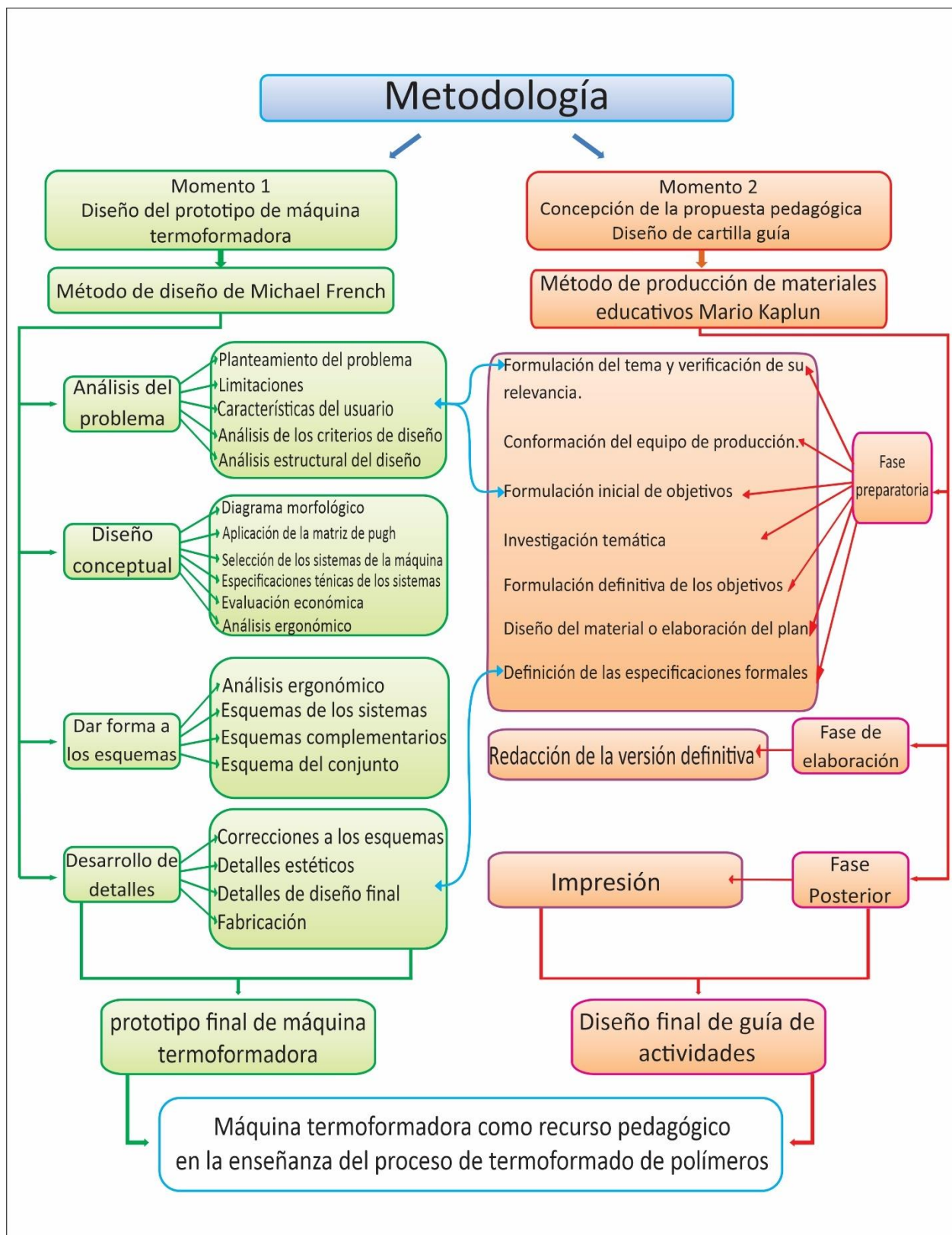


Diagrama 3. Diagrama organizacional de la metodología. Fuente: Elaboración propia.

## Momento 1

### Diseño del prototipo de máquina termoformadora

#### Método de diseño de Michael French

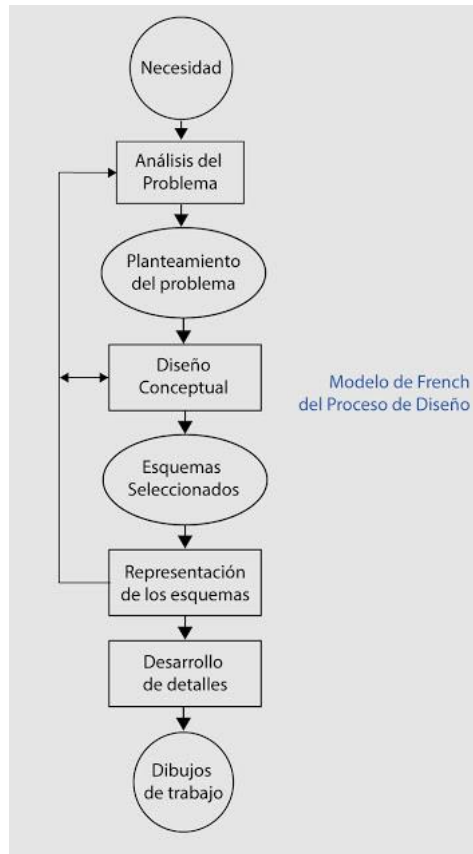


Figura 8. Modelo de Michael French del proceso de diseño. Fuente: Métodos del diseño Nigel Cross.

<http://metodologiayproyectorfinal.blogspot.com/2018/03/metodologia-de-diseno-por-nigel-cross.html>

El autor Michael French quien afirma que el diseño puede expresarse en cuatro niveles generales de definición que determinan los resultados de las etapas sucesivas (Michael French, 1985). El método tiene como objetivo organizar cada una de las actividades anexas a desarrollar en el proceso, con el fin de obtener los resultados deseados en el diseño de la materialidad. Las etapas del proceso de diseño son: (1) Análisis del problema; (2) Diseño conceptual; (3) Dar forma a los esquemas; (4) Desarrollo de detalles. En el diagrama que se observa en la figura 1, se puede apreciar el modelo esquemático del método, los

círculos representan los resultados alcanzados que son consecuencia de las etapas desarrolladas y los rectángulos representan las etapas o actividades del trabajo en curso.

### **Etapas 1: Análisis del problema**

#### Planteamiento del problema de diseño

Se identifica la necesidad de contar con un recurso pedagógico que permita comprender de forma práctica los conceptos teóricos del proceso de termoformado de polímeros enseñados en la asignatura de Materiales y Procesos II de la licenciatura y sea utilizado como recurso pedagógico que facilite la comprensión de otros conceptos técnicos y tecnológicos vistos en otras asignaturas.

Mediante la búsqueda de información relacionada con el proceso de termoformado y con características de los diferentes modelos encontrados de termoformadora, Se establecieron parámetros iniciales de diseño de acuerdo a los objetivos que se pretenden alcanzar, teniendo en cuenta los factores principales para realizar un diseño de una máquina termoformadora factible, viable y deseable, considerando elementos pertinentes del contexto, en este caso un entorno educativo, además de plantear su finalidad (para que será utilizada y por quien será utilizada)

Se especifican las necesidades de diseño y fabricación, teniendo en cuenta elementos físicos, tales como: Dimensiones, peso, estructura, elementos de calefacción, voltaje, temperatura, área útil de formado, desplazamiento de la lámina, capacidad de vacío y elementos de control. Todos estos elementos que deben cumplir con la especificación de bajo costo.

#### **Limitaciones del diseño**

Previamente se identificaron los condicionamientos del diseño, estos están definidos como las diferentes limitaciones o desafíos a superar, se identificaron diferentes restricciones a evaluar tales como:

Limitaciones de tiempo: Este factor está delimitado por un cronograma establecido para el cumplimiento de los objetivos planteados inicialmente, se utiliza de la mejor manera el tiempo dedicado al análisis y evaluación de la propuesta de diseño de material de apoyo educativo y su posterior fabricación.



Limitaciones de presupuesto: Se tuvo en cuenta cada uno de los costos mínimos de los elementos que componen el material, procesos a utilizar en su fabricación, herramientas, movilidad entre otros, para este diseño se manejó un presupuesto reducido que se utilizó de la manera óptima posible.

Limitaciones físicas: Dependieron del espacio donde se ubica el material de apoyo educativo, en este caso el taller de tecnología o en su defecto un salón de clases, se contemplan las dimensiones que cumplan con los requerimientos básicos de aprendizaje de los estudiantes, al no ser una máquina industrial, su tamaño puede ser reducido, pero suficiente.

Limitaciones tecnológicas: Están determinadas por las posibles restricciones que se presenten en el uso de la tecnología disponible. Restricciones que se presentan durante la fabricación del material.

Limitaciones de motivación del usuario: Entendiendo que se diseña como parte del recurso pedagógico, en este caso un prototipo de máquina termoformadora se hizo necesario implementar recursos que generen en el usuario (estudiante-docente), motivación y curiosidad en el uso del recurso pedagógico, sin dejar de lado el factor de seguridad que permite manipular de forma cómoda, segura y didáctica dicho material.

### **Características del usuario**

Se tiene en cuenta el tipo de usuario, en este caso la población para la cual se diseñó el prototipo, son estudiantes de sexto semestre de la Licenciatura en Diseño Tecnológico de la Universidad Pedagógica Nacional, quienes cursan la asignatura de Materiales y Procesos II con edades aproximadas de entre 20 a 30 años. Acorde a lo anterior se determinaron algunos parámetros de diseño a tener en cuenta en el diseño del prototipo de la de termoformadora, estos parámetros son:

- El equipo debía de ser completamente funcional.
- Seguro para el usuario (estudiante-docente).
- De fácil manipulación.
- Contar con parámetros ergonómicos.
- De fácil mantenimiento.
- Características Estéticas.

### **Análisis de los criterios de diseño**

Los criterios de diseño de la máquina de termoformado se establecieron acorde a las necesidades y limitaciones, adicionalmente, considerando su funcionamiento, ergonomía, dimensiones, materiales, recursos humanos y económicos.

A continuación, se encuentra el análisis de los criterios que incidieron en el diseño y posterior elaboración del prototipo de máquina termoformadora, de esta manera se establecieron las opciones y recursos disponibles.

Estos criterios son:

- **Costos de fabricación:** El factor del costo determinó tanto materiales como mecanismos a utilizar, es uno de los factores más importantes ya que establece la relación entre calidad del equipo y el presupuesto que debe ser viable para el fabricante.
- **Seguridad:** Este factor se hizo necesario ya que en el entorno donde la máquina será utilizada es un entorno educativo que requiere que se garantice completa seguridad al manipular material.
- **Facilidad de construcción:** Incluye los elementos que puedan significar dificultad a la hora de la construcción, elementos como materiales, equipos o herramientas al alcance, factor humano entendido como personas o profesionales que apoyan la fabricación del material, además de la facilidad de hallar un espacio que se acople a las necesidades.
- **Vida útil:** Depende de la cantidad y tiempo de trabajo a la que se someta el equipo, al ser propuesta para ser usada en una asignatura específica, en este caso materiales y procesos 2, dependerá del tiempo de uso establecido, además de la calidad de los materiales escogidos y el mantenimiento adecuado.
- **Mantenimiento:** El mantenimiento contemplo los elementos que generan deterioro con el tiempo o por mala manipulación, el daño o desgaste de cada estación donde se realiza el proceso de termoformado se evita con un detallado manual del usuario. Es un factor muy importante ya que permite mitigar las consecuencias de posibles fallos, previniendo futuros accidentes al usuario.

Una selección adecuada de los sistemas y materiales permite realizar menos mantenimiento en más tiempo.

- Estética: Este factor generalmente se omite en muchos diseños, pero es de importancia al momento de presentar la alternativa del prototipo de la termoformadora, con la intención de motivar al estudiante al momento de su uso, debe incluir elementos ergonómicos para el adecuado uso y manipulación por parte de los estudiantes y docentes de la institución, es indispensable incluir apoyos didácticos en cada estación de trabajo que facilite, además, de su operación, el aprendizaje del proceso para los estudiantes.

#### **Análisis estructural del diseño:**

Para el análisis estructural de la máquina de termoformado se consultó el manual de termoformado de Plastiglas de México S.A, fabricantes de termoformadoras, y se tuvo en cuenta los diseños realizados en los trabajos tomados como antecedentes, todo esto teniendo en cuenta que a nivel educativo es poca la información que se tiene como licenciados en diseño tecnológico para poder desarrollar este tipo de elementos, en ellos se encontró que en general las termoformadoras cuentan con ciertos sistemas en común.

Estos sistemas son:

- Sistema de calefacción de la lámina: Es el encargado de calentar la lámina termoplástica uniformemente para ablandar el material.
- Sistema de estructura: Este se compone de los elementos de forma que soportan el peso de todos los demás sistemas de la máquina.
- Sistema de desplazamiento del marco de sujeción: Es el encargado de subir y bajar el marco de sujeción donde se encuentra la alamina, sube la lámina al sistema de calefacción y la baja a la caja de vacío.
- Sistema de formado: Aquí se genera el vacío, que consiste en succionar todo el aire de la caja de vacío a gran velocidad, lo que hace que la lámina reblandecida pueda adaptarse a la forma de un molde.

- Sistema de control: Es el que permite el paso de energía tanto para el encendido general de la maquina como para el encendido del sistema de calentamiento y de vacío.

Además de los sistemas anteriormente mencionados, se identifican otros elementos que componen el prototipo y que son importantes para su funcionamiento, estos elementos complementarios son:

- Caja de vacío: Es en la cual se deposita el molde a termoformar, además contiene el aire que el sistema de vacío debe a succionar.
- Marco de sujeción: En este marco se ubica y asegura la lámina termoplástica a utilizar en el proceso.

## **Etapa 2: Diseño conceptual**

Revisando y generando alternativas de solución para el diseño del prototipo de máquina de termoformado se encontraron diferentes sistemas que cumplen con los objetivos del proyecto, sin embargo, cada uno tiene características diferentes que se deben evaluar, para seleccionar la que mejor se adaptó a los requerimientos y objetivos de la propuesta. Para cada sistema, se seleccionaron 3 alternativas de diseño que se muestran en el siguiente diagrama morfológico:

### **Diagrama morfológico**

<b>Alternativas</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Sistema de calefacción de la lámina</b>	Horno de gas con circulación forzada de aire 	Horno de calentamiento infrarrojo 	Resistencia eléctrica de calentamiento lineal 
<b>Sistema de estructura</b>	Acero Cold Rolled 	Aluminio 	Acero inoxidable 



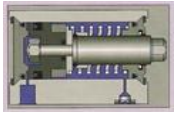
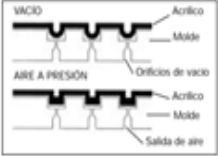
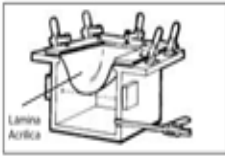


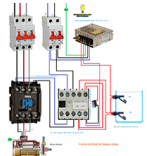
<p><b>Sistema de desplazamiento del marco de sujeción</b></p>	<p>Mecánico</p> 	<p>Motores o servomotores</p> 	<p>Actuadores electroneumáticos</p> 
<p><b>Sistema de formado</b></p>	<p>Aire a presión</p> 	<p>Al vacío</p> 	<p>Mecánico</p> 
<p><b>Sistema de control</b></p>	<p>Electrónico</p> 	<p>Eléctrico</p> 	

Diagrama 4. Diagrama morfológico de las alternativas de sistemas, Fuente: Manual de termoformado

*Plastiglas México e imágenes tomadas de la WEB*

A Continuación, se evaluaron las alternativas de los sistemas utilizando una herramienta que compara opciones entre sí de forma sistemática, en este caso, se optó por aplicar la matriz de Pugh y así elegir la opción más adecuada para el diseño.

### **Aplicación de la matriz de Pugh**

Para construir una matriz se tuvieron en cuenta los criterios de fabricación. Los criterios establecidos son: Costos de fabricación, facilidad de construcción, vida útil, seguridad, mantenimiento y estética.

Se define un peso de 1 a 3, tal y como propone el autor, irá desde el menos importante hasta el más importante en el diseño, de esta manera se tuvo un panorama objetivo de como evaluar las alternativas de solución

Tabla 1. Peso versus valor

Peso	Valor
1	Poco importante en el diseño
2	Importante en el diseño
3	Muy importante en el diseño

*La tabla número 1 muestra el valor correspondiente al peso con el que se evalúa cada criterio. Fuente: Autores.*

En la siguiente tabla se determinó el peso de cada criterio de acuerdo a su relevancia en el diseño, dando el valor de 1 a lo menos importante y un valor de 3 a lo más importante, dado que no todos los criterios influyen de la misma forma en la fabricación del prototipo.

Tabla 2. Peso de cada criterio

Peso	Criterio
3	Costos de fabricación
2	Facilidad de construcción
2	Vida útil
3	Seguridad
2	Mantenimiento
2	Estética

*La tabla número 2 muestra el peso asignado a cada criterio. Fuente: Autores.*

De la anterior tabla se infiere que se consideraron importantes los criterios de costos de fabricación y seguridad, a los que se les asignó un peso mayor, debido a que el factor económico representa una limitante en el proyecto de diseño, adicionalmente, el criterio de seguridad se considera importante, puesto que el diseño del prototipo se establece con fines educativos.

A continuación, se asignó la puntuación y valor a cada uno de los criterios para su selección, acorde al valor que corresponde, es decir, que entre menos beneficioso para el diseño tendrá una puntuación negativa y entre más beneficioso tendrá una puntuación positiva.

Tabla 3. Puntuación y valor de cada criterio

Puntuación	Valor costos de fabricación	Valor seguridad	Valor facilidad de construcción	Valor vida útil	Valor mantenimiento	Valor estética
-1	Muy costoso	Riesgoso	Muy difícil	Muy corta	Muy frecuente	Antiestético
1	Costoso	Poco seguro	Difícil	Corta	Frecuente	Poco estético
0	Económico	Seguro	Fácil	Larga	Escaso	Estético
2	Muy económico	Muy seguro	Muy fácil	Muy larga	Muy escaso	Muy estético

*La tabla número 3 muestra la puntuación de cada valor de los criterios de fabricación.*

Teniendo la asignación de valores de cada uno de los criterios de selección de los sistemas a utilizar en la termoformadora, se procedió a evaluar las alternativas mencionadas en el diagrama morfológico y seleccionar la más adecuada para la fabricación, eligiendo la que tenga la puntuación más alta.

### Sistema de calefacción de la lámina

Para el sistema de calefacción de la lámina, existen diferentes alternativas posibles para utilizar en este diseño, se identificaron tres diferentes para seleccionar uno de acuerdo a los criterios previamente establecidos:

Tabla 4. Selección del sistema de calefacción de lámina

<b>Sistema de calefacción de la lámina</b>				
<b>Criterios</b>	<b>Peso</b>	<b>Opciones de diseño</b>		
		<b>Horno de gas con circulación forzada de aire</b>	<b>Horno de calentamiento infrarrojo</b>	<b>Resistencias eléctricas de calentamiento</b>
Costos de fabricación	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>-1</b>	<b>2</b>
Facilidad de construcción	<b>2</b>	<b>-1</b>	<b>-1</b>	<b>1</b>
Vida útil	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>-1</b>	<b>0</b>
Seguridad	<b>3</b>	<b>-1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
Mantenimiento	<b>2</b>	<b>-1</b>	<b>-1</b>	<b>1</b>
Estética	<b>2</b>	<b>-1</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
<b>Suma:</b>		<b>-3</b>	<b>-3</b>	<b>5</b>
<b>Peso * Total</b>		<b>-6</b>	<b>-5</b>	<b>13</b>

*La tabla número 4, puntuación de cada criterio para el sistema de calefacción de la lámina. Fuente: autores.*



La alternativa seleccionada para el sistema de calefacción de la lámina fue la resistencia eléctrica de calentamiento lineal que tuvo la más alta puntuación de **13**.

#### **Sistema de estructura (material):**

Para el sistema de estructura existen diferentes alternativas posibles para utilizar en este diseño, se identificaron tres diferentes materiales para seleccionar uno de acuerdo a los criterios previamente establecidos:

Tabla 5. Selección del sistema de estructura (material)

<b>Sistema de estructura</b>				
<b>Criterios</b>	<b>Peso</b>	<b>Opciones de diseño</b>		
		<b>Acero al carbón Cold rolled</b>	<b>Aluminio</b>	<b>Acero inoxidable</b>
Costos de	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>-1</b>	<b>-1</b>
Facilidad de	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>-1</b>	<b>-1</b>
Vida útil	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Seguridad	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Mantenimiento	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
Estética	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>Suma:</b>		<b>7</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Peso * Total</b>		<b>17</b>	<b>8</b>	<b>10</b>

*La tabla número 5 muestra la puntuación de cada criterio para el sistema de estructura. Fuente: Autores.*

La alternativa seleccionada para el sistema de estructura fue acero al carbón Cold Rolled que tuvo la más alta puntuación de **17**.

### Sistema de control

Para el proceso de termoformado, el control de la máquina se puede ejecutar de forma manual, semiautomática y automática, se identifican tres diferentes para seleccionar uno de acuerdo a los criterios previamente establecidos:

Tabla 6. Selección del sistema de control.

<b>Sistema de control</b>			
<b>Criterios</b>	<b>Peso</b>	<b>Opciones de diseño</b>	
		<b>Sistema electrónico</b>	<b>Sistema eléctrico</b>
Costos de fabricación	3	-1	1
Facilidad de construcción	2	-1	1
Vida útil	2	-1	2
Seguridad	3	2	0
Mantenimiento	2	-1	1
Estética	2	2	1
<b>Suma:</b>		<b>0</b>	<b>6</b>
<b>Peso * Total</b>		<b>1</b>	<b>14</b>

*La tabla número 6 muestra la puntuación de cada criterio para el sistema de control. Fuente: Autores.*

La alternativa seleccionada para el sistema de control fue sistema eléctrico la cual tuvo la más alta puntuación de **14**

### Sistema de formado

De acuerdo al tipo de producto que se desea obtener y a la calidad de este, existen diferentes tipos de sistema de formado, se determinan tres opciones para evaluar con los criterios establecidos:

Tabla 7. Selección del sistema de formado

<b>Sistema de formado</b>				
<b>Criterios</b>	<b>Peso</b>	<b>Opciones de diseño</b>		
		<b>Formado con aire a presión</b>	<b>Formado al vacío</b>	<b>Formado mecánico</b>
Costos de fabricación	<b>3</b>	<b>-1</b>	<b>1</b>	<b>-1</b>
Facilidad de construcción	<b>2</b>	<b>-1</b>	<b>1</b>	<b>-1</b>
Vida útil	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
Seguridad	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2</b>
Mantenimiento	<b>2</b>	<b>-1</b>	<b>0</b>	<b>-1</b>
Estética	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Suma:</b>		<b>1</b>	<b>5</b>	<b>1</b>
<b>Peso * Total</b>		<b>2</b>	<b>11</b>	<b>3</b>

La tabla número 7 muestra la puntuación de cada criterio para el sistema de formado. Fuente: Autores.

La alternativa seleccionada para el sistema de formado fue el formado al vacío que tuvo la más alta puntuación de **11**.

### Sistema de desplazamiento del marco de sujeción

Para sistema de desplazamiento de la lámina existen diferentes mecanismos que varían según las direcciones del movimiento, de los tiempos de uso y del peso a soportar, se identificaron tres diferentes para seleccionar uno de acuerdo a los criterios previamente establecidos:

Tabla 8. Selección del sistema de desplazamiento del marco de sujeción

<b>Sistema de desplazamiento del marco de sujeción</b>				
<b>Criterios</b>	<b>Peso</b>	<b>Opciones de diseño</b>		
		<b>Sistema mecánico (rieles, bielas, palancas.)</b>	<b>Motores o servomotores</b>	<b>Actuadores electroneumáticos</b>
Costos de	3	2	-1	-1
Facilidad de	2	2	-1	-1
Vida útil	2	2	1	1
Seguridad	3	0	1	1
Mantenimiento	2	2	0	0
Estética	2	1	2	2
<b>Total</b>		<b>9</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>Peso * Total</b>		<b>20</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

La tabla número 8 muestra la puntuación de cada criterio para el sistema de desplazamiento del marco de sujeción. Fuente: Autores.

La alternativa seleccionada para el sistema de desplazamiento del marco de sujeción fue el sistema mecánico el cual tuvo la más alta puntuación de **20**.

### **Selección de los sistemas de la máquina**

Luego de obtener la puntuación de cada opción de los sistemas, comparando las alternativas de diseño por medio de la matriz de Pugh, se obtuvo la combinación de los sistemas más adecuados para el prototipo de máquina termoformadora, a continuación, se pueden observar dichas elecciones:

- Sistema de calefacción de la lámina: Según el método Pugh aplicado se seleccionó como sistema de calefacción de la lámina, el sistema de resistencias eléctricas de calentamiento lineal, este es el sistema encargado de calentar uniformemente la lámina.
- Sistema de estructura: Según el método Pugh aplicado se seleccionó como sistema de estructura, el acero al carbón cold rolled.
- Sistema de desplazamiento del marco de sujeción: Según el método Pugh aplicado se seleccionó como sistema de desplazamiento del marco de sujeción, el sistema mecánico (rieles, bielas y palancas).
- Sistema de formado: Según el método Pugh aplicado se seleccionó como sistema de formado, el sistema de formado al vacío.
- Sistema de control: Según el método Pugh aplicado se seleccionó como sistema de control, el sistema eléctrico.

Continuando con el proceso de selección se mencionan las especificaciones técnicas de los sistemas con el fin de adquirir los componentes que se ajusten al diseño de la termoformadora.

### **Especificaciones técnicas de los sistemas**

Se especifican las características técnicas de los sistemas, adicional a eso se realizaron los análisis experimentales respectivos, utilizando como guía el Manual de termoformado de Plastiglas México, donde manifiestan que, si bien existen ecuaciones para realizar los cálculos, se pueden desarrollar procedimientos experimentales que han dado muy buenos resultados y utilizando esta estrategia han logrado elaborar sus máquinas. A continuación, se muestran los análisis realizados a los sistemas.

### Análisis de vacío del sistema de formado

El sistema de formado consta de una bomba de succión, con su respectiva manguera que se conecta al tanque de vacío y este a su vez se conecta a la caja de vacío, a continuación, se obtuvo el volumen que se debe desplazar y se determina la tasa de bombeo de la bomba. Esto se logra inicialmente con una relación de áreas que está determinada por el área superficial del objeto y el área superficial de la caja, posterior a esto se halló el volumen total a desplazar mediante la suma del volumen del objeto, volumen de la caja, volumen del tanque y volumen de la manguera, en la siguiente figura se puede observar la relación del tamaño del objeto respecto a la caja de vacío.

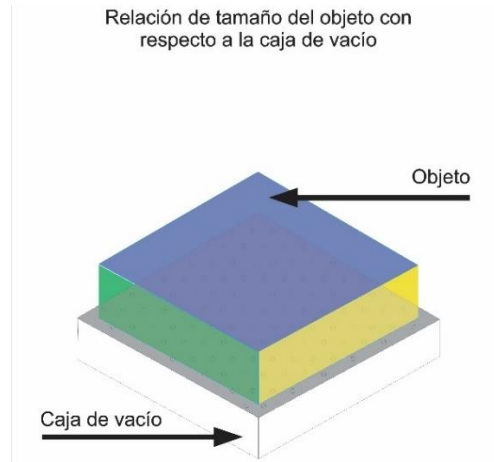


Figura 9 Relación de tamaño del objeto con respecto a la caja de vacío. Fuente: Autores.

### Relación de áreas

Las dimensiones del objeto que la maquina están en la capacidad de termoformar, dependen de la relación de áreas  $AR$  tomadas del manual de MULTIFAB MANUFACTURING 2018, que define que se debe cumplir una relación de áreas menor a 3, esta relación se da entre el área superficial del objeto a termoformar y el área de la superficie de la caja de vacío, la ecuación que permitió realizar dicho calculo es la siguiente:

$$AR = \frac{As}{Ac}$$

Donde: **AR**: relación de áreas. **As**: área de la superficie del objeto. **Ac**: área superficie de la caja.

A continuación, se pueden observar las ecuaciones que permiten obtener el área de la superficie de la caja y el área de la superficie del objeto respectivamente:

$$A_c = LW$$

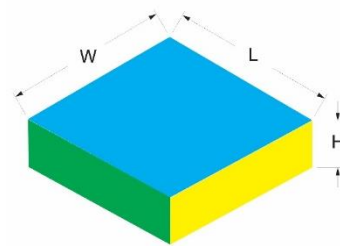
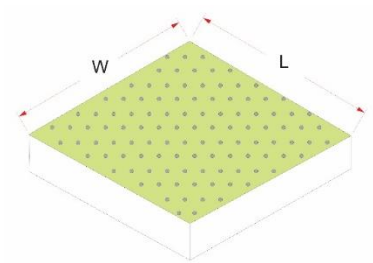
$$A_s = 2LH + 2WH + LW$$

En la siguiente imagen se puede percibir a que corresponden las ecuaciones anteriormente mencionadas.

Figura 10. Área superficial de la caja de vacío y área superficial del objeto

$$A_c = LW$$

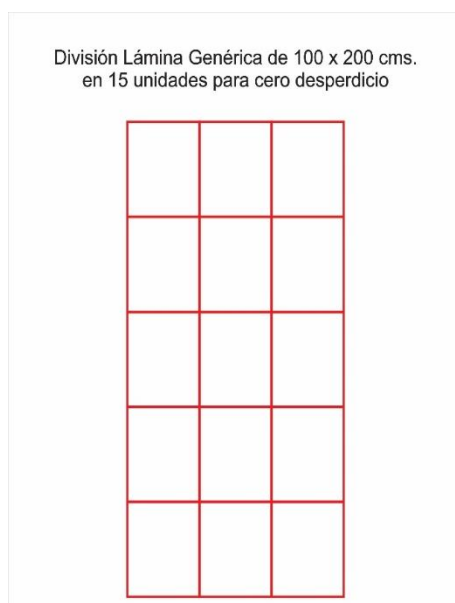
$$A_s = 2LH + 2WH + LW$$



*Nota: Área superficial de la caja de vacío y área superficial del objeto. Fuente: Autores.*

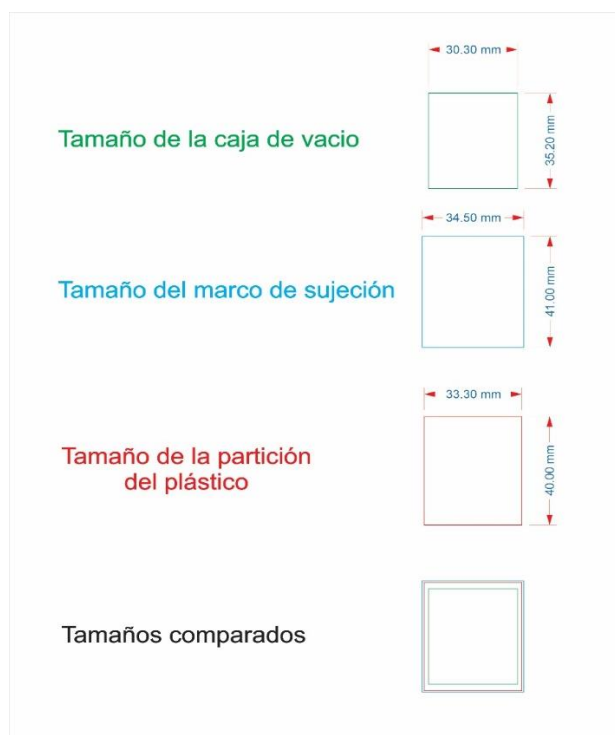
Para determinar  $A_c$  se fijan las dimensiones de la superficie de la caja, esta selección de tamaño se hizo referente al área de una lámina termoplástica genérica según el fabricante Termoplas, uno de los principales productores de láminas termoformables del país, cuyas dimensiones son 100 cm x 200cm, la cual se puede dividir en 15 partes iguales sin desperdicio de material, como se muestra a continuación:

Figura 11. División de lámina termoplástica completa.



*Nota: División de la lámina termoplástica completa. Fuente: Autores.*

Figura 12 Tamaños



*Nota: Tamaños de la caja de vacío, marco de sujeción, lámina termoplástica y tamaños comparados.*

*Fuente: Autores.*



Como se puede apreciar en las imágenes, considerando el tamaño de una de las 15 divisiones de la lámina, se determina que en el área está incluido el marco de sujeción y la caja de vacío, por esta razón y para aprovechar al máximo la lámina, se define que el tamaño de la superficie de la caja debe ser 352mm x 303 mm. Teniendo estas medidas se tomó L: largo de la superficie de la caja y W: ancho de la superficie de la caja, dándoles el valor correspondiente:  $L = 352 \text{ mm}$  y  $W = 303 \text{ mm}$ .

Para determinar los valores a utilizar en la ecuación  $A_s$ , que corresponde a las dimensiones del objeto, se fijó una medida 10 mm menor a la de la superficie de la caja para evitar trabajar al límite, estas dimensiones son L: 342 mm y W: 293 mm, la altura del objeto se fijó en H: 100 mm, este es un tamaño adecuado que permite termoformar múltiples objetos, estas dimensiones son suficientes para realizar diferentes tipos de trabajos como lo son: Skin, blíster, moldes para alimentos, empaques de productos, recipientes contenedores, etc., que pueden ser tomadas como ejemplos para actividades en el momento de enseñar el proceso de termoformado.

A continuación, se comprueba que las dimensiones asignadas cumplan con lo estipulado aplicando la fórmula de relación de áreas, tomando los valores L, W, H del objeto:

$$A_s = 2LH + 2WH + LW$$

$$A_s = 2(342\text{mm})(100\text{mm}) + 2(293\text{mm})(100\text{mm}) + (342\text{mm})(293\text{mm})$$

$$A_s = 227206 \text{ mm}^2$$

Ahora para hallar  $A_c$  se toman los valores L, W de la caja de vacío:

$$A_c = LW$$

$$A_c = (352 \text{ mm})(303\text{mm})$$

$$A_c = 106656 \text{ mm}^2$$

Finalmente se obtiene la relación de áreas:

$$AR = \frac{227206 \text{ mm}^2}{106656 \text{ mm}^2}$$

$$AR = 2.1$$

Como se observa, la relación de áreas tiene un valor menor a 3, con esto se puede afirmar que las dimensiones del molde a termoformar cumplen con la recomendación estipuladas en el manual.

A continuación, se determina el volumen total a desplazar con la bomba de succión, esto se logra sumando el volumen del objeto, el volumen de la caja de vacío y el volumen de la manguera.

### **Volumen para desplazar con la bomba de succión**

El volumen del objeto se obtuvo con los siguientes valores:

L: 342 mm

H:293 mm

W: 100 mm

Para esto se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_{objeto} = L * H * W$$

Se calculó de la siguiente forma:

$$V_{objeto} = (342mm) * (293mm) * (100 mm)$$

$$V_{objeto} = 100 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

Para determinar el volumen de la caja de vacío se asignó un valor de 75 mm a la altura, según se evidenció en las consultas realizadas de máquinas elaboradas por fabricantes, se observó que este valor puede modificarse dependiendo las capacidades del sistema de vacío. Para seleccionar los 75mm se tuvieron en cuenta las medidas del marco de sujeción, el cual tiene una altura total de 4 cm. Este marco de sujeción debe bajar sobrepasando la caja de vacío, esto determina que la altura debe ser superior a esos 4 cm y con estas razones se seleccionó una altura promedio de 75mm, esto facilita su fabricación debido a las medidas de los materiales que ofrece el comercio. El volumen de la caja de vacío se calcula con los siguientes valores:

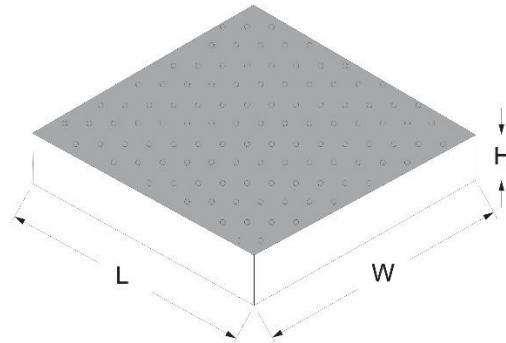
L: 352 mm

H:303 mm

W: 75 mm

Se pueden identificar las medidas anteriormente mencionadas en la siguiente figura:

Figura 13. Medidas Caja de Vacío



*Nota: Medidas Caja de Vacío. Fuente: Autores.*

Para determinar el volumen de la caja se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_{\text{caja}} = L * H * W$$

Se calcula de la siguiente forma:

$$V_{\text{caja}} = (352 \text{ mm}) * (303 \text{ mm}) * (75 \text{ mm})$$

$$V_{\text{caja}} = 79,99 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

Para el termoformado se utilizó una manguera que conectó la caja de vacío con el tanque y la bomba de succión, el valor del diámetro y la longitud se determinó de acuerdo a las recomendaciones del manual de termoformado de plastiglas México. Para obtener este volumen se utilizaron los siguientes valores:

d: diámetro de la manguera que es igual a 37.5 mm

l: longitud de la manguera que es igual a 500 mm

La ecuación de volumen es la siguiente:

$$V_{\text{manguera}} = \pi \frac{d^2}{4} * l$$

Se determina el volumen de la siguiente forma:

$$V_{\text{manguera}} = \pi \frac{(3.75 \text{ mm})^2}{4} * (500 \text{ mm})$$

$$V_{\text{manguera}} = 5522,3 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{manguera}} = 5,5 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Se calcula el volumen de todo el aire que se encuentra en el interior del sistema, este volumen corresponde al volumen total, como se observa en la siguiente ecuación:

$$V_{total} = V_{objeto} + V_{caja} + V_{manguera}$$

Se remplazaron los valores y se calculó el resultado

$$V_{total} = 100 \times 10^5 \text{ mm}^3 + 79,99 \times 10^5 \text{ mm}^3 + 5.5 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$V_{total} = 180 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

Según las consultas realizadas en el mercado, donde la capacidad de las bombas de succión se maneja con las unidades de medida del sistema inglés, se realiza la conversión de  $\text{mm}^3$  a  $\text{ft}^3$ , como se muestra a continuación:

$$V_{total} = 0.63 \text{ ft}^3$$

Considerando que se pueden llegar a presentar perdidas de aire en el sistema, se suma un 20 %, que corresponde a  $0.126 \text{ ft}^3$ , quedando así el volumen total con un valor de  $0.756 \text{ ft}^3$

Teniendo en cuenta el volumen total que el sistema debe desplazar, se determina la tasa de bombeo de la bomba de succión. Según la fábrica de equipos de vacío de HWS la capacidad de bombeo se obtiene con la ecuación:

$$S = \frac{V}{t} \ln \left( \frac{P1}{P2} \right)$$

Tomado de <http://www.vacuumhbs.com/info/vacuum-pump-selection-principle-and-related-ca-26583207.html>

Donde S es la tasa de bombeo, V es el volumen total de aire a desplazar, t es el tiempo estimado para la aplicación del vacío, P1 es la presión atmosférica en Bogotá actualizada, tomada de:

<http://tiempoytemperatura.es/colombia/bogota.html#por-horas> y P2 es la presión recomendada para los procesos de termoformado según el manual de termoformado de Plastiglas México.

De lo anterior, el cálculo de la capacidad de bombeo se realiza tomando los siguientes valores:

V=  $0.756 \text{ ft}^3$ ; P1=  $30.3 \text{ inHg}$ ; P2=  $29 \text{ inHg}$ ; t=  $3\text{s}$  o  $0.05\text{min}$

$$S = \frac{0.756 \text{ ft}^3}{0.05 \text{ min}} \text{Ln} \left( \frac{30.3 \text{ inHg}}{29 \text{ inHg}} \right)$$

$$S = 0.663 \text{ ft}^3/\text{min}$$

Las unidades manejadas por los fabricantes son CFM equivalentes a  $\text{ft}^3/\text{min}$ , por esta razón se deja expresado en dicha unidad, así 0.663 CFM al multiplicar por un 15% adicional, considerando algunas pérdidas dentro del proceso, tenemos entonces 0.763 CFM.

### Selección del tanque de vacío

El tanque acumulador de vacío debe evacuar el aire que requiere el formado de las piezas, para determinar el volumen que debe tener el tanque se utilizó la relación que sugiere el manual de termoformado de Plastiglas México es de 2.5 veces el volumen total del aire del sistema, como se muestra a continuación:

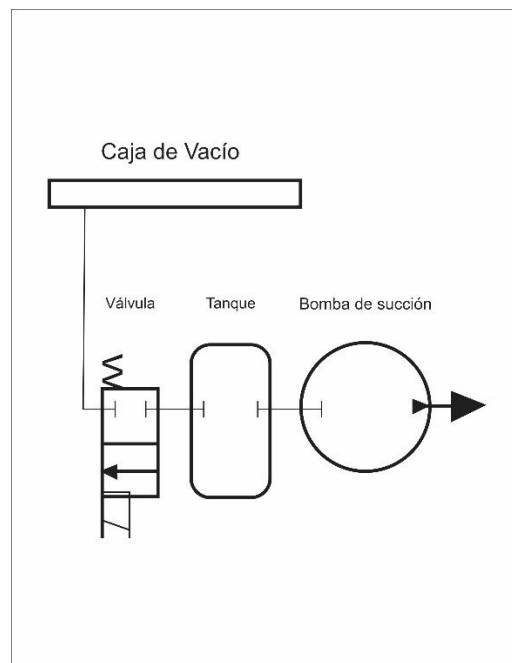
$$\text{Volumen tanque} = V_{\text{total}}(2.5)$$

$$V_{\text{total}} = 0.763 \text{ ft}^3(2.5)$$

$$\text{Volumen tanque} = 1.91 \text{ ft}^3$$

### Diagrama del sistema de vacío

Figura 14. Diagrama del sistema de vacío.



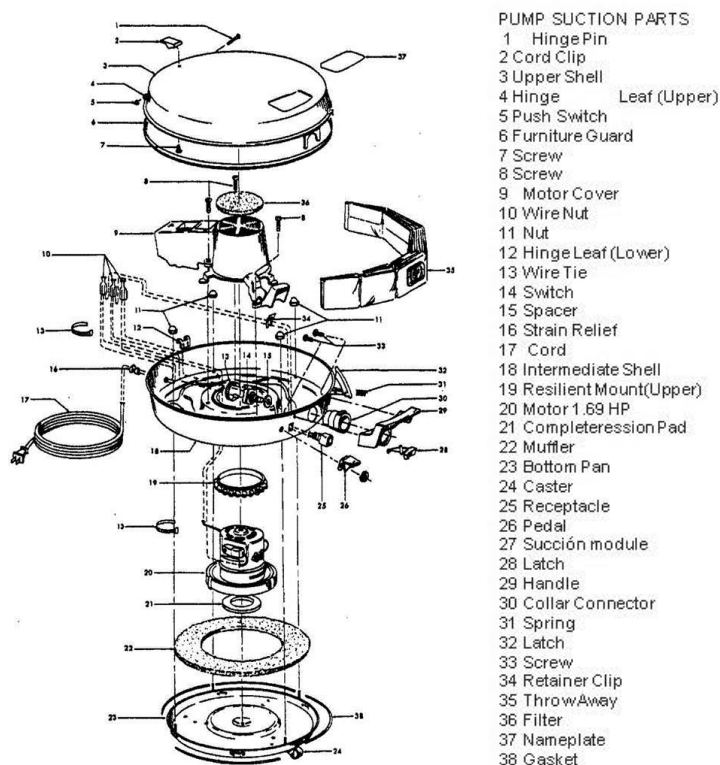
*Nota: Diagrama del sistema de vacío. Fuente Autores*

Se concluyó que, para la fabricación del prototipo se requiere una bomba de succión con capacidad de bombeo de 1.91 CFM. De acuerdo con lo anterior, se determina la bomba de succión a utilizar en la termoformadora, las especificaciones técnicas de la bomba adquirida se encuentran a continuación:

### BOMBA DE SUCCIÓN HYDROMATIC

REFERENCIA: SM-20A; Potencia:1.7 HP; 20CFM; Tensión de 115 V – 10 A

Figura 15. Bomba de succión.



*Nota: Bomba de succión hydromatic.*

### Características técnicas de la resistencia de calentamiento lineal:

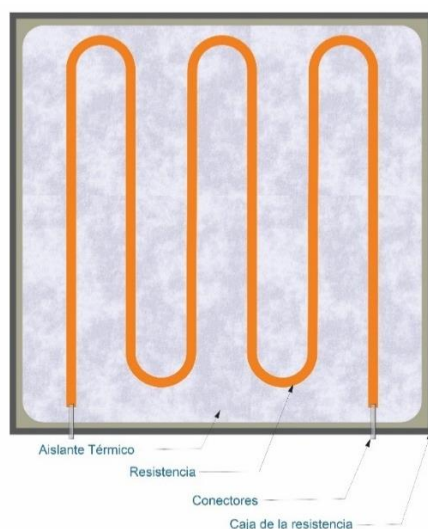
El termoformado requiere que la lámina del material polimérico sea lo suficientemente flexible como para ser modelada, pero a su vez, debe poseer suficiente estabilidad como para mantener la forma que le es suministrada. Es por esto, por lo que la temperatura a la cual se realiza el proceso de formado tiene gran relevancia, esta temperatura oscila entre 120°C - 300°C.

La mayoría de las láminas utilizadas en termoformado son producidas mediante el proceso de extrusión, este prototipo está en la capacidad de procesar láminas con espesores entre 0.1 mm y 3 mm aproximadamente. Esta lamina al alcanzar la temperatura de adecuada forma una curvatura que indica que el material ya está listo para ser termoformado.

Se ha propuesto seleccionar un sistema de calentamiento por radiación, la toma de esta decisión se basó en los trabajos mencionados en los antecedentes del presente informe donde se encontró que, para calentar una lámina con medidas similares a la de este proyecto se requiere una resistencia tubular con una potencia de 3000 w. Este dato fue confirmado por el fabricante con el que se decidió adquirir la resistencia, el cual sugirió basado es su experiencia un diámetro de **3/8 in.**

Para cubrir la superficie completa del material que mide 352 mm por 303 mm el fabricante sugirió una longitud de 2,10 m, se indicó que se requería una alimentación de 110 v teniendo en cuenta que los demás sistemas de la termoformadora funcionan con este voltaje adicional a esto las instalaciones en las que se fabricó y se realizaron las pruebas cuentan con este tipo de conexión eléctrica, la resistencia cuenta terminales de tornillo Phillips. La distribución de la resistencia tubular dentro de la caja se muestra a continuación:

Figura 16. Distribución de la resistencia tubular.



*Nota: Distribución de la resistencia tubular en la caja. Fuente: Autores.*

La resistencia seleccionada fue adquirida con el fabricante “Resistencias Felipe Luengas y Cía. Ltda.” Esta se muestra a continuación:

Figura 17. Resistencia tubular.



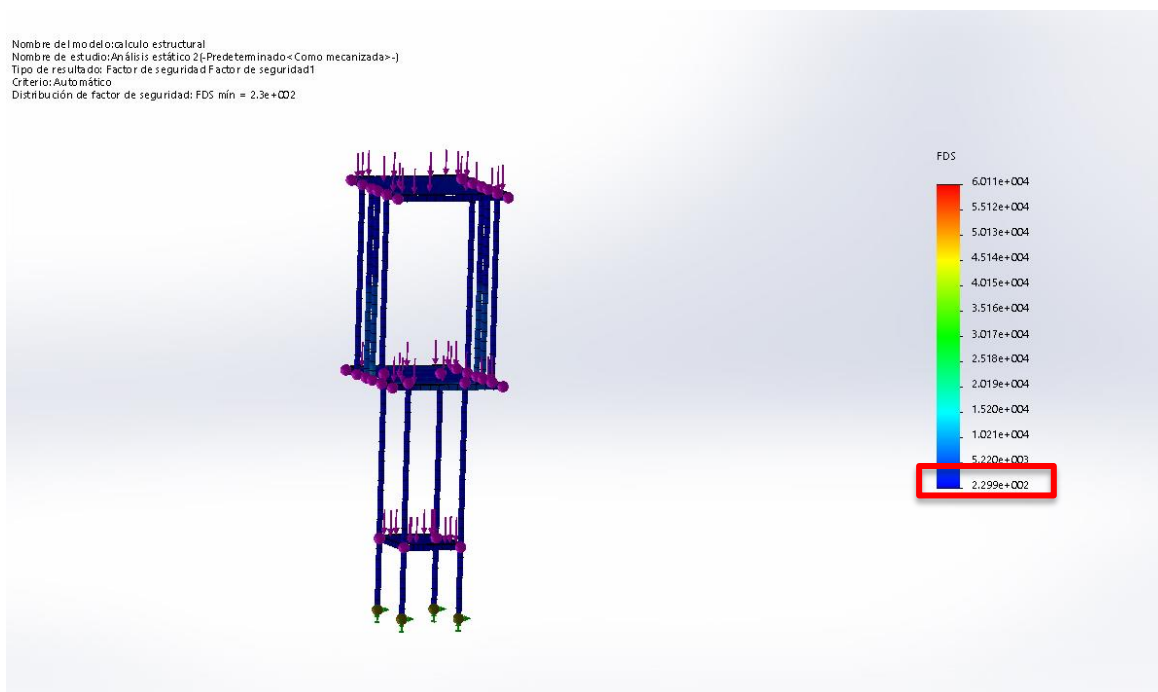
*Nota: Resistencia Eléctrica Tubular 3000W – 110V. [Fotografía], fuente autores 2021.*

#### **Características del sistema de estructura**

La estructura se diseñó en tubo cuadrado y redondo de 3/4 in, 5/8 in, y 7/8 in de acero Cold Rolled, se modelaron diferentes geometrías de la estructura, de acuerdo a las necesidades de los demás sistemas del prototipo, la estructura soporta las cargas que ejercen los demás componentes de la máquina, estas cargas fueron analizadas mediante una simulación en el programa Solid Works Simulation como se muestra en el [anexo 5](#), se pusieron cargas distribuidas sobre la estructura, considerando que el peso del conjunto de cargas teniendo en cuenta la caja de la resistencia que pesa aprox. 3 kg, 5 kg del sistema de desplazamiento con el marco de sujeción y la caja de vacío, adicionalmente la bomba de succión que pesa aprox.6 kg., a continuación, se puede observar el modelo de la estructura:



Figura 18. Simulación de la estructura.



*Nota: Simulación de la estructura en el programa Solid Works. Fuente: Autores.*

Según evidencia en la simulación realizada en el programa Solid Works que la estructura de la máquina arroja un factor de seguridad de 2.29, teniendo en cuenta que un factor de seguridad adecuado o ideal debe ser mayor a 1. Esto indica que la estructura puede soportar un peso mayor al que actualmente soporta.

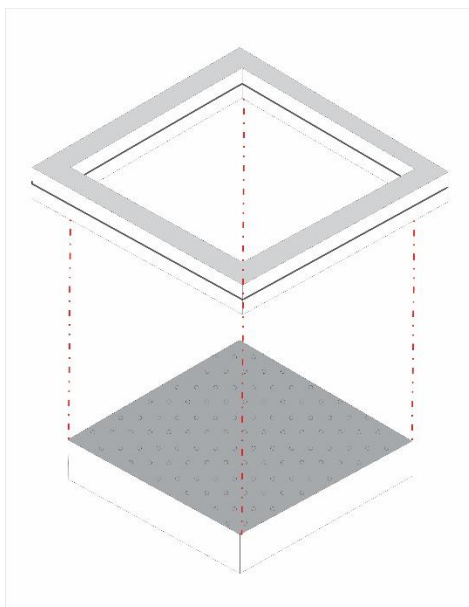
#### **Características de la caja de vacío:**

De acuerdo con las dimensiones de la máquina de termoformado la caja corresponde al tamaño del área de formado, estas dimensiones son 30,3 cm x 35.2 cm x 7,5 cm. Esta tendrá un volumen de 8064,37 cm<sup>3</sup>.

#### **Características del marco de sujeción**

Las dimensiones del marco están determinadas por el tamaño de la caja de vacío, tanto en el ancho como en el largo de la caja, es decir, que el área que queda libre del material debe coincidir con el área exacta de la caja, por esto, las medidas internas del marco son 30,3 cm x 35.2 cm, como se muestra a continuación:

Figura 19. Marco de sujeción sobre la caja de vacío



*Nota: Marco de sujeción sobre la caja de vacío. Fuente: Autores*

### **Características del sistema de desplazamiento**

El marco de sujeción debe desplazarse desde la caja de vacío hacia la caja de la resistencia y de la caja de la resistencia hacia la caja de vacío, para lo cual se diseñó un sistema de desplazamiento por medio de una palanca y un mango cilíndrico. Dicho sistema se ubicó a los costados del marco de sujeción. A continuación, se muestra un acercamiento del sistema en sus dos posiciones:

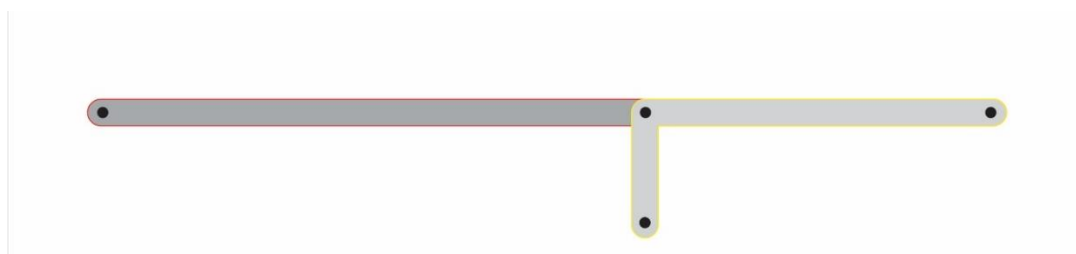
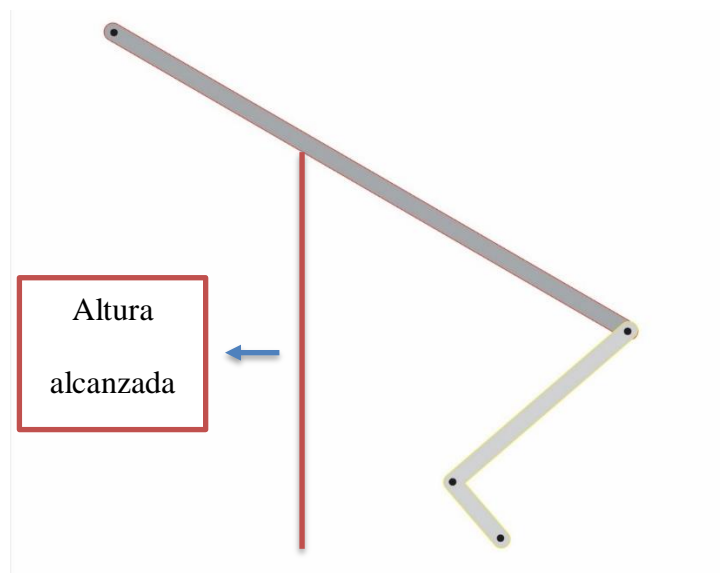


Figura 20. Palanca en dos posiciones

**Posición 1, Posición 2**



*Nota: Palanca en dos posiciones. Fuente: Autores.*

La estructura de la palanca se verificó por medio de una simulación en el programa Solid Works como se evidencia en el anexo 5, donde se evidenció que, efectivamente la palanca tuvo el alcance deseado para el prototipo, además de analizar que la geometría y el material soporten la fuerza ejercida por el usuario y la fuerza que ejerce el peso de la plataforma y el marco de sujeción.

### **Características técnicas del sistema de control**

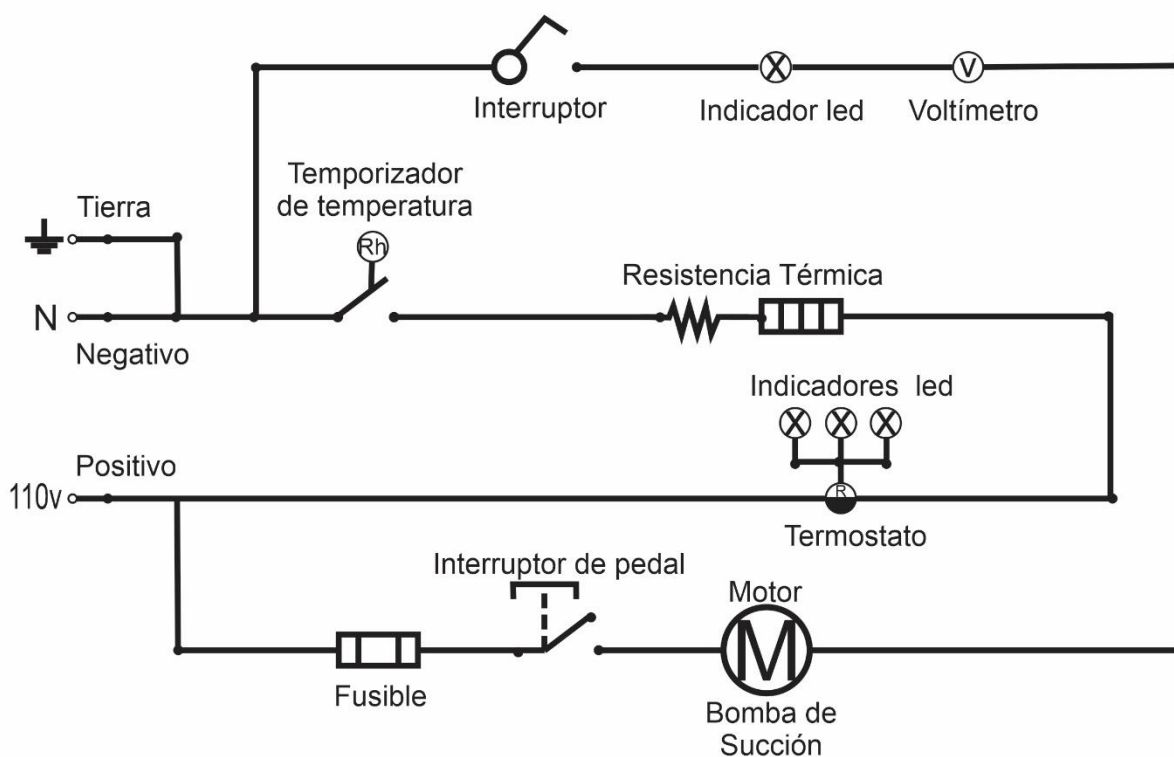
El sistema de control del prototipo se dividió en tres componentes principales, en primera instancia se encuentra el control general donde se ubica un interruptor que energiza todo el equipo, un voltímetro que muestra el voltaje de la máquina, un indicador led de encendido y un fusible para impedir variaciones voltaicas.

El segundo componente es el control del sistema de calefacción el cual contiene los siguientes elementos: Un termostato que regula la temperatura de la resistencia, indicadores led que encienden cuando se energiza el sistema y se apagan cuando se alcanza la temperatura deseada, un temporizador térmico de 305°, que impide que el sistema se sobre caliente, evitando que la temperatura sobre pase los 305°.

El tercer componente es el encendido del sistema de formado, en el cual se hizo necesario utilizar un interruptor de pedal que permitió dejar libres las extremidades superiores del usuario y así evitar accidentes. Se realizó un diagrama eléctrico en el programa Corel Draw donde se pueden identificar todos los componentes del sistema de control, este diagrama se muestra a continuación:

Figura 21. Diagrama eléctrico

## Diagrama Eléctrico



*Nota: Diagrama eléctrico. Fuente: Autores.*

### Evaluación económica

Para el diseño del prototipo de máquina termoformadora, se evaluaron los costos de fabricación, teniendo en cuenta los cálculos y características técnicas obtenidas anteriormente se procedió a solicitar cotizaciones de los materiales, procesos y mano de obra que se requieren para la elaboración de cada uno de los sistemas del prototipo, además de los elementos complementarios.

En la siguiente tabla, se encuentran los costos de fabricación obtenidos a través de cotizaciones solicitadas en almacenes especializados visitados con anterioridad.

Tabla 9. Tabla de costos de fabricación.

Sistemas	Costos	
Sistema de calefacción de la	Resistencia	\$100.000
	Aislante térmico	\$60.000
Sistema de estructura	Tubo acero	\$120.000
	Lamina	\$200.000
Sistema de desplazamiento del	Platina	\$15.000
Sistema de formado	Bomba de succión	\$300.000
	Mangueras	\$80.000
Sistema de control	Cableado	\$20.000
	Interruptores	\$150.000
	Voltímetro	\$12.000
	Carcasa	\$25.000
Mano de obra & Herramientas	\$ 800.000	
Otros	\$100.000	
Total	\$1'982.000	

*La tabla número 9 muestra los costos de cada uno de los componentes de los sistemas del prototipo.*

### **Análisis ergonómico**

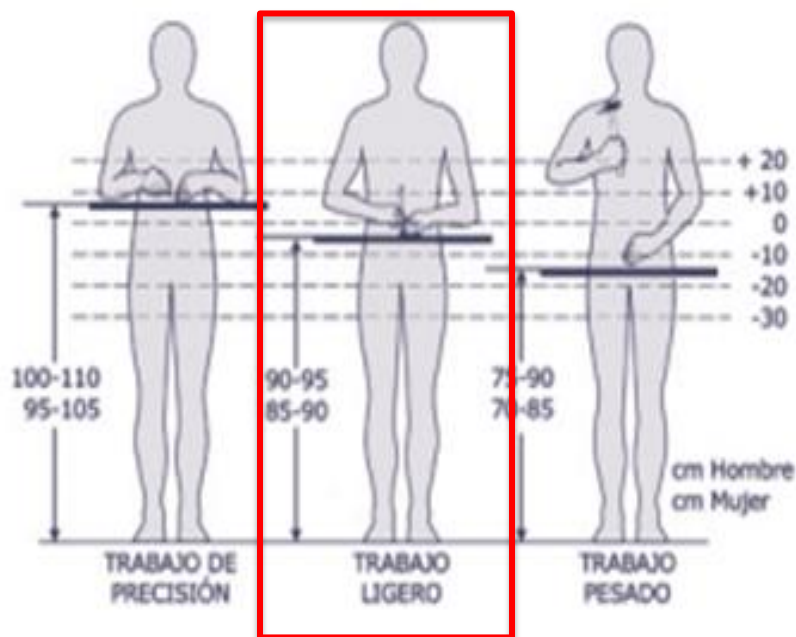
En el análisis ergonómico se abordaron elementos importantes de un diseño cómodo y práctico para el usuario que utilizará el equipo, además de cuidar la salud evitando malas posturas o sobre esfuerzos, se hizo necesaria su inclusión previamente al bosquejo inicial y esquemas del diseño.

### **Ergonomía física / Antropometría**

De acuerdo a los estudios antropométricos consultados en el manual de ergonomía de ERGOMETAL, se tomaron en cuenta medidas que se consideraron adecuadas para las posiciones en las que el usuario manipula el equipo.

A Continuación, se muestra la medida de la altura de la mesa de trabajo, para la cual se recomienda una altura que evite la inclinación del tronco del usuario. Como se muestra en la figura 9, en este caso se tomó de referencia la medida de trabajo ligero que se encuentra entre 85 cm y 95 cm.

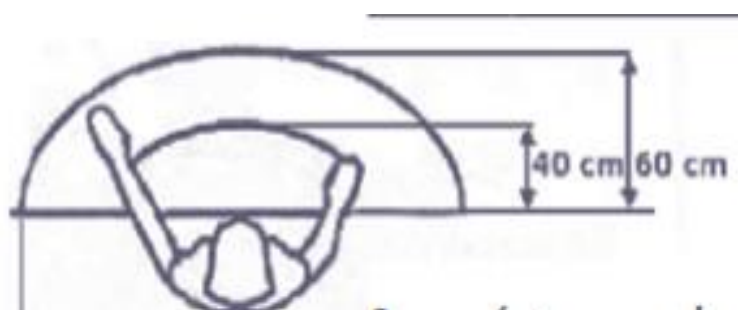
Figura 23. Alturas recomendadas para trabajar de pie.



*Nota: Alturas recomendadas para trabajar de pie. Fuente: Manual de ergonomía para máquinas del sector metal.*

En la siguiente imagen se identificaron las dimensiones del área de trabajo de la caja de vacío y del marco donde se ingresa el material de la máquina de acuerdo a las recomendaciones ergonómicas del manual, es este caso estarán dentro del rango de 40 a 60 cm.

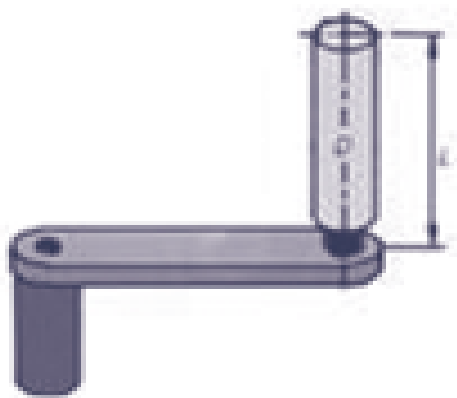
Figura 24. Zonas de alcance recomendadas para una posición fija.



*Nota: Zonas de alcance recomendadas para una posición fija. Fuente: Manual de ergonomía para máquina del sector metal.*

Las empuñaduras del equipo para el desplazamiento del marco de sujeción, se deben adaptar a la mano del usuario, según el manual de ergonomía estas medidas son: Longitud mínima de 10 cm, diámetro de 3 a 5 cm.

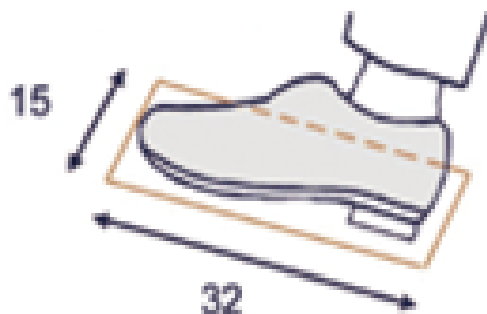
Figura 25. Empuñadura.



*Nota: Empuñadura. Fuente: Manual de ergonomía para máquina del sector metal.*

Para un acceso por pedal que acciona el sistema de vacío, el manual de ergonomía recomienda tener en cuenta las medidas del pie del usuario y así garantizar comodidad al operar.

Figura 26. Dimensiones recomendadas para el acceso con el pie.



*Nota: Dimensiones recomendadas para el acceso con el pie. Fuente: Manual de ergonomía para máquina del sector metal.*

Los factores ergonómicos previamente analizados dieron la pauta para definir las características iniciales de la máquina que posteriormente en la fase de diseño se tuvieron en cuenta para su modelado y fabricación.

### **Ergonomía cognitiva**

El prototipo como material de apoyo educativo debe permitir al usuario entender de forma visual el modo como se opera el equipo, así como también debe permitir la fácil identificación de posibles riesgos de operación, esto se logró con la correcta señalización del equipo, igualmente se tuvo presente la relación de colores.

### **Ergonomía Organizacional**

La ergonomía organizacional en este proyecto estuvo determinada por el área de trabajo donde se operará la máquina, en este caso el taller de tecnología, el cual cuenta con instalaciones adecuadas para la correcta utilización del material.

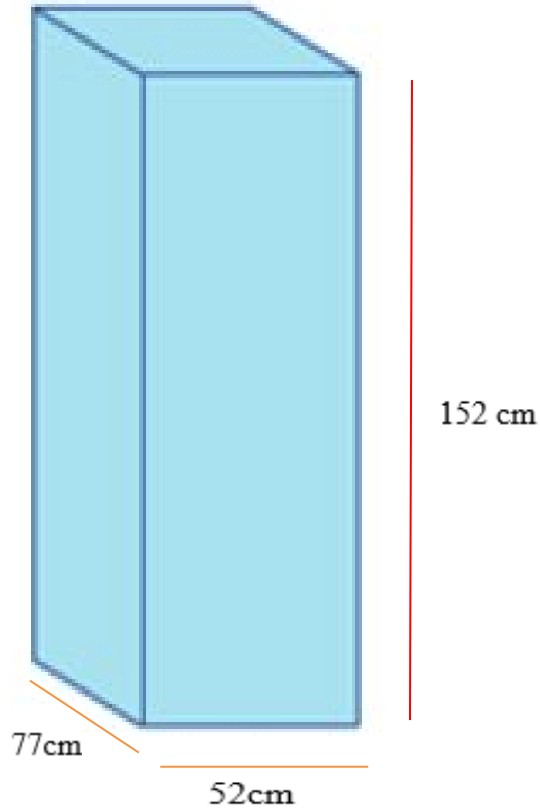
La dimensión del equipo surgió de un análisis del espacio disponible donde será utilizado el prototipo de máquina de termoformado, además de la ergonomía al momento de manipularla, inicialmente, apoyados de ejemplos vistos en la web, en la industria y en talleres de termoformado.

A partir de esto, se determinó que la máquina de termoformado tendría una altura aproximada de 152 cm, una altura de la mesa de trabajo o caja de formado que este entre los 85cm y 90cm, el área donde se introduce el material debe estar a una distancia menor a los 60 cm tomado en cuenta la imagen 24, incluyendo el sistema de desplazamiento se fijó y una profundidad de 77 cm y un ancho de 52 cm.

Se determinó la distancia entre la lámina perforada y la zona de calentamiento, la cual es de aproximadamente 62 cm, esta medida brinda el espacio suficiente para introducir los moldes, además de la comodidad y **seguridad** al momento de realizar el montaje de la lámina en el marco de sujeción.



Figura 27. Dimensiones maquina termoformadora.

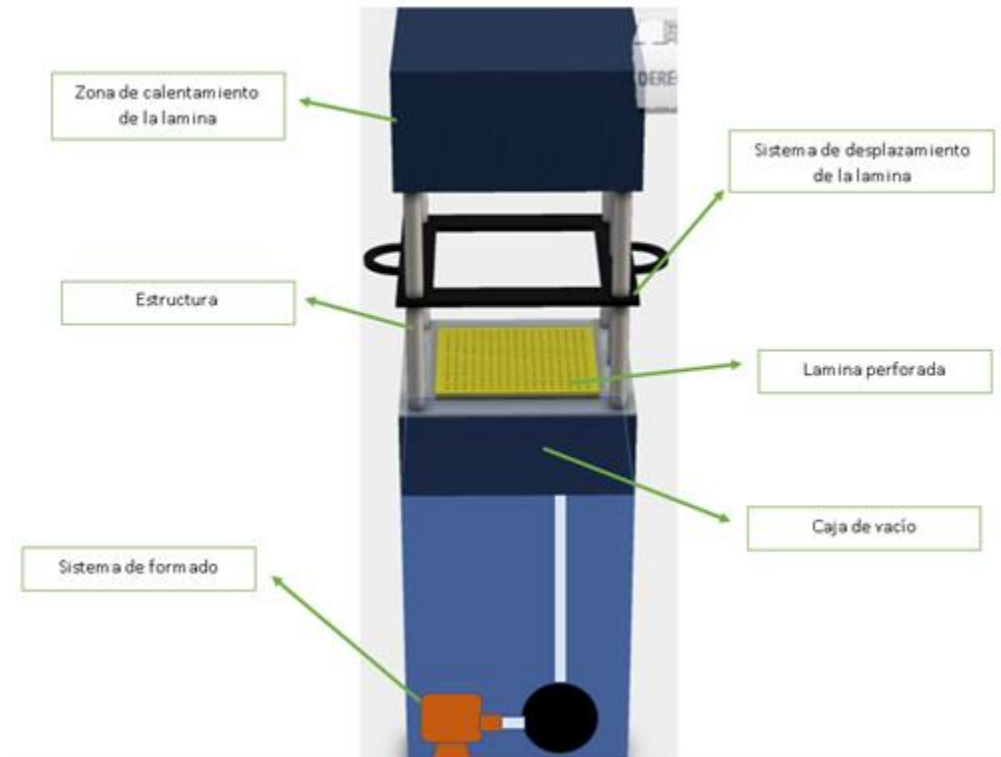


En la imagen se observa el espacio que ocupa la termoformadora lo cual da una idea del área de trabajo necesaria para ubicar la máquina.

### **Bosquejo inicial**

Se realizó un bosquejo inicial en SolidWorks, donde se evidencia a modo general la distribución de los sistemas, dicho bosquejo corresponde a un diseño preliminar que permita identificar los componentes de la máquina de termoformado.

Figura 28. Esquema general de máquina de termoformado



*Nota: Esquema general de máquina de termoformado SolidWorks, Fuente: Autores.*

### **Etapas 3: Dar forma a los esquemas**

En esta etapa se elaboró el modelado del diseño de máquina termoformadora, en el programa Solid Works trabajando sobre las dimensiones y teniendo en cuenta las características de los sistemas mencionados en la etapa anterior.

#### **Esquemas de los sistemas**

##### **Sistema de calefacción de la lámina**

Se seleccionó el sistema de calefacción de la lámina, el cual consta de una resistencia tubular ondulada que se ubica en el interior de la caja metálica, y este es el encargado de calentar la lámina del termoplástico hasta la temperatura de termoformado, la resistencia en la caja está organizada de tal forma abarque toda el área de la lámina. En este sistema de calefacción de la lámina se debe tener en cuenta al usuario ya que la resistencia alcanza temperaturas de 300° y esto puede ocasionarle quemaduras. Para evitar esto se tuvo en cuenta la norma ISO137321-1 2006, en

la cual se establece que la temperatura de una superficie caliente debe estar por debajo de los 51° C. para lograr este objetivo se debe incluir un aislante térmico con un espesor adecuado. Se consultó con el fabricante de la resistencia el cual sugirió lana de vidrio con un espesor de 3cm.

Figura 29. Distribución de la resistencia en la caja del sistema de calentamiento.



*Nota: Distribución de la resistencia en la caja del sistema de calentamiento. SolidWorks Fuente: Autores.*

### **Sistema de desplazamiento del marco de sujeción**

El sistema de desplazamiento de la lámina se diseñó de forma mecánica, con dos palancas laterales unidas por un tubo central que sirve de empuñadura, inicia en la posición más cercana a la caja de vacío de la máquina y sube hasta el sistema de calentamiento de la lámina.

Figura 30. Sistema de desplazamiento del marco de sujeción

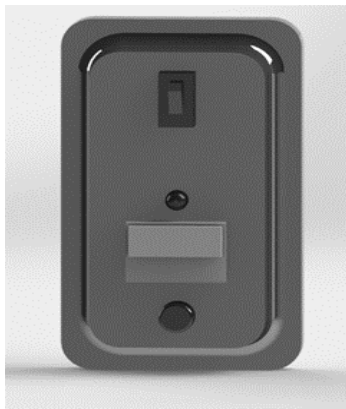


*Nota: Sistema de desplazamiento del marco de sujeción, SolidWorks. Fuente: Autores.*

### **Sistema de control**

Este sistema controla el funcionamiento de la máquina, igualmente es donde se encuentran los botones de encendido general y de los sistemas; tales como el sistema de formado, el sistema de calefacción, se diseñó una caja metálica con las perforaciones adecuadas para ubicar el interruptor, indicador led, voltímetro y fusible.

Figura 31. Sistema de control



*Nota: Sistema de control, SolidWorks. Fuente: Autores.*

### **Sistema de estructura:**

De acuerdo a los criterios de selección se escogió el material más adecuado, el cual fue el acero al carbón cold rolled, cuyas especificaciones se encuentran en el Anexo 6. Fichas técnicas. Se modeló una estructura inicial donde se ubicó en la parte superior el sistema de calefacción de la lámina, en la parte central se ubicó la caja de vacío.

Figura 32. Estructura interna de la máquina de termoformado



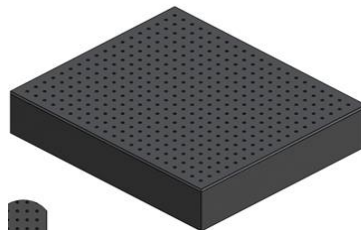
*Nota: Estructura interna de la máquina de termoformado. SolidWorks. Fuente: Autores.*

### **Esquemas de los elementos complementarios:**

#### **Caja de vacío:**

El modelado de la caja de vacío se muestra a continuación:

Figura 33. Caja de vacío y área de termoformado

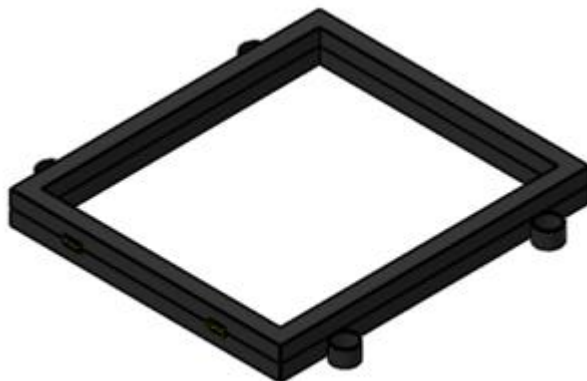


*Nota: Caja de vacío y área de termoformado, SolidWorks. Fuente: Autores.*

#### **Marco de sujeción:**

El marco de sujeción se modeló con las dimensiones internas exactas a la caja de vacío, con el fin de lograr un termoformado perfecto, cuenta con bisagras laterales para poder incorporar el material, así como un seguro que lo fija al marco.

Figura 34. Marco de sujeción de material a termoformar.



*Nota: Marco de sujeción de material a termo formar, SolidWorks. Fuente: Autores.*

Figura 35. Marco de sujeción de material a termoformar.



*Nota: Marco de sujeción de material a termo formar (bisagras), SolidWorks. Fuente: Autores.*

### **Esquema del conjunto:**

En el esquema del conjunto se modelo de forma preliminar la distribución de los sistemas del prototipo, los elementos generales del diseño se pueden visualizar en la figura 21.

Figura 36. Esquema del conjunto.



*Nota: Esquema del conjunto. SolidWorks. Fuente: Autores.*

#### **Etapas 4: Desarrollo de detalles**

En esta etapa se realizó una revisión y corrección de los detalles, tanto de los sistemas individuales como del conjunto en general, de esta manera se determinó el diseño final del prototipo para dar paso a su fabricación.

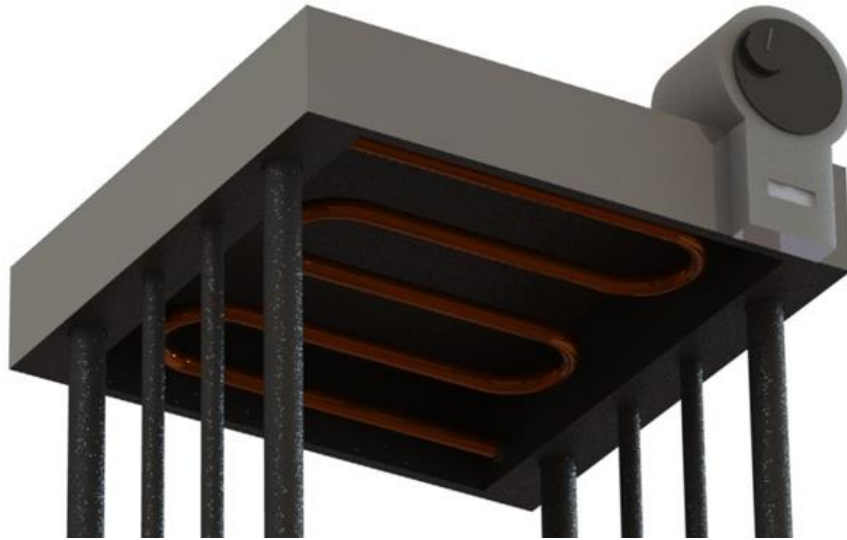
##### **Correcciones a los esquemas**

Se realizaron correcciones a los esquemas de los sistemas modelados anteriormente, teniendo en cuenta aspectos que mejoran el diseño anterior, estas correcciones incluyeron tanto detalles de forma como detalles estéticos que den calidad y seguridad al prototipo.

##### **Sistema de calefacción de la lámina:**

A continuación, se muestra el modelado del sistema de calefacción de la lámina:

Figura 37. Sistema de calefacción de la máquina.



*Nota: Sistema de calefacción de la máquina. SolidWorks. Fuente: Autores.*

#### **Sistema de estructura:**

En el sistema de estructura se adicionaron dos columnas de acero, así se dio estabilidad a la plataforma que contiene el marco de sujeción, es decir, que sirven de guía para el deslizamiento del marco de sujeción. La parte inferior se recubrió con una lámina de acero que en su interior contiene y protege el sistema de formado.



Figura 38. Sistema de estructura



*Nota: Sistema de estructura. SolidWorks. Fuente: Autores.*

### **Sistema de control:**

#### **Control de temperatura general:**

El control general del prototipo, conservó las mismas dimensiones del diseño preliminar, se realizaron ajustes estéticos a la caja que contiene: El interruptor, el fusible, el voltímetro y el led indicador.

Figura 39. Sistema de control de la máquina.



*Nota: Sistema de control de la máquina. SolidWorks. Fuente: Autores.*

#### **Control de temperatura de la resistencia:**

Para el contenedor del paquete eléctrico del sistema de control de temperatura, se adquirió un regulador de temperatura de un horno para cerámica, que contiene: Un termostato, indicadores led temporizador térmico de 305°. Esta al igual que los demás sistemas de la termoformadora trabaja con un voltaje de 110v. (figura 25).

Figura 40. Control de temperatura de la resistencia.



*Nota: Control de temperatura de la resistencia. SolidWorks. Fuente: Autores.*

#### **Control de vacío: (pedal interruptor)**

El pedal que se selecciono fue el de una máquina de coser industrial marca Elte el cual cumple con las medidas determinadas por el análisis ergonómico para un acceso por pedal, el cual brinda una fácil utilización para el usuario. Este pedal funciona con un voltaje de 110 v y se encarga de interrumpir el paso de energía a la bomba de succión.

Figura 41. Pedal que acciona la succión.



*Nota: Pedal que acciona la succión, SolidWorks. Fuente: Autores.*

#### **Detalles estéticos:**

Se realizaron últimos ajustes, entre ellos se incluyó una plataforma móvil sobre el cual se ubicó el marco de sujeción y de esta manera el sistema de desplazamiento movilizara todo el conjunto como se muestra en el [anexo 3](#), también se ejecutaron detalles estéticos, tanto de pintura como de acabados finales del diseño del prototipo, a continuación, se muestra el modelado de este:

Figura 42. Diseño máquina completa.

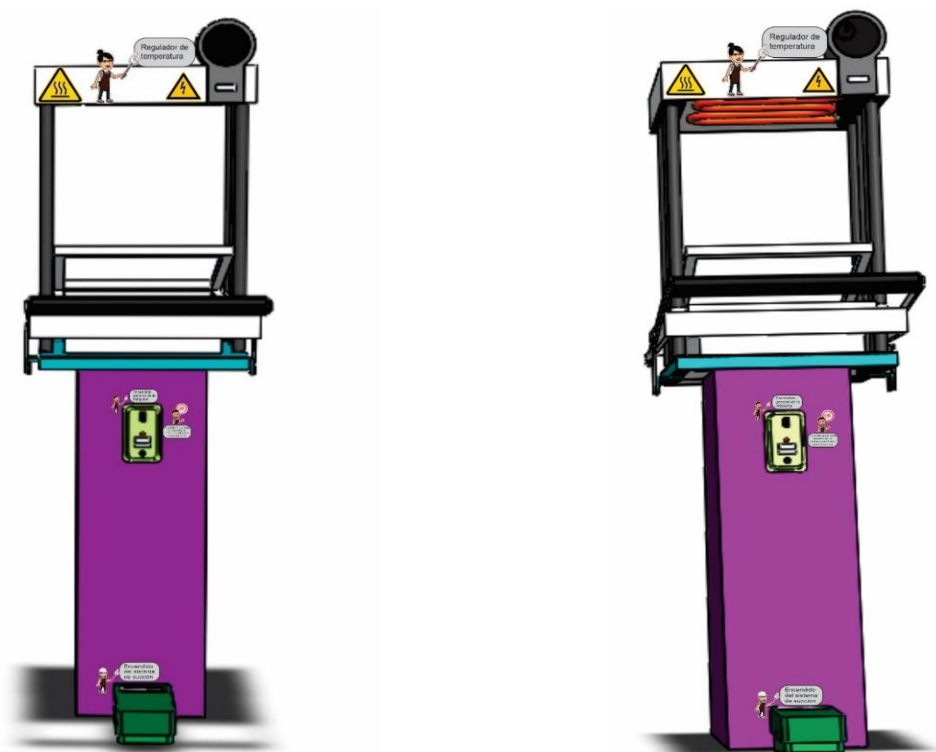


*Nota: Diseño máquina completa, SolidWorks. Fuente: Autores.*

**Detalles de diseño final:**

En este ítem, se incluye información gráfica tanto de seguridad como de orientación en cada uno de los sistemas teniendo en cuenta la norma NTC 1461. se ubicó de forma estratégica la simbología necesaria para garantizar la seguridad del usuario, así como también tablas informativas que mejoran la interacción entre el usuario y el prototipo.

Figura 43. Diseño máquina con avisos informativos.



*Nota: Diseño máquina con avisos informativos. Fuente: Autores.*

## Fabricación

En esta sección del trabajo se hace una descripción detallada de la fabricación del prototipo de máquina termoformadora, teniendo en cuenta el diseño de cada uno de los sistemas que la conforman, además de los procedimientos que se llevaron a cabo en la construcción de la misma, se describen los materiales y las herramientas utilizadas, las fichas técnicas de algunos de estos materiales se muestran en el [anexo 6](#).

### Sistema de calefacción de la lámina

#### Caja de la resistencia

Para la fabricación de la caja de la resistencia, en primera instancia se midió y cortó la canaleta de acero galvanizado en una tira que se dobló formando las partes laterales, delantera y trasera. Posterior a esto se midió con escuadra para garantizar que quedara a un ángulo de 45 grados, al tener los grados deseados se reforzaron y sujetaron las esquinas con remaches pop para darle firmeza, además se cerró

completamente y luego de eso se elaboró la tapa en aluminio que cubrió la caja por completo. Como se muestra en las figuras 44 a 47.

Figura 44,45. Fabricación caja de la resistencia.



*Nota: Fabricación caja de la resistencia. Fuente: Autores.*

Figura 46,47. Caja de resistencia, Tapa de la caja.



*Nota: Caja de resistencia, tapa de la caja. Fuente: Autores.*

Luego de unir la tapa a la caja se procedió a pegar la lana de vidrio (figuras 48 a 50) que hizo las veces de aislante térmico, posterior a esto con remaches pop se unieron los ganchos que sostuvieron la resistencia (figuras 51 y 53) y por último se conectó al control de temperatura.

Figura 48,49. Pegado de la fibra de vidrio.



*Nota: Pegado de la fibra de vidrio. Fuente: Autores.*

Figura 50,51. Fibra de vidrio completa, ganchos sujetadores.



*Nota: Fibra de vidrio completa, ganchos sujetadores. Fuente: Autores.*

Figura 52,53. Resistencia fijada a la caja.



*Nota: Resistencia fijada a la caja. Fuente: Autores.*

### **Sistema de desplazamiento del marco de sujeción**

Para la fabricación de las palancas que desplazan la lámina desde la zona de calentamiento hasta la caja de vacío y de la caja de vacío hasta la zona de calentamiento del prototipo, se utilizó una lámina de platina de  $\frac{1}{4}$  de pulgada por 1 pulgada, que se sujetó a una prensa de banco, posteriormente para realizar el corte, se empleó una pulidora de mano con disco de carburo. A continuación, se muestra la evidencia fotográfica de este corte:

Figura 54,55. Proceso de corte de la lámina de acero.



*Nota: Proceso de corte de la lámina de acero. Fuente: Autores.*



Habiendo realizado el corte de las partes de las palancas, se procedió a unir dos de las piezas a 45 grados con soldadura de arco eléctrico, la tercera lámina cortada no requiere soldadura (figuras 56 Y 57).

Figura 56,57. Procesos de soldadura con arco eléctrico.



*Nota: Procesos de soldadura con arco eléctrico. Fuente: Autores.*

Teniendo las dos piezas de cada palanca construidas, se perforaron los extremos de la parte soldada a 45 grados y el centro de la segunda pieza, en estas perforaciones se ubicaron los tornillos con sus respectivas tuercas, estos tornillos anclaron la palanca en la estructura del prototipo, para elaborar dichas perforaciones se utilizó un taladro de árbol (figura 58 y 59).

Figura 58,59. Perforación con taladro de árbol, tornillos de la palanca.



*Nota: Perforación con taladro de árbol, tornillos de la palanca. Fuente: Autores.*

Las palancas se ubicaron a los costados de la estructura donde previamente se soldaron dos ángulos que proporcionaron soporte a las palancas de desplazamiento del marco de sujeción (figura 56), en la perforación realizada en la mitad de los brazos de las palancas se aseguró la plataforma que desplaza el marco, finalmente ya instaladas las palancas se procedió a unir las con una pieza dispuesta de manera horizontal utilizando tornillos (figura 60). Dicha pieza previamente había sido equipada con un mango de caucho para mayor ergonomía, como se muestra en la figura 61.

Figura 60

*Figura 60. Parte lateral de la palanca, Fuente: Autores.*

Figura 61

*Figura 61. Mango de la palanca. Fuente: Autores.*

*Figura 62. Rieles en tubo por donde sube y baja el marco de sujeción. Fuente: Autores.*

## **Sistemas de control**

### **Control general de la máquina**

En el control general de la máquina se encuentra el botón de encendido, éste da energía a los sistemas del prototipo que la requieran, en esta parte también se instaló un bombillo led para indicar que el prototipo está encendido. Por seguridad se instaló un voltímetro para mostrar que esté recibiendo el voltaje adecuado y funcione correctamente, además de un fusible que en caso de presentarse un corto circuito recibirá la carga eléctrica evitando que el prototipo se dañe, a continuación, se muestra evidencia de esto. (figuras 63 a 65)

Figura 63,64,65. Sistema de control



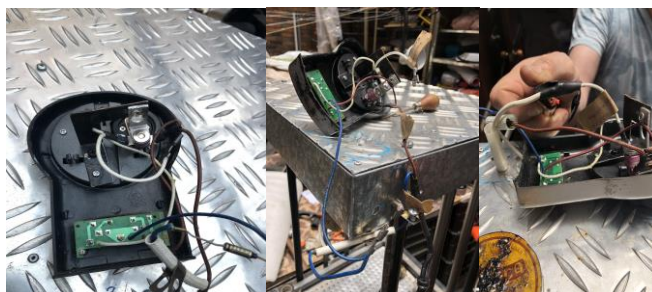
*Nota: Pintado del sistema de control, ensamble del sistema de control, sistema de control terminado.*

*Fuente: Autores.*

### **Control de temperatura de la resistencia**

Para el sistema de control de la temperatura del prototipo se procedió a soldar dos cables a cada extremo de la resistencia, estos cables también fueron conectados al termostato que permite controlar la temperatura haciendo que esta sea estable y continúe en el punto deseado (figura 66 a 68).

Figura 66,67,68. Control de temperatura



*Nota: Conexiones del control de temperatura de la resistencia. Fuente: Autores.*

La temperatura se regula por medio de la perilla del termostato que cuenta con diferentes grados centígrados que van desde los 0 hasta los 300 grados, al seleccionar la temperatura se enciende una luz indicando que esta va en aumento, una vez es alcanzada la temperatura deseada dicha luz se apaga automáticamente Finalmente se instaló el paquete completo del control de temperatura a la caja de calentamiento donde fue ubicada la resistencia (figuras 69).

Figura 69. Sistema de control de temperatura de la resistencia.



*Nota: Sistema de control de temperatura de la resistencia. Fuente: Autores.*

### Control de encendido del sistema de formado

Para el control de encendido del sistema de formado se utilizó un pedal como interruptor, el cual se instaló en la parte de abajo de la máquina, éste se activa con el pie cuando se baja el marco de sujeción para empezar la succión esto permite que las manos queden libres para poder manipular el resto de la máquina. La disposición del pedal interruptor se muestra en las figuras 70 y 71.

Figura 70,71. Pedal de succión, pedal de succión instalado.

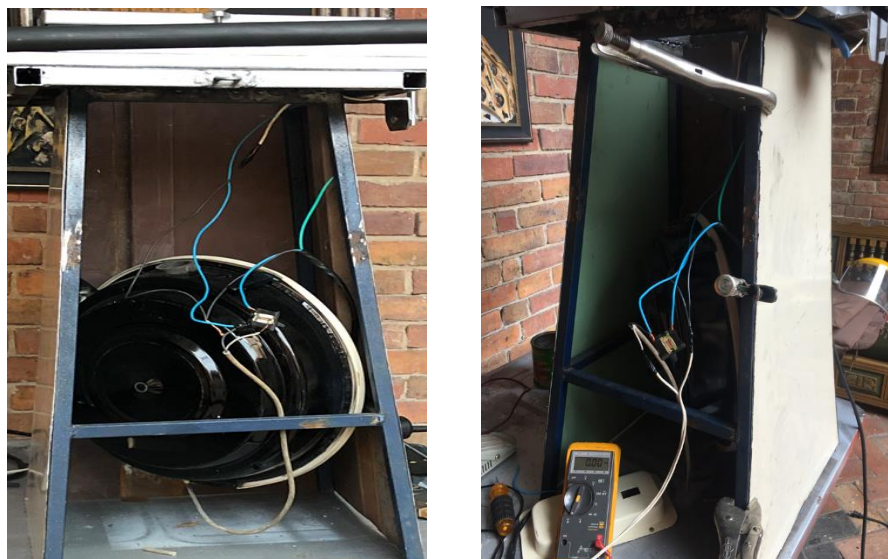


*Nota: Pedal de succión, pedal de succión instalado. Fuente: Autores.*

### Sistema de formado

La bomba de succión se ubicó en el interior del prototipo, la bomba tiene un extremo con la entrada de corriente acoplada al sistema de control general y el otro extremo con la manguera de vacío conectada a la caja de vacío.

Figura 72,73. Ubicación de la bomba de succión, conexiones de la bomba de succión.



*Nota: Ubicación de la bomba de succión, conexiones de la bomba de succión. Fuente: Autores*

Figura 74. Parte de abajo de la caja de vacío conectada a la manguera de succión.



*Nota: Parte de abajo de la caja de vacío conectada a la manguera de succión. Fuente: Autores.*

Al interruptor que acciona la bomba de succión se le realizó una extensión con clave que se ubicó a manera de pedal en la parte inferior del prototipo.

## Elaboración de los elementos complementarios

### Caja de vacío:

#### Lámina perforada

Para la elaboración de la caja de vacío, se empezó por elaborar la tapa de la parte posterior utilizando una lámina de cold rolled, la cual debe tener perforaciones por las cuales succionan el aire de las piezas a termoformar, estas perforaciones son de 3mm a una distancia aproximada de 1 cm entre ellas, para esto se utilizó una lámina de hierro y se midieron los puntos con regla para luego realizar perforaciones con el taladro de árbol utilizando una broca para metal HSS de 3 mm.

Figura 75,76. Lámina cortada.



*Nota: Lámina cortada. Fuente: Autores.*

Figura 77,78. Trazos de puntos de perforación.



*Nota: Trazos de puntos de perforación. Fuente: Autores.*

Figura 79,80,81. Trazos completos de perforación, perforación con taladro de árbol, lámina completamente perforada.



*Nota: Trazos completos de perforación, perforación con taladro de árbol, lámina completamente perforada. Fuente: Autores*

Posterior a esto se procedió a pulir la lámina perforada utilizando un disco de carburo de cilicio para eliminar los excesos de metal y prevenir que haya obstrucciones en los agujeros, al momento de hacer la succión.

Figura 82,83,84. Pulido de la lámina perforada.



*Nota: Pulido de la lámina perforada. Fuente: Autores.*



Figura 85,86,87. Lámina perforada terminada.



*Nota: Lámina perforada terminada. Fuente: Autores.*

### **Construcción de la caja de vacío**

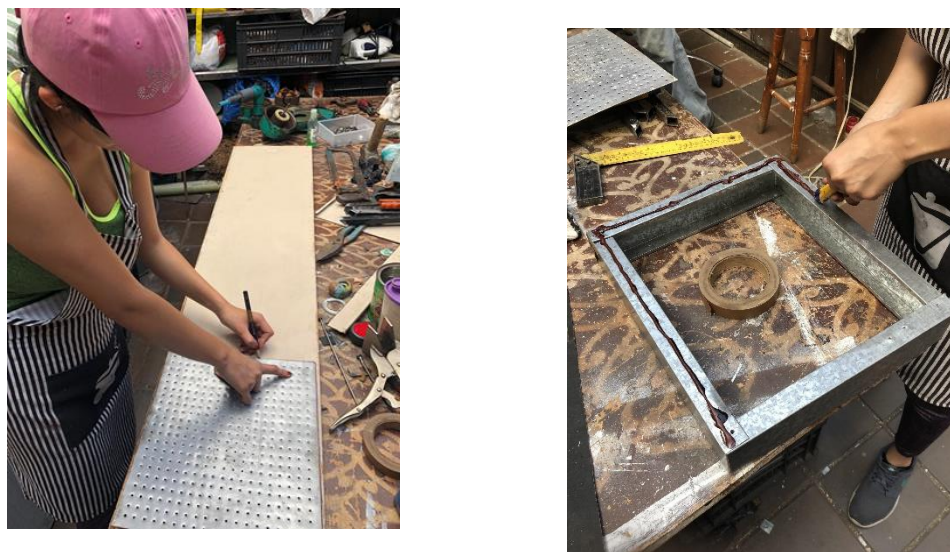
Para completar la caja de succión se tomó una lámina de aluminio y se cortó para darle forma cuadrada, esta parte de la máquina es de las más importantes ya que la caja tiene que estar completamente sellada y así evitar cualquier tipo de escape de aire, para lograr esto, al unirla con remaches pop de tamaño 3/16 pulgadas, adicional a esto se aplicó un sellante de poliuretano en el momento de ponerle la tapa y la lámina perforada dejando por debajo el agujero en donde entra la manguera que hará la succión del aire.

Figura 88,89,90. Medición de la caja de vacío, corte de la caja de vacío, ensamble de la caja de vacío.



*Nota: Medición de la caja de vacío, corte de la caja de vacío, ensamble de la caja de vacío. Fuente: Autores.*

Figura 91,92. Medición de la tapa inferior de la caja, aplicado de sellante.



*Nota: Medición de la tapa inferior de la caja, aplicado de sellante. Fuente: Autores.*

## Sistema de estructura

Para la fabricación de la estructura de la máquina se cortaron tubos de hierro cold rolled redondo y cuadrado de una pulgada y  $\frac{3}{4}$  de pulgada y para esto se utilizó una tronadora y pulidora con disco para corte de metal.

Figura 93,94,95. Corte de tubos de hierro con tronadora, corte de tubos de hierro con pulidora.



*Nota: Corte de tubos de hierro con tronadora, corte de tubos de hierro con pulidora. Fuente: Autores.*

Figura 96. Tubos de hierro cortados.



*Nota: Tubos de hierro cortados. Fuente: Autores.*

Posterior a esto se procedió a soldar las partes de la estructura cortada, esto se hizo con soldadura de arco eléctrico con un generador de 225 amperios utilizando un electrodo 6013 de  $\frac{1}{8}$  de pulgada.

Figura 97,98,99. Soldadura de piezas con arco eléctrico.



*Nota: Soldadura de piezas con arco eléctrico. Fuente: Autores.*

Figura 100,101. Piezas soldadas con arco eléctrico.



*Nota: Piezas soldadas con arco eléctrico. Fuente: Autores.*

Figura 102. Estructura completa soldada.

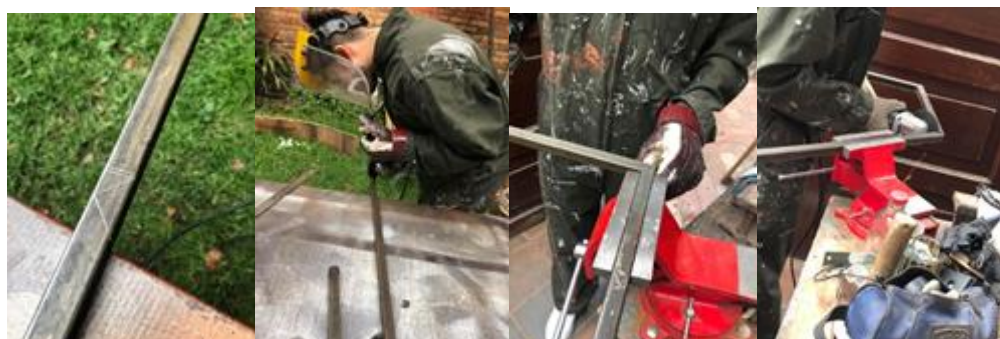


*Nota: Estructura completa soldada. Fuente: Autores.*

### **Marco de sujeción**

El marco de sujeción se elaboró en tubo cuadrado cold rolled de una pulgada, el cual después de ser medido rigurosamente se cortó con pulidora de mano utilizando un disco de corte de metal y se dobló utilizando la prensa de banco.

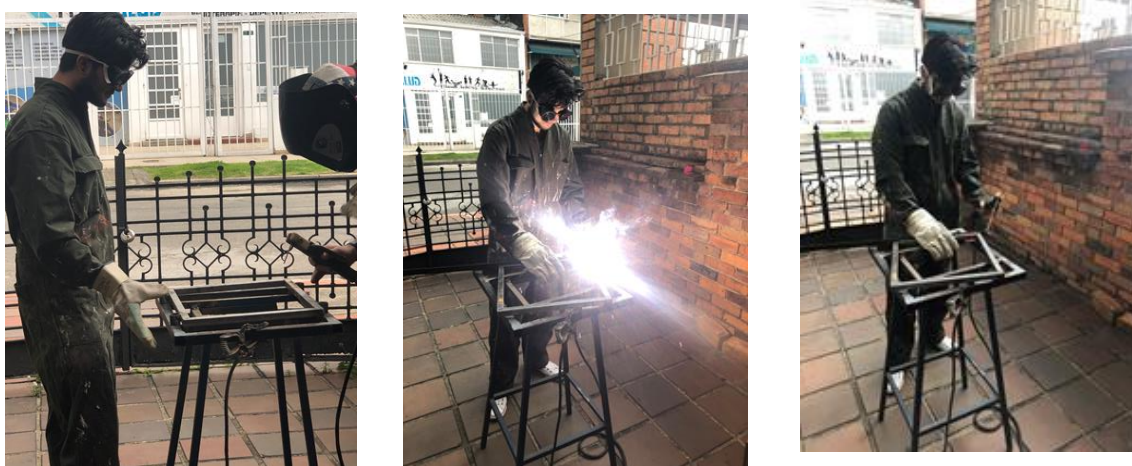
Figura 103,104,105,106. Trazado de corte, corte de tubo cuadrado, doblado de tubo cuadrado para formar el marco de sujeción.



*Nota: Trazado de corte, corte de tubo cuadrado, doblado de tubo cuadrado para formar el marco de sujeción. Fuente: Autores.*

Teniendo todas las piezas del marco ya construidas, se procedió a soldar las uniones utilizando soldadura por arco eléctrico, fueron medidas a 45° con una escuadra.

Figura 107,108,109. Soldadura del marco de sujeción con arco eléctrico.



*Nota: Soldadura del marco de sujeción con arco eléctrico. Fuente: Autores.*

Figura 110. Soldadura del seguro con arco eléctrico. Fuente: Autores.



*Nota: Soldadura del seguro con arco eléctrico. Fuente: Autores.*

Finalmente se colocaron bandas de caucho de 2 cm, que presionan la lámina del material contra el marco, además de las bisagras y seguro del marco que se ubicaron con ayuda de remaches pop de 3/16 pulgadas.

Figura 111,112. Pegado de cauchos protectores, ensamble de bisagras.



*Nota: Pegado de cauchos protectores, ensamble de bisagras. Fuente: Autores.*

El marco se ubicó sobre el soporte que tiene perforaciones de 1 pulgada y 1 pulgada y media, realizadas con el taladro de árbol, con las cuales sirven de guía para deslizar el marco de arriba a abajo y viceversa.

Figura 113. Marco de sujeción ensamblado en la estructura.



*Nota: Marco de sujeción ensamblado en la estructura. Fuente: Autores.*

### **Detalles estéticos**

Para finalizar los detalles estéticos del prototipo se colocaron tapas metálicas que cubrieron la parte interior donde se encuentra la bomba de succión utilizando remaches pop, se cubrió la parte que sostiene la plataforma del marco para finalmente dar detalles de pintura y pulido.

Figura 114,115. Ensamble de tapas metálicas con remaches pop.



*Nota: Ensamble de tapas metálicas con remaches pop. Fuente: Autores.*



Figura 116,117. Pulido de imperfecciones.



*Nota: Pulido de imperfecciones. Fuente: Autores*

Figura 118,119. Pintado de tapas metálicas.



*Nota.: Pintado de tapas metálicas. Fuente: Autores.*

### **Prototipo**

A Continuación, se muestra el conjunto de la fabricación de cada sistema ya ensamblado en la estructura del prototipo, con sus respectivos detalles estéticos y avisos de seguridad, las imágenes de las vistas y detalles del prototipo de evidencian en el [anexo 4](#).

Figura 120,121. Prototipo de máquina termoformadora ensamblado y terminado.



*Nota: Prototipo de máquina termoformadora ensamblado y terminado. Fuente: Autores.*

Finalmente se elaboró el manual de usuario como se evidencia en el [anexo 2](#), donde además del manual se encuentra un código QR para visualizarlo.

### Verificación del funcionamiento de la termoformadora

Se verifica el funcionamiento de la termoformadora, donde se pudo observar el funcionamiento de los sistemas en conjunto, para esto se realizaron pruebas con dos tipos de termoplásticos, los cuales fueron: PVC (polivinilcloruro) calibre 23 (0.56mm) a una temperatura de 140° y PS (poliestireno) calibre 20 (0.5 mm) a una temperatura de 135°, teniendo en cuenta la tabla de temperatura de formado que se encuentra en el marco teórico del presente informe.

A continuación, se presenta la evidencia fotográfica del termoformado realizado con el material PS (poliestireno), utilizando diferentes alturas de moldes:

Figura 122,123. Moldes y material termoformado.



*Nota: Moldes y material termoformado. Fuente: Autores.*

Figura 124,125. Moldes con el material ya termoformado.



*Nota: Moldes con el material ya termoformado. Fuente: Autores.*

Finalmente se obtuvieron los objetos termoformados a los que se les extrae el molde, como se muestra a continuación:

Figura 126,.127. Objetos termoformados.



*Nota: Objetos termoformados. Fuente: Autores.*

A continuación, se presenta la evidencia fotográfica del termoformado realizado con el material PVC (poliestireno), realizando un empaque con Skin, el cual consiste en colocar sobre un cartón delgado un objeto para después cubrirlo con una película de termoplástico transparente, en las cuatro imágenes se muestra la evidencia fotográfica tanto de los objetos previos a ser empacados, como de los objetos empacados:

Figura 128. Proceso de empaque con Skin.



*Nota: Proceso de empaque con Skin. Fuente: Autores.*

Con la verificación de funcionamiento evidenciada, se concluye que la termoformadora cuenta con un funcionamiento adecuado de los sistemas en general, sin embargo, presenta una efectividad del 70% en el sistema de formado.

## Momento 2

### Concepción de la propuesta pedagógica

#### Diseño de cartilla guía

Con el fin de complementar la enseñanza del proceso de termoformado de polímeros en la asignatura de Materiales y Procesos II mediante el prototipo de máquina diseñado, se produjo un recurso pedagógico tipo cartilla guía en cuyo interior se encuentran actividades que ejemplifican el uso con fines educativos del prototipo de máquina termoformadora. Para la producción de dicha cartilla se tomó como referencia a Kaplún, M, 1995, quien plantea dentro del proceso de producción de un material educativo las siguientes fases que a su vez contienen actividades que orientan el proceso:

#### 1. Fase preparatoria.

Para aplicar el método propuesto por Kaplun 1995, inicialmente se planteó una fase preparatoria reflexiva donde se identifican los factores principales del material, en cuanto a las necesidades previamente establecidas, en este caso se requiere un material que permita a los estudiantes aprender y a los docentes enseñar el proceso de termoformado de polímeros.

#### Formulación del tema y verificación de su relevancia

Para la formulación del tema a trabajar con el material se toma como referencia el programa de la asignatura planteado por el departamento de tecnología, se extraen los aspectos que se considera necesarios en esta fase del diseño del material, esto se muestra a continuación:

#### Identificación de la asignatura

Tabla 10. Identificación de la asignatura

Proyecto curricular oferente	Licenciatura en Diseño Tecnológico
Nombre de la asignatura	Materiales y Procesos II
Ciclo de asignatura	Profundización
Número de horas de trabajo dirigido	4 horas por semana
Número de horas de trabajo autónomo	5 horas por semana

A Continuación, se muestran las competencias de la asignatura donde se encuentran los contenidos, enfoque metodológico y estrategias pedagógicas de trabajo dirigido, se enfocó en los puntos que evidencian la pertinencia de la formulación del tema a trabajar:

Dentro del programa de la asignatura de Materiales y Procesos II se encuentra que los contenidos que se desarrollan mediante el material educativo que se está diseñando, se sitúan entre la semana 5 y 7 del programa, en el ítem 2.3 Polímeros, estos contenidos son:

- Preparación materia prima. Relación Temperatura - Estado.
- Procesos de conformado en plásticos.
- Termoformado.

De la metodología para la asignatura de Materiales y Procesos II se identificó dentro del trabajo en el aula con acompañamiento del profesor los ítems número 1 y número 4 que atiende al desarrollo de temas a través de grupos de trabajo y visitas técnicas a la industria donde se puedan confrontar aspectos teóricos respectivamente.

Tanto el tema a trabajar como los contenidos también están determinados por la población a quien va dirigida la cartilla guía, en este caso estudiantes de sexto semestre del programa de Diseño Tecnológico.

### **Conformación del equipo de producción**

Según el método planteado por el autor, el equipo de trabajo debe estar compuesto por tres personas: Docente, comunicador y diseñador, teniendo en cuenta que por lo menos un miembro del equipo debe ser conocedor del tema y del tratamiento de los contenidos inherentes del mismo, en este caso en particular los tres miembros conocen del tema y sus contenidos, además de tener conocimiento en diseño para la ilustración y producción visual del material.

### **Formulación inicial de los objetivos**

En la siguiente tabla se encuentran los objetivos de la asignatura Materiales y Procesos II, tomados del sistema digital de información curricular del departamento de Tecnología.

Tabla 11. Objetivos de la asignatura

Objetivos
1. Desarrollar habilidades para la identificación de variables involucradas en los procesos de manufactura.
2. Capacidad para seleccionar tanto el material como el proceso en la fabricación de un producto o sistema específico.
3. Capacidad de análisis de los procesos de conformado para materiales metálicos, plásticos y cerámicos.

*La tabla número 11 muestra los objetivos de la asignatura de materiales y procesos II. Fuente sistema digital de información curricular Departamento de Tecnología.*

Teniendo en cuenta los objetivos planteados en el programa de la asignatura que se muestran en la tabla 15 se propuso inicialmente un objetivo general direccionado hacia aprendizaje del tema del proceso de termoformado de polímeros.

### **Objetivo general**

- Reconocer por medio de la experiencia las variables fundamentales del proceso de termoformado de polímeros, desarrollando habilidades analíticas y experimentales mediante la observación y utilización del prototipo de máquina termoformadora.

### **Investigación temática**

Se recopiló información pertinente de la temática a tratar en la cartilla guía, teniendo en cuenta todo lo referente al proceso de termoformado de polímeros, dicha información le permite al estudiante reflexionar acerca de sus conocimientos previos y así generar nuevos aprendizajes mediante la práctica, los temas identificados para trabajar son:

- Proceso de termoformado de polímeros.



- Polímeros adecuados para el termoformado.
- Temperaturas de termoformado.
- Propiedades térmicas de los polímeros.
- Productos fabricados por termoformado.
- Equipo de termoformado.

### **Formulación definitiva de los objetivos**

Teniendo en cuenta la investigación temática se establecieron una serie de objetivos específicos que orientan los propósitos de la cartilla guía de forma clara.

#### **Objetivo general**

- Reconocer por medio de la experiencia las variables fundamentales del proceso de termoformado de polímeros, desarrollando habilidades analíticas y experimentales mediante la observación y utilización del prototipo de máquina termoformadora, además de aprender los diferentes conceptos inmersos en el proceso.

#### **Objetivos específicos**

- Adquirir conocimiento sobre el proceso de termoformado de polímeros.
- Identificar los principales polímeros termoformables.
- Reconocer el prototipo de termoformadora y su funcionamiento.
- Conocer los principales sistemas de una máquina termoformadora.
- Aprender sobre los usos del termoformado en diferentes campos de la industria.

### **Diseño del material o elaboración del plan**

La cartilla guía se diseñó teniendo en cuenta la estructura de una cartilla, elementos que crean en conjunto un recurso pedagógico que ejemplifica el uso del prototipo de termoformadora en la asignatura de Materiales y Procesos II, los componentes de la cartilla incluyen:

1. Portada
2. Presentación

3. Contenidos
4. Objetivos
5. Temáticas
6. Prototipo
7. Diagrama
8. Actividades

## **2. Fase de elaboración.**

### **Redacción de la versión definitiva**

Se realizó la redacción definitiva de la cartilla con los contenidos establecidos en la fase preparatoria, además de las temáticas identificadas que darán cumplimiento a los objetivos del material educativo, el diseño de cartilla guía se presenta en el [anexo 1](#), con el cual se complementa el prototipo termoformadora como recurso pedagógico.

### **3. Fase de impresión**

En esta última fase se corrigieron los errores de calidad del material, además de garantizar la nitidez de la impresión al utilizar un programa de diseño gráfico (Corel Draw), este programa brindó las herramientas necesarias para lograr la elaboración del conjunto de imágenes y texto que dieron forma al material educativo propuesto.

## Capítulo 4: Conclusiones

En el presente informe de trabajo de grado, se llegó a una serie de conclusiones desde tres ejes temáticos, tales como diseño, metodología y formación académica organizados respectivamente:

- Se identificaron y seleccionaron los sistemas del prototipo, utilizando herramientas de modelado para ilustrar los componentes principales, mediante el programa Solid Works, lo que permitió detectar posibles errores en la fabricación
- A pesar de carecer de conocimientos teóricos se logró obtener un sistema de calentamiento adecuado y de esta manera conseguir un calentamiento uniforme de la lámina de polímero que se va a termoformar.
- Por otra parte, el proceso de implementar el sistema de formado por vacío represento un reto en cuanto a lograr el vacío suficiente para el termoformado, se determinó que, si bien la idea de utilizar una bomba de succión fue acertada, no se logró obtener el óptimo resultado por la falta de un tanque de vacío en la fabricación, el cual garantizaría el resultado del termoformado.
- La máquina se diseñó para trabajar con láminas termoplásticas, las cuales necesitan temperaturas elevadas para poderse deformar, teniendo en cuenta esto, se logró que la temperatura de las superficies no superase los 51° C como lo establece la norma ISO137321-1 2006.
- Los materiales de la estructura de la termoformadora se seleccionaron revisando catálogos de fabricantes y teniendo en cuenta los antecedentes encontrados. Por tal razón, se realizó una simulación de los elementos estructurales para observar las cargas y el factor de seguridad.
- Se diseñó un manual de usuario que plasmó todos los componentes técnicos, de manejo, de seguridad industrial, características técnicas y de mantenimiento de la termoformadora, en el cual también se facilita la identificación de las partes de la misma.
- El aprendizaje significativo es un referente oportuno y pertinente como un tipo de aprendizaje que involucra al estudiante y al docente en el proceso educativo y que fomenta el interés en construir nuevo conocimiento.

- El abordaje teórico en materia de pedagogía permitió diseñar un material de apoyo educativo consecuente con las necesidades y objetivos planteados en el presente proyecto.
- El proceso de diseño seleccionado para la realización del prototipo, permitió establecer prioridades, además de delimitar claramente las principales características, tales como dimensiones, materiales, costos y especificaciones de cada uno de los componentes como el sistema de calefacción, sistema de formado, sistema de control, etc., la identificación de estas variables brindaron un aporte significativo en la elaboración del prototipo.
- La sistematización de los elementos que componen el diseño de la máquina en forma de tablas, facilitó tener un orden esquemático y pertinente sobre la viabilidad y costos favorables para la materialización del prototipo.
- Es pertinente que las problemáticas identificadas en los distintos espacios educativos sean un ejercicio que permita la reflexión pedagógica y la movilización de propuestas prácticas y didácticas que permitan superarlas mediante acciones concretas.
- La pertinencia del presente trabajo, emana a partir de las reflexiones halladas tanto en el análisis documental como el en discurrir constante de la labor docente y del propio proceso formativo, acerca de cómo optimizar los procesos académicos de la comunidad educativa, acción inacabada y necesaria para acercarse a el fortalecimiento de una formación integral.
- Los conocimientos adquiridos en el transcurso de la Licenciatura en Diseño Tecnológico brindaron los elementos metodológicos necesarios para elaborar un prototipo de máquina funcional, adicional a esto permitió la integración de conocimientos técnicos y pedagógicos, este ejercicio representó un reto que logró superarse mediante esfuerzo, constancia y dedicación.
- En ocasiones, es preciso superar ejercicios de reflexión plenamente teóricos y emprender acciones de planeación, diseño, ejecución, ensayo y error, que son en esencia ejercicios que forjan el aprendizaje experiencial y la formación integral de los docentes en formación posibilitando un proceso de enseñanza y aprendizaje continuo.

### **Recomendación**

- Haciendo uso del sistema de desplazamiento del marco de sujeción se encontró que debido al movimiento repetitivo se genera fricción entre algunos elementos mecánicos se precisa de un proceso de mantenimiento. Se recomienda un plan de mantenimiento teniendo en cuenta lo indicado en el Manual de usuario. [Anexo 2. Manual de usuario](#)

### Bibliografía

- Ausubel, D. (1983). Teoría del aprendizaje significativo. *Fascículos de CEIF*, 1(1-10).
- Bonsiepe, G. (1978). Teoría y práctica del diseño industrial: elementos para una manualística crítica. Barcelona: Gustavo Gili.
- Caamaño A. (2003). Los trabajos prácticos en ciencias. En enseñar ciencias. Barcelona: Graò pág. 95-118
- Cabero, J. (2001). *Tecnología Educativa, Diseño y Utilización de Medios para la Enseñanza*, España, Paidós
- Carretero, M. (2000). *Constructivismo y educación*. Editorial Progreso. p 25.
- Cross, N. (2008). Métodos de diseño: Estrategias para el diseño de productos.
- Díaz Gutiérrez & Demoya correal & González torres. j.e., e.d., o.a. (2016). diseño y construcción de prototipo para el aprendizaje del proceso técnico de afilado de buril; [tesis pregrado]. universidad pedagógica nacional.
- Esteban, M. (2002). El diseño de entornos de aprendizaje constructivista. *Revista de Educación a distancia*, (6).
- Ferrandez, A., Sarramona, J., & TARÍN, L. (1977). Tecnología didáctica. *Barcelona, CEAC*, 8.
- French, M. J., Gravdahl, J. T., & French, M. J. (1985). *Conceptual design for engineers*. London: Design Council.
- F.W. Billmeyer, “Ciencia de los Polímeros”, 2da Ed. Reverte, Barcelona (1973).
- Gomis, A. M. (2012). *Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades*. Universidad de Alicante.
- Gustavo, T. (2013). Ejecución de la instalación del pequeño sistema eléctrico huari 4ta etapa.
- Mantenimiento de bombas de succión para riego tecnificado en cultivo de uva en la región Áncash y la libertad [trabajo de grado para optar por el título de ingeniero electrónico]. Universidad nacional de Huancavelica.
- Instituto colombiano de normas técnicas, higiene y seguridad. Colores y señales de seguridad, símbolo; señales de seguridad; código de color; dimensión. NTC 1461 1987 Bogotá DC.

Instituto de biomecánica de valencia (2010), ERGOMETAL Manual de ergonomía de máquinas del sector metal.

Kolb, D.A. (1984): *Experiential learning: experience as the source of learning and development*. Prentice Hall. NJ

Sociedad colombiana de higienistas ocupacionales SCHO (), Ambiente térmico

ITEMS. (2010) Dirección de Investigación y Desarrollo Educativo Vicerrectoría Académica, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. LAS estrategias y técnicas didácticas en el rediseño.

Lizcano Prada, Otálora Virgues, Bermúdez Arenas. R.Y., L.m., c.a., (2018). elaboración e implementación de un recurso educativo para la enseñanza y el aprendizaje de conceptos relacionados con transmisión de movimiento. [tesis de pregrado]. Universidad Pedagógica Nacional.

MARKS. (1986). *Manual del Ingeniero Mecánico, Volumen III*. México:

McGraw Hill, Inc, U.S.A.

México, D.F.: International Thomson Editores, S.A.

MULTIFAB MANUFACTURING termoforming design guildelines, 2018

Phulé, D. R. (2004). *Ciencia e ingeniería de los materiales*, 4a. ed.

PLASTIGLAS, D., & DE CV, S. A. (1999). *Manual Técnico TERMOFORMADO*. México, DF.

Rodríguez Goyeneche. j.s., (2020). diseño y desarrollo de un prototipo funcional: desgranadora de arveja para un mercado local. [tesis de pregrado]. Universidad Pedagógica Nacional.

Rodríguez Rojas. O. I., (2015). diseño de material didáctico e implementación de un software, para la iniciación experimental en circuitos eléctricos en estudiantes de grado 11. [tesis de pregrado].

Universidad Pedagógica Nacional.

### **Páginas web:**

CO. LTD de Xiamen Kingray Industrial&Technology. (2018). Hornillas infrarrojas industriales del horno de la capa del polvo, Bbq infrarrojo de cerámica de la hornilla. recuperado de

<http://spanish.bbqinfraredburner.com/sale-10556121-powder-coating-oven-industrial-infrared-burners-ceramic-infrared-burner-bbq.html>

Diccionario de Lengua Castellana, editorial Salvat, P. 316

Diferentes productos de metal. (2020). Perfiles y tubos de acero inoxidable. recuperado de [https://es.123rf.com/photo\\_74180408\\_diferentes-productos-de-metal-perfiles-y-tubos-de-acero-inoxidable-3d-ilustraci%C3%B3n.html](https://es.123rf.com/photo_74180408_diferentes-productos-de-metal-perfiles-y-tubos-de-acero-inoxidable-3d-ilustraci%C3%B3n.html)

FANALCA. (s.f). Tubos de Acero Cold Rolled. recuperado de <http://tubosperfilesfanalca.com/wp-content/uploads/2017/07/Fanalca-Cold-Rolled-web.pdf>

Grupo Carman. (2016). Motores Gasolina vs. Motores eléctricos. recuperado de <https://grupocarman.com/blog/2016/01/31/motores-gasolina-vs-motores-electricos/>

GSA Térmicas. (s.f). recuperado de <https://gsatermicos.com.ar/>

Elementos-de-sujeci%C3%B3n-Tubos-Columnas-adicionales/Sistema-de-conexi%C3%B3n-de-tubos/Tubos-redondos-y-tubos-cuadrados.html

Ingeniería Alimentaria. (2020) ¿Que es la presión? recuperado de ¿QUÉ ES LA PRESIÓN? | Ingeniería Alimentaria (ialimentaria.com.ar)

Norlem. (2020). tubos redondos y tubos cuadrados. recuperado de <https://www.norelem.mx/mx/es/Productos/Vista-general-de-productos/Sistemas-y-componentes-para-la-construcci%C3%B3n-de-plantas-y-m%C3%A1quinas/Uniones-de-tubo-Piezas-de-sujeci%C3%B3n->

Materiales de estudio (25 de julio 2019). Sistemas mecánicos. recuperado de <https://ticenisc.wordpress.com/2019/07/25/material-de-estudio-mecanismos-y-operadores-tecnologicos/>

Sistemas neumáticos. (2012). Cilindros simples y de doble efecto. Recuperado de <https://neumaticabasicaepp.wordpress.com/44-2/receptores-neumaticos/cilindros-de-simple-y-doble-efecto/>

Wikipedia, 2015. Electrónica. [Foto], (www.Wikipedia.org/wiki/Electronica)

## **Imágenes**

Daniel Duran, 2017. Pump. [imagen], ( pump | 3D CAD Model Library | GrabCAD).



Electricidad. Blog, 2020. Control de nivel de tanque. [Imagen],

([esquemasyelectricidad.blogspot.com](http://esquemasyelectricidad.blogspot.com))

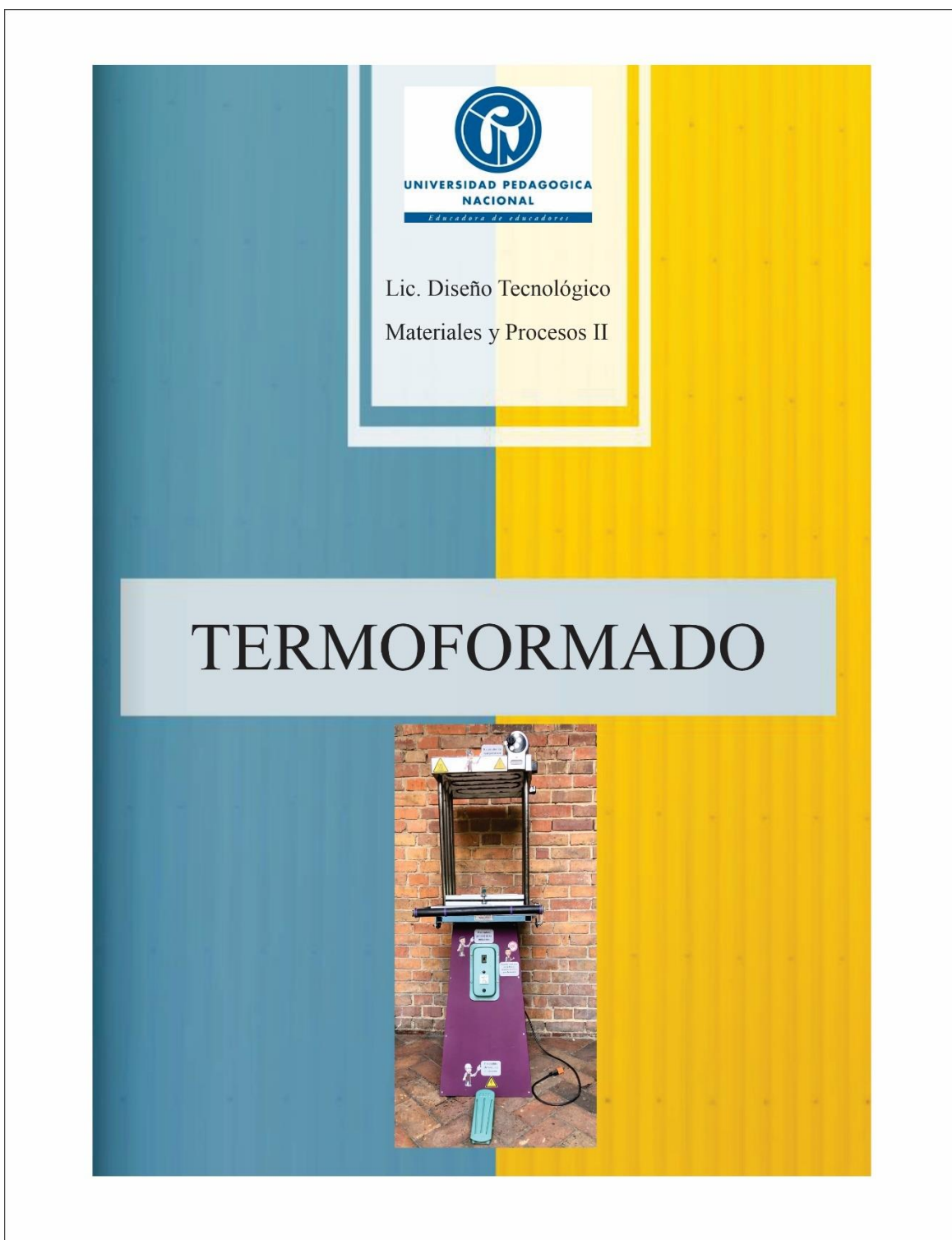
GSA térmicos, 2020. Resistencia Eléctrica Tubular 8 Líneas 3000W – 110V. [Fotografía], ( Resistencia

Eléctrica Tubular 8 Líneas 3000W - 110V - GSA Térmicos ([gsatermicos.com.ar](http://gsatermicos.com.ar)))

Revista cero grados, (2014). Bomba de vacío. ( Bomba de vacío – Revista Cero Grados ([0grados.com](http://0grados.com)))

## Anexos

## Anexo 1. Cartilla guía



# Presentación

La presente cartilla forma parte del trabajo de grado titulado "Termoformadora como material de apoyo educativo en la enseñanza del proceso de termoformado de polímeros, en la asignatura de materiales y procesos II de la licenciatura en Diseño tecnológico de la Universidad Pedagógica Nacional", en esta cartilla se ejemplifican algunos de los usos educativos para los cuales se diseñó el prototipo de termoformadora, con el propósito de enseñar el proceso de termoformado de polímeros, mediante actividades que los estudiantes puedan realizar

## Contenidos

1. Presentación.
2. Contenidos.
3. Objetivos.
4. Temáticas.
5. Prototipo.
6. Diagrama de funcionamiento del prototipo.
7. Actividad.



# Objetivos

## Objetivo general

Reconocer por medio de la experiencia las variables fundamentales del proceso de termoformado de polímeros desarrollando habilidades analíticas y experimentales mediante la observación y utilización del prototipo de máquina termoformadora, además de aprender los diferentes conceptos inmersos en el proceso

## Objetivos específicos

- Adquirir conocimiento sobre el proceso de termoformado de polímeros
- Identificar los principales polímeros termoformables
- Reconocer el prototipo de termoformadora y su funcionamiento
- Conocer los principales sistemas de una máquina termoformadora
- Aprender sobre los usos del termoformado en diferentes campos

## Temáticas

La cartilla guía contiene las temáticas a trabajar en la práctica utilizando el prototipo de máquina termoformadora, éstas temáticas se describen a continuación

### Proceso de termoformado de polímeros

El termoformado es un proceso que consiste en precalentar una lámina de polimérica hasta su estado plástico para ser moldeado posteriormente dentro de una cavidad que tendrá la forma del artículo deseado. Para lograr este propósito se combinan fuerzas y acciones neumáticas y mecánicas.

### Características generales del proceso

- Calentamiento de una lámina termoplástica hasta su punto de ablandamiento
- Conformación forzada de la lámina sobre el molde
- Enfriamiento y expulsión de la pieza del molde
- Remoción adecuada del material sobrante



## Polímeros adecuados para el termoformado

Básicamente, todos los polímeros termoplásticos son adecuados para el proceso de termoformado. Dichos materiales, cuando son sometidos a un calentamiento presentan una variación en su módulo de elasticidad, dureza y capacidad de resistencia bajo carga, en la siguiente tabla se muestran los polímeros más comunes para el termoformado:

POLÍMEROS	TEMPERATURA DE DEFLECCIÓN AL CALOR			TEMPERATURA DE TERMOFORMADO		
	A 264 PSI (°C)	A 66 PSI (°C)	SIN CARGA (°C)	TEMP. DE LA HOJA (°C)	TEMP DEL MOLDE (°C)	TEMP DE AYUDA (°C)
Acrílico extruido	94	98		135-175	65-75	
Acrílico cell-cast	96	110		160-180	65-75	
Acetobutirato de celulosa	65-75	75-80	120-150	140-160		
Poliétileno de alta densidad		60-80	100	145-190	95	170
Polipropileno	55-65	110-115	140	145-200		
Poliestireno	70-95	70-100	100	140-170	45-65	90
Poliestireno alto impacto	85-95	90-95	120	170-180	45-65	90
SAN	100	105		220-230		
ABS	75-115	80-120	95	120-180	70-85	90
Polivinilo de cloruro (RV.C.)	70	75	110	135-175	45	80
Policarbonato	130	140	160	180-230	95- 120	140

*Tabla de materiales adecuados para termoformado, manual de termoformado*

## PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS POLÍMEROS

### Temperatura

La temperatura es una medida del grado de “calor” o “frío” de un objeto. Siendo indispensable establecer una escala de temperatura, se tomó como parámetro las propiedades del agua, en particular el punto de fusión del hielo y el punto de ebullición del agua. Existen tres escalas para medir la temperatura de una sustancia, la escala en grados centígrados ( $^{\circ}\text{C}$ ), Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ), y Kelvin ( $^{\circ}\text{K}$ ), siendo las primeras dos, las más utilizadas.

### Calor

El calor es simplemente una de las formas de energía y por eso la unidad física apropiada para medir el calor es la misma que para la energía mecánica y esta es el joule.

### Calor Específico

La cantidad de calor requerido para elevar 1 Kg. De una sustancia en un grado es denominado calor específico de esa sustancia. El agua sirve como parámetro y se ha determinado como 1 cal./Kg; Tomándose como base para comparar con todos los materiales. Con excepción del agua, la mayor parte de los materiales tienen un calor específico más bajo que los plásticos.





### **Conductividad Térmica**

La conductividad térmica es una de las tres formas por las cuales la energía calorífica puede ser transferida de un lugar a otro; tiene lugar como resultado del movimiento molecular y por lo tanto, requiere de la presencia de materia.

### **Expansión Térmica**

La expansión térmica es el resultado de incrementar la temperatura de una sustancia, y como consecuencia ésta se expande, de hecho; casi todas las sustancias, sólidos, líquidos o gases tienen la propiedad de incrementar su tamaño, cuando se eleva su temperatura. En lo que se refiere al termoformado, cuando un polímero es calentado se incrementa la movilidad de las cadenas moleculares, por lo tanto, tienden a separarse unas con respecto a otras, aumentando el volumen y área del polímero.

## **Productos Fabricados por Termoformado**

Industria del empaque  
Industria de la comida para llevar  
Industria del empaque para alimentos  
Transporte  
Señalización y anuncios  
Artículos para el hogar  
Industria alimenticia  
Industria médica  
Agricultura y horticultura  
Construcción y vivienda  
Equipaje  
Equipo fotográfico



## Termoformado al vacío

El proceso de termoformado consiste en calentar una lámina de cualquier material termoplástico y que esta tome la forma del molde que se desea, para lograr esto se necesita una fuerza externa que obligue a la lámina a tomar todo el contorno y copiar de manera perfecta el molde al cual se unió.

Las fuerzas más comunes que han sido utilizadas para el proceso de termoformado son vacío o aire a presión, fuerzas mecánicas y la combinación de estas tres, la selección del método depende del tamaño y el volumen del producto que se quiere copiar.

“El principio básico del proceso de formado al vacío es el contar con una lámina termoplástica reblandecida sobre un molde perfectamente sellado y donde el aire atrapado será evacuado por la fuerza de vacío o succión”. (Manual de termoformado,(1999),p34).

### Moldes para termoformado

En la industria del termoformado se utilizan moldes con diferentes características, que dependen del tipo de producto que se desea obtener, así como también del acabado de la pieza, según el manual del termoformado de Platigla México, los tres principales aspectos a considerar son:

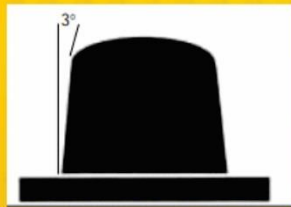
1. Forma y dimensiones de la pieza.
2. Apariencia de la pieza.
3. Volumen estimado de fabricación.

Otros elementos a tener en cuenta mencionados en el manual, están relacionados con los bordes de los moldes, en los cuales deben evitarse paredes de  $90^\circ$ , el molde deberá tener un ángulo de salida de por lo menos  $3^\circ$ , como se muestra en la imagen.

5. Una pequeña curvatura del molde en las partes planas de las áreas planas al enfriar el material.



6. No se podrán obtener piezas con paredes a  $90^\circ$ , el molde deberá tener un ángulo de salida de por lo menos  $3^\circ$ .



“Un molde macho es más fácil de usar, cuesta menos y es el más adecuado para formar piezas profundas. En general un molde hembra no deberá emplearse para formar piezas que requieran una profundidad mayor de la mitad del ancho de la pieza. El molde hembra se usará cuando la pieza terminada requiera que la cara cóncava no tenga contacto con el molde.” ( manual de termoformado Plastiglas México, (1999), p.43). Las imágenes de arriba son ejemplos de molde macho.



# Prototipo

Vistas principales del prototipo de máquina termoformadora

**Frente**



**Lateral**



**Posterior**



# Partes del prototipo

Caja de vacío



Marco de sujeción



Sistema de desplazamiento



# Partes del prototipo

Control de Temperatura



Resistencia



Sistema de Calentamiento



# Controles del Prototipo

Control de temperatura



Control general

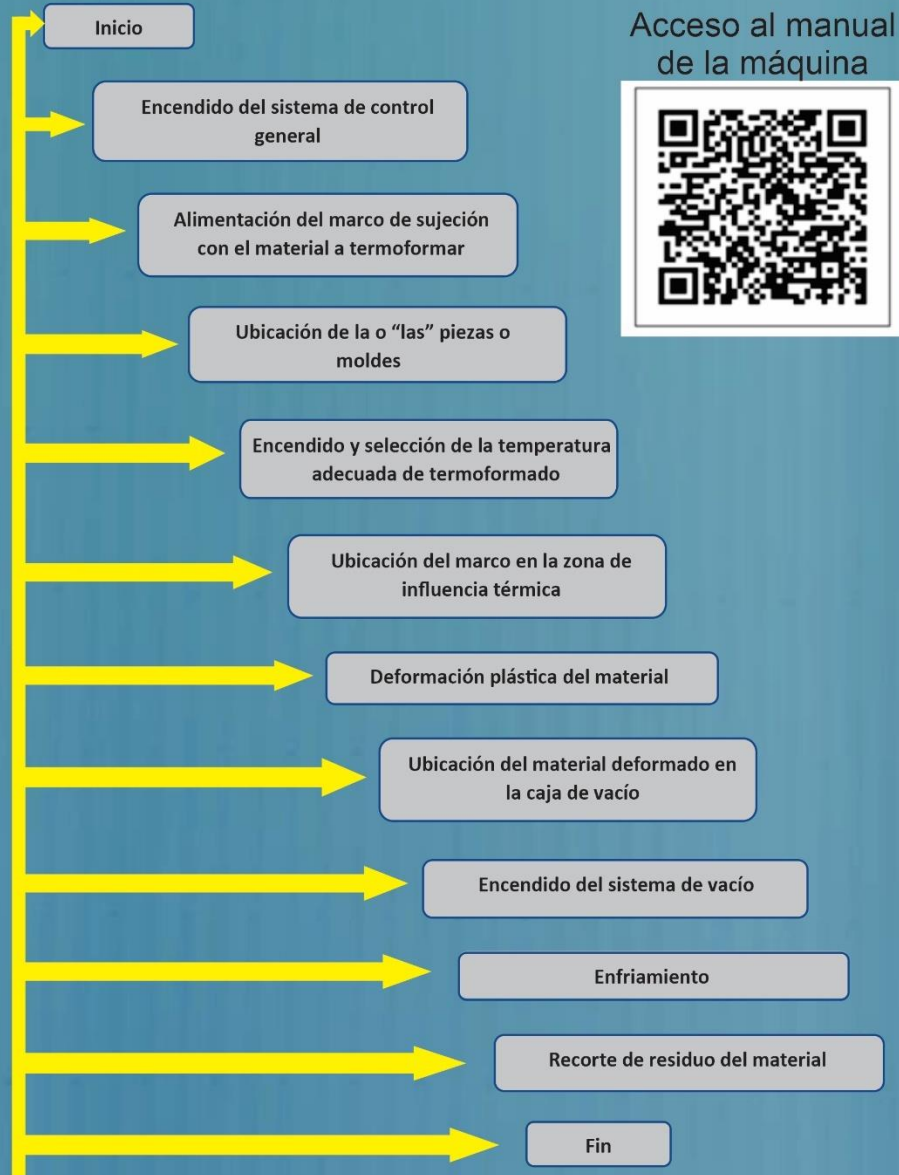


Pedal de succión





## Diagrama de Operaciones del Prototipo



## Actividad de termoformado Skin



5. leer el manual del usuario de la termoformadora, para posteriormente encender la máquina.

6. Ubicar el P.V.C. en el marco de sujeción y se asegura firmemente



7. Se enciende el regulador de temperatura y se gradúa en 220°C.

8. Se eleva la lámina de material hasta el sistema de calentamiento.



9. Se ubican los cartones y los objetos que se van a empacar.



# Actividad de termoformado Skin



## Materiales para la actividad

- Termoformadora
- Plástico P.V.C.
- Cartón cartulina
- Pegante P.U.
- Tijeras
- Cortador
- Aguja
- Brocha
- Regla
- Objetos



## Descripción

1. Cortar la lámina de P.V.C. al tamaño requerido
2. Cortar el Cartón a un tamaño mayor del objeto a empacar, aprox. 3 cms más al rededor del objeto.
3. Realizar perforaciones al cartón con la aguja aprox. cada 2 cms.



4. Aplicar una capa delgada de pegante de manera uniforme en la superficie del cartón

## Actividad de termoformado Skin



10. Cuando la lámina de P.V.C. alcance la temperatura adecuada se baja hasta la caja de vacío y se acciona el pedal del sistema de succión.



11. Se retiran los objetos empacados con skin y se corta el sobrante de material.



12. Si es necesario se despuntan y perforan los cartones para ser colgados.

## Bibliografía

Polipropileno del Caribe, S.A. (1992). Proceso de termoformado del polipropileno. informador técnico, 46, 10-13.

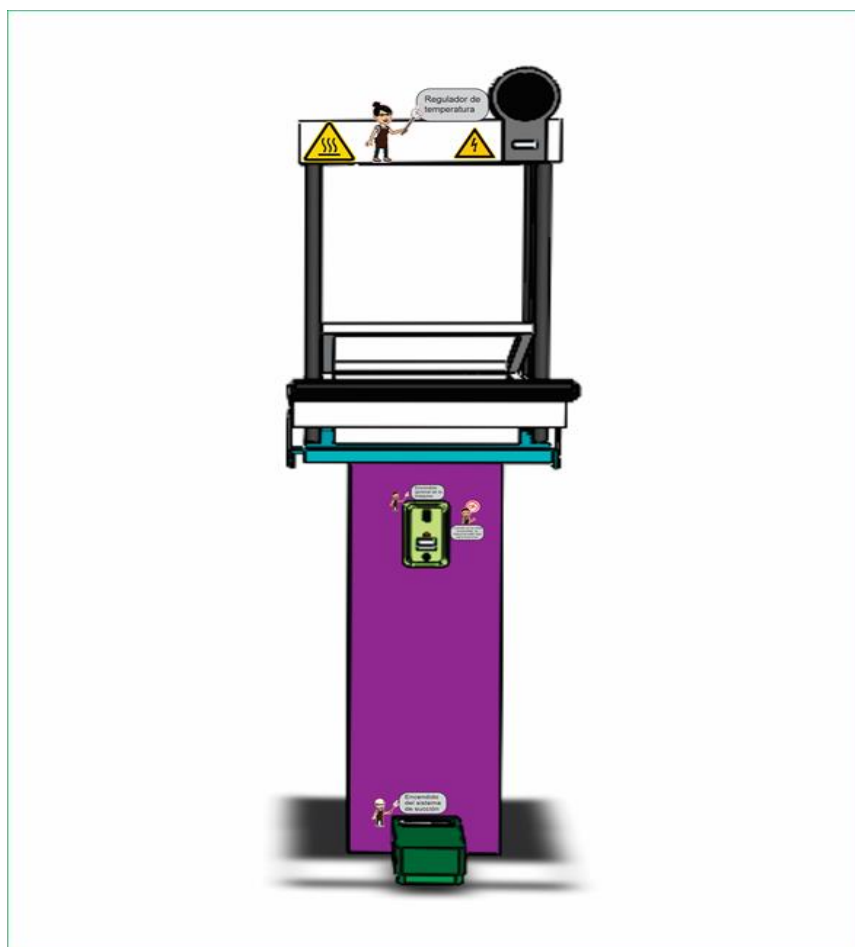
PLASTIGLAS, D., & DE CV, S.A. (1999). Manual Técnico TERMOFORMADO. México, DF.

Universidad Pedagógica Nacional. [logo], por Universidad Pedagógica Nacional, 2020, ([www.universidadpedagogica.edu.co](http://www.universidadpedagogica.edu.co))



Anexo 2. Manual de usuario

MANUAL DE USUARIO  
TERMOFORMADORA ZB 20-20



El presente manual contiene un conjunto de elementos como: Instrucciones, sugerencias, advertencias e información importante para la operación de la máquina que debe ser leída previamente al uso de la termoformadora.

#### PRECAUCIONES:

- Utilice los elementos de protección necesarios para la manipulación de la máquina.
- No realice cambio alguno a los elementos que componen la máquina.
- Lea cuidadosamente el manual de instrucciones de uso, el manual lo puede leer mediante un código QR que se encuentra a un costado de la máquina.
- Identifique los símbolos de seguridad ubicados en la máquina y revise su significado.



Por ningún motivo toque la resistencia cuando se encuentre encendida o a altas temperaturas.










#### INSTRUCCIONES DE USO

1. Ubique la máquina en una superficie lisa y nivelada, cerca de una fuente de corriente de 110V.
2. Conecte el cable de alimentación al tomacorriente, encienda la máquina accionando el botón ON que se encuentra en el sistema de control general, verifique que se encienda el indicador de luz.
3. Introduzca la lámina de material en el marco de sujeción previamente abierto, cierre el marco y asegure muy bien el material con el sujetador (La lámina del material debe estar previamente cortada al tamaño del marco de sujeción).
4. Suba el marco de sujeción hasta la resistencia utilizando el sistema de desplazamiento de marco, recuerde ubicar las manos a ambos extremos del mango sobre los indicadores de sujeción.
5. Ubique el molde a termoformar sobre la caja de vacío, cerciórese de que el molde se encuentre bien centrado respecto a la lámina perforada.





6. Encienda el sistema de calentamiento de la lámina con el botón del regulador de temperatura, este encenderá los indicadores led, seleccione la temperatura adecuada para el material utilizado con ayuda de la tabla informativa.
7. En el momento que el sistema alcance la temperatura deseada, los indicadores led se apagarán.
8. Mantener el marco de sujeción arriba el tiempo necesario, el material estará listo cuando se observe una curva de entre 2 a 2.5 cm.
9. Transcurrido el tiempo adecuado para el calentamiento de la lámina se debe bajar el sistema de desplazamiento del marco de sujeción rápidamente hasta el tope.
10. Enseguida accionar el pedal de encendido del sistema de succión.
11. Esperar aproximadamente un minuto, abrir el marco de sujeción para sacar el material termoformado, quitar excesos de material y desmoldar.
12. Apague el sistema de calentamiento de la lámina y posteriormente apague la máquina con el botón OFF del sistema de control.


## TABLA DE SÍMBOLOS



Tipo de símbolo	Simbolos	Significado
Prohibición		Prohibido tocar
Advertencia		Peligro en general
		Contacto térmico
		Riesgo eléctrico
Obligación		Uso obligatorio de gafas
		Uso obligatorio de botas
		Uso obligatorio de guantes
		Uso obligatorio overol o bata
		Uso de cofia o cabello recogido

#### ELEMENTOS DE SEGURIDAD:

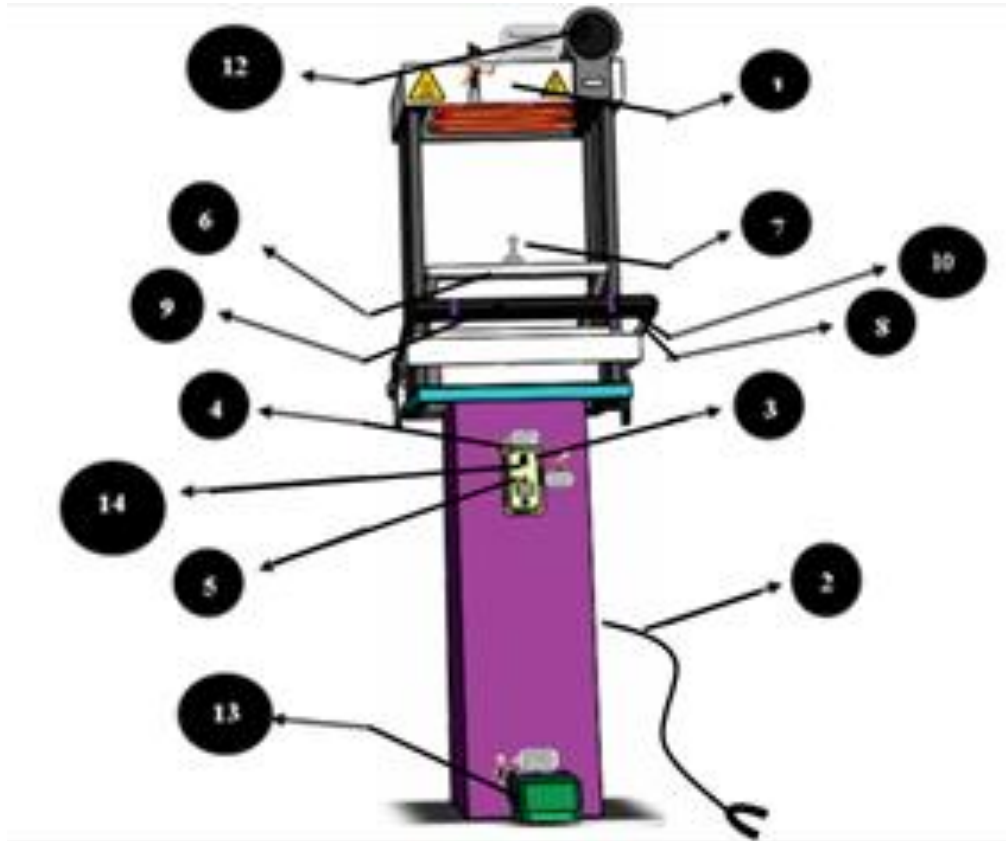
- Bata u overol..... 
- Gafas..... 
- Guantes..... 
- Botas..... 

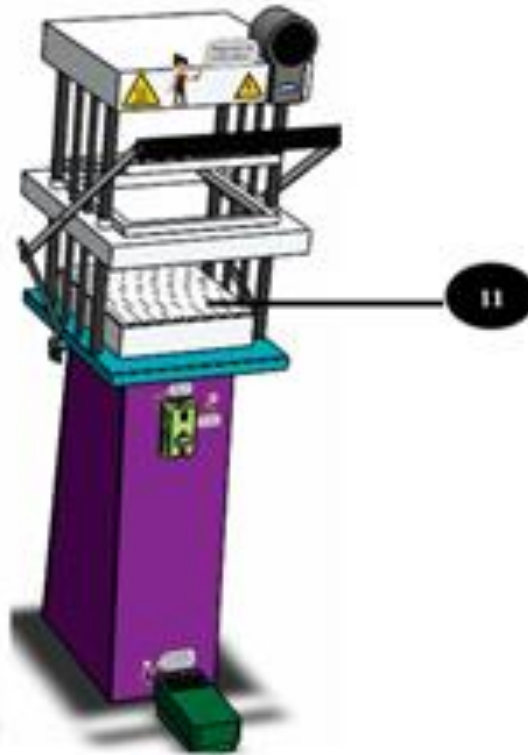
- Cofia.....



El operario debe operar el equipo sin anillos, manillas o relojes, de tener el cabello largo, este se debe recoger.

## COMPONENTES DE LA MÁQUINA





1. Sistema de calentamiento.
2. Cable de alimentación.
3. Botón ON.
4. Sistema de control general.
5. Indicador de luz.
6. Marco de sujeción.
7. Sujetador.
8. Sistema de desplazamiento del marco.

9. Mango.
10. Indicadores de sujeción.
11. Caja de vacío.
12. Botón regulador de temperatura.
13. Pedal de encendido del sistema de succión.
14. Botón OFF.

#### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ALIMENTACIÓN: 110 V

DIMENSIONES: ALTO 152 CM, ANCHO 52 CM, PROFUNDIDAD 77 CM.

PESO: 37,5 KG

DIMENSIONES MÁXIMAS DE LA LÁMINA A TERMOFORMAR: ESPESOR 0.3 CM, LARGO 39,5 CM, ANCHO 34,5 CM

RANGO DE TEMPERATURAS: 100°C A 300°C

#### RESISTENCIA

Alimentación: 110 v

Potencia: 3000 w

#### BOMBA DE SUCCIÓN

Succión: 10M

Alimentación: 110 v

Potencia: 1.7 HP

Caudal 20CFM

## MANTENIMIENTO

El protocolo de mantenimiento del prototipo consiste en realizar rutinas preventivas que permitan prolongar la vida útil del dispositivo y así evitar daños permanentes e inesperados.

**Nota:** Si se usa con regularidad, se debe aplicar lubricante ya sea silicona o aceite en los agujeros y las guías por donde se desliza el sistema de desplazamiento de la lámina, debido a la fricción que genera el movimiento repetitivo del desplazamiento, se requiere bastante lubricación en dicho lugar.

Revisión del circuito eléctrico: Realice inspección visual a las conexiones eléctricas, percatándose de que se encuentren en perfecto estado y no presenten roturas o desgaste, cambie fusibles o el temporizador de temperatura.



La máquina debe ser alimentada a 110 V para su buen funcionamiento.



No olvide desconectar la máquina antes de realizar las revisiones al sistema eléctrico.

Revisión de la estructura: La estructura debe revisarse periódicamente en busca de imperfectos o daños realizados en su operación o mal almacenamiento, revisar que siga siendo estable y que las uniones de soldadura, remaches pop o tornillos se encuentren en perfecto estado, de esa manera garantizar la seguridad del usuario.



NO modificar la estructura de la máquina, realizar perforaciones o dobleces.

Revisión del sistema de formado: Revisar cada 6 meses la bomba de succión, revisar que funcione correctamente y que no presente fugas de aire en el sistema, verifique que no esté generando succión insuficiente.



NO golpear el sistema.

Revisión del sistema de calefacción: La caja de calefacción y la resistencia eléctrica deben ser revisadas periódicamente para evitar deterioro y para garantizar su buen funcionamiento. Realice labores de limpieza para eliminar agentes extraños dentro y fuera del sistema.



NO realice las labores de limpieza con el sistema encendido, puede presentar quemaduras de alto grado por la temperatura que maneja la máquina.

Elementos complementarios:

Caja de vacío: Realice una revisión a las uniones y bordes de la caja para detectar posibles fisuras o ranuras que puedan generar fugas de aire, de presentarse alguna fuga se debe reparar utilizando un sellante de poliuretano.

Además, se debe limpiar la lámina perforada frecuentemente para evitar taponamientos en los agujeros.

Marco de sujeción: Debe publicarse periódicamente en la zona donde se encuentran las bisagras y en el sujetador, revisar que esté cerrando perfectamente.

#### ALMACENAMIENTO

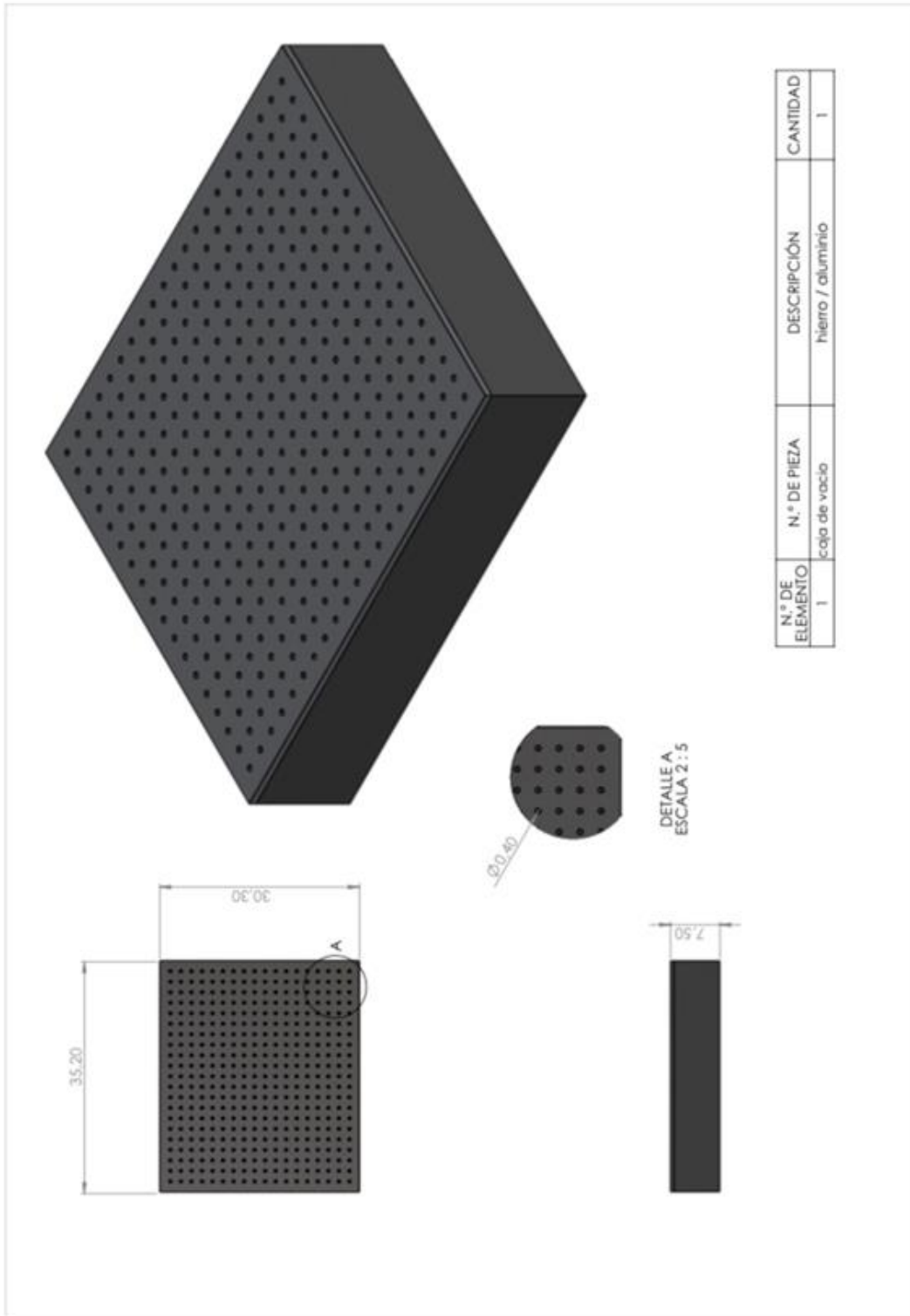
El equipo se debe almacenar en un lugar libre de humedad para evitar la oxidación y el deterioro de las piezas del prototipo, además se debe ubicar en un lugar amplio sin agentes externos que puedan causar daño al equipo.

Evitar el contacto del prototipo con algún químico que deteriore la estructura de este.

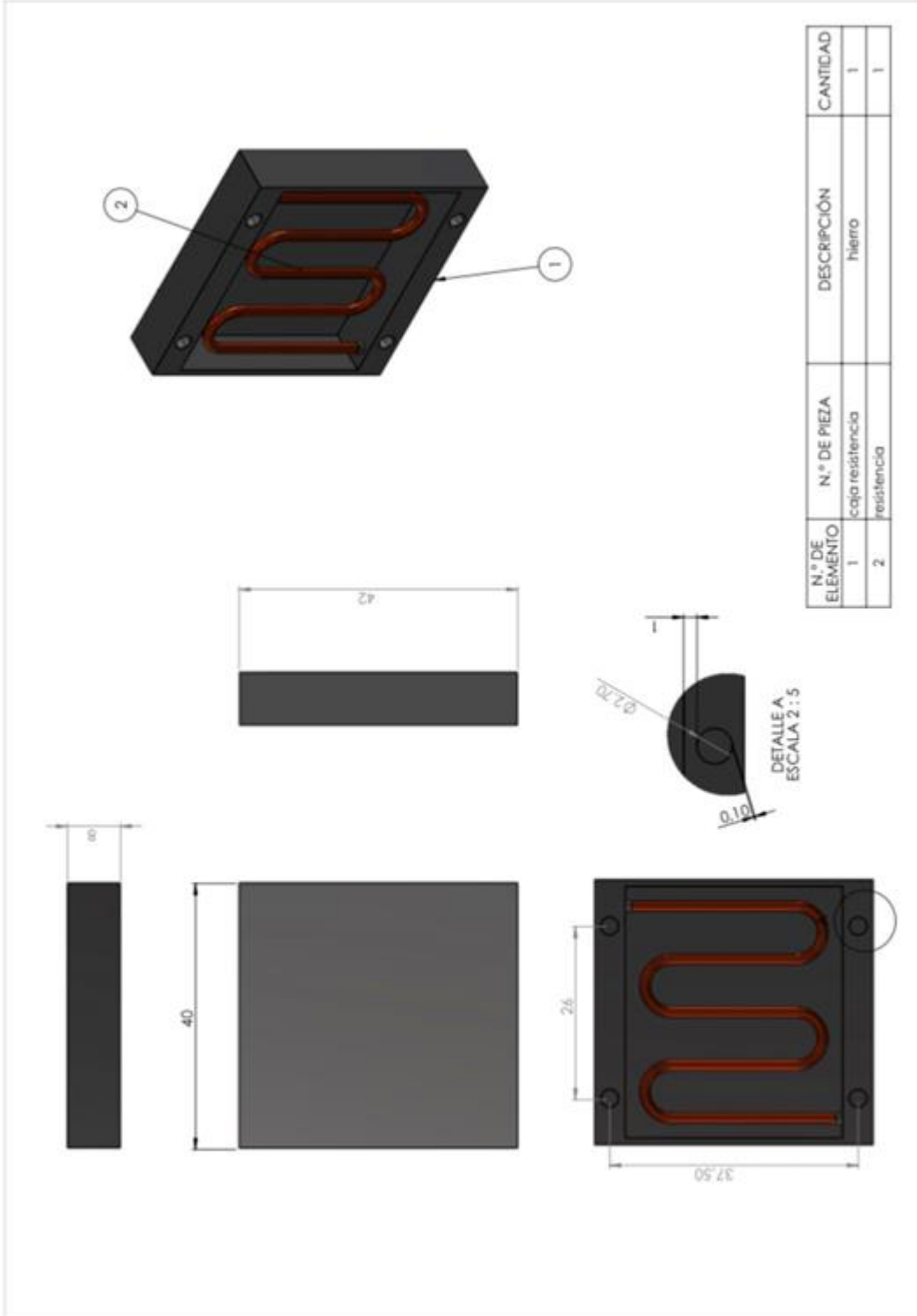


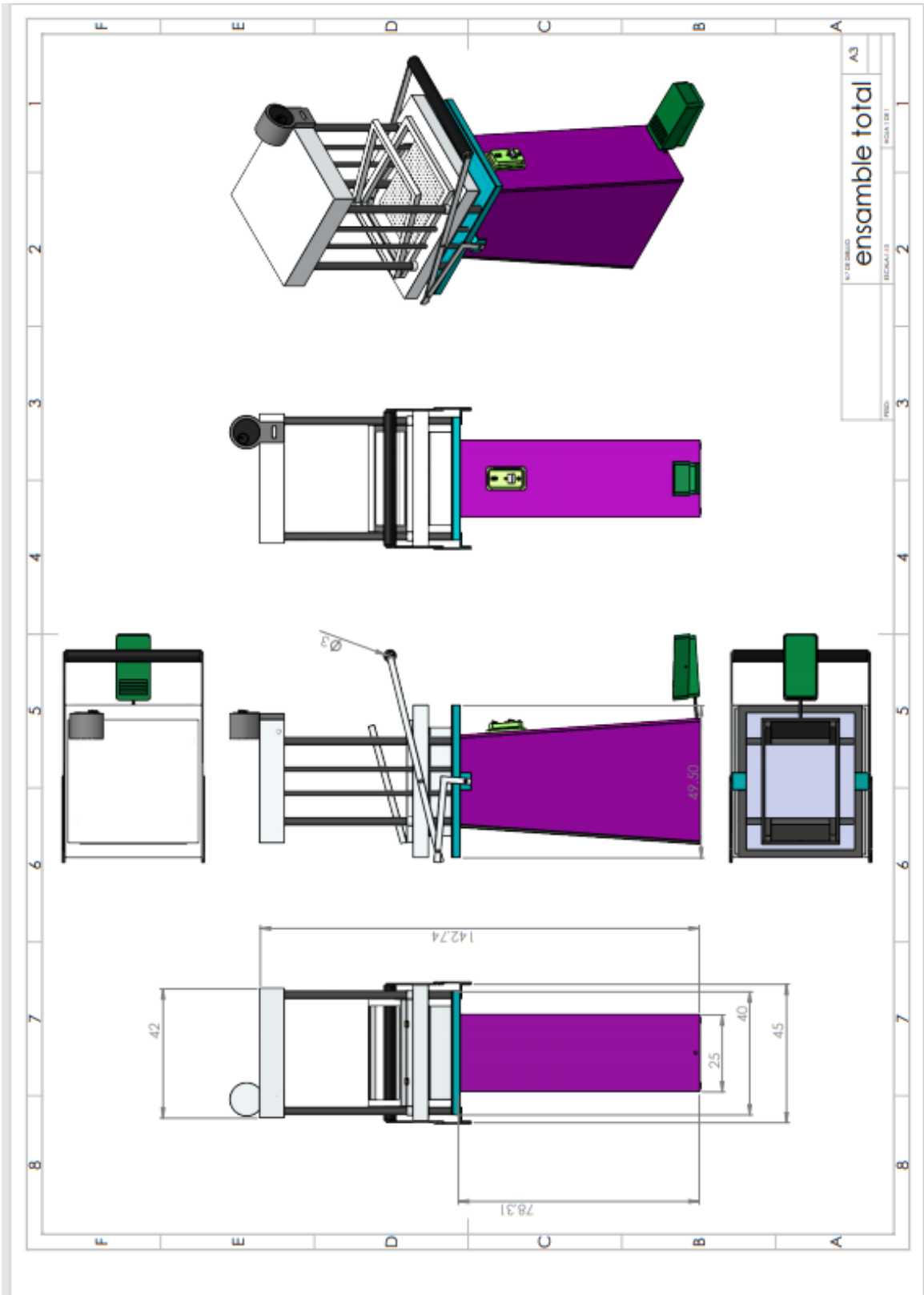
No colocar elementos pesados sobre el equipo de termoformado, con el fin de evitar sobreesfuerzos y rompimientos de la estructura.

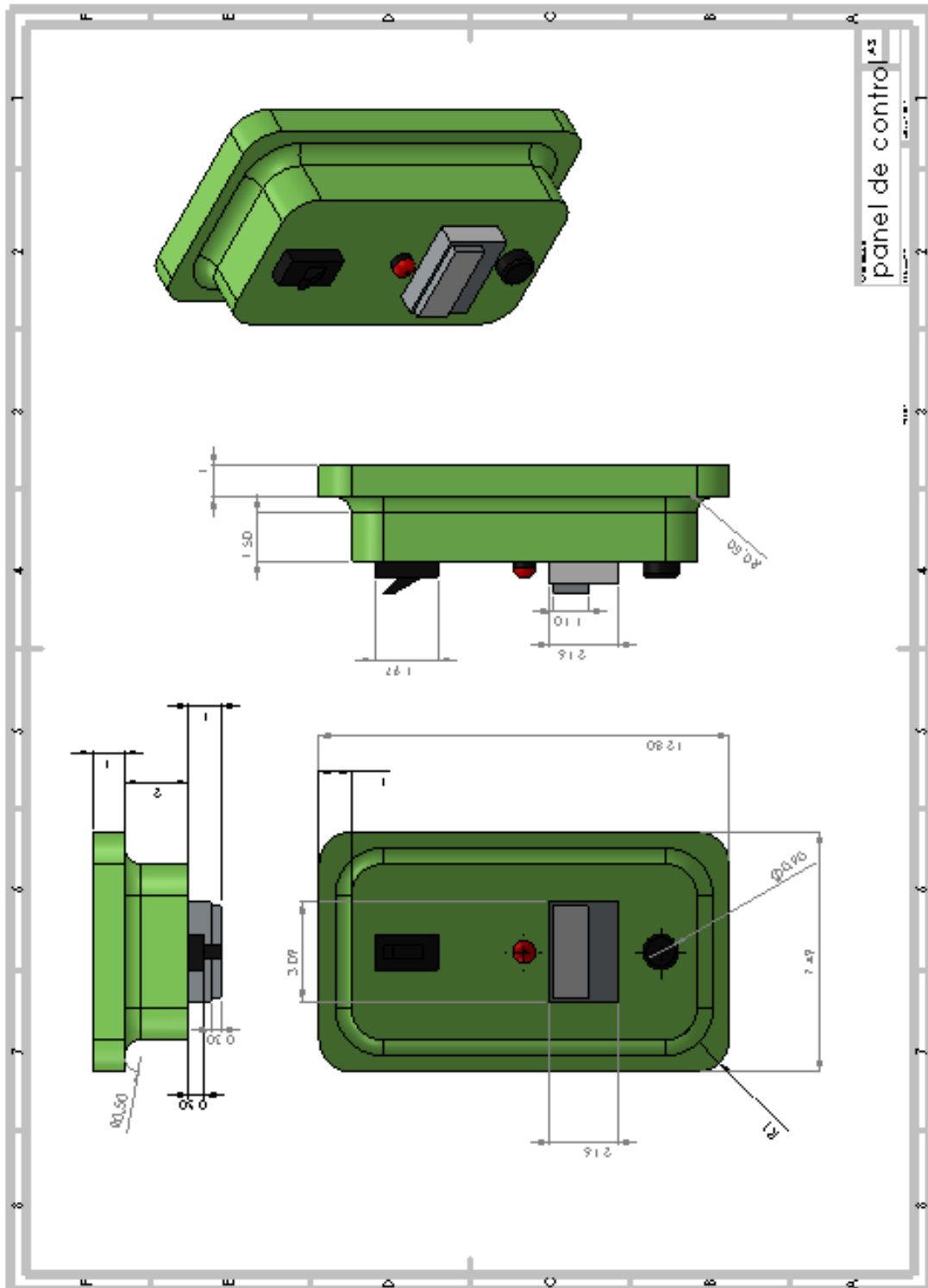
Anexo 3. Planos

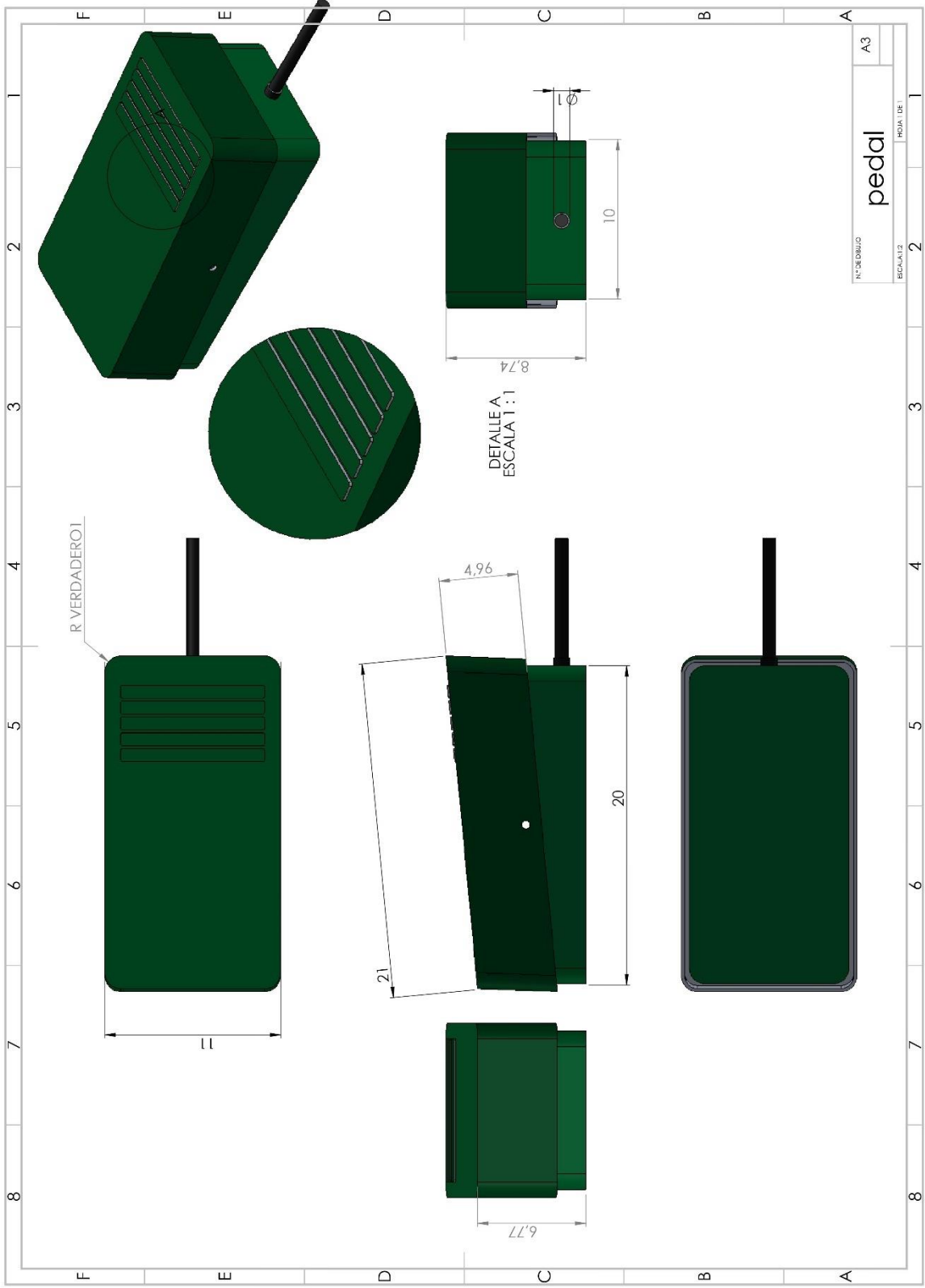


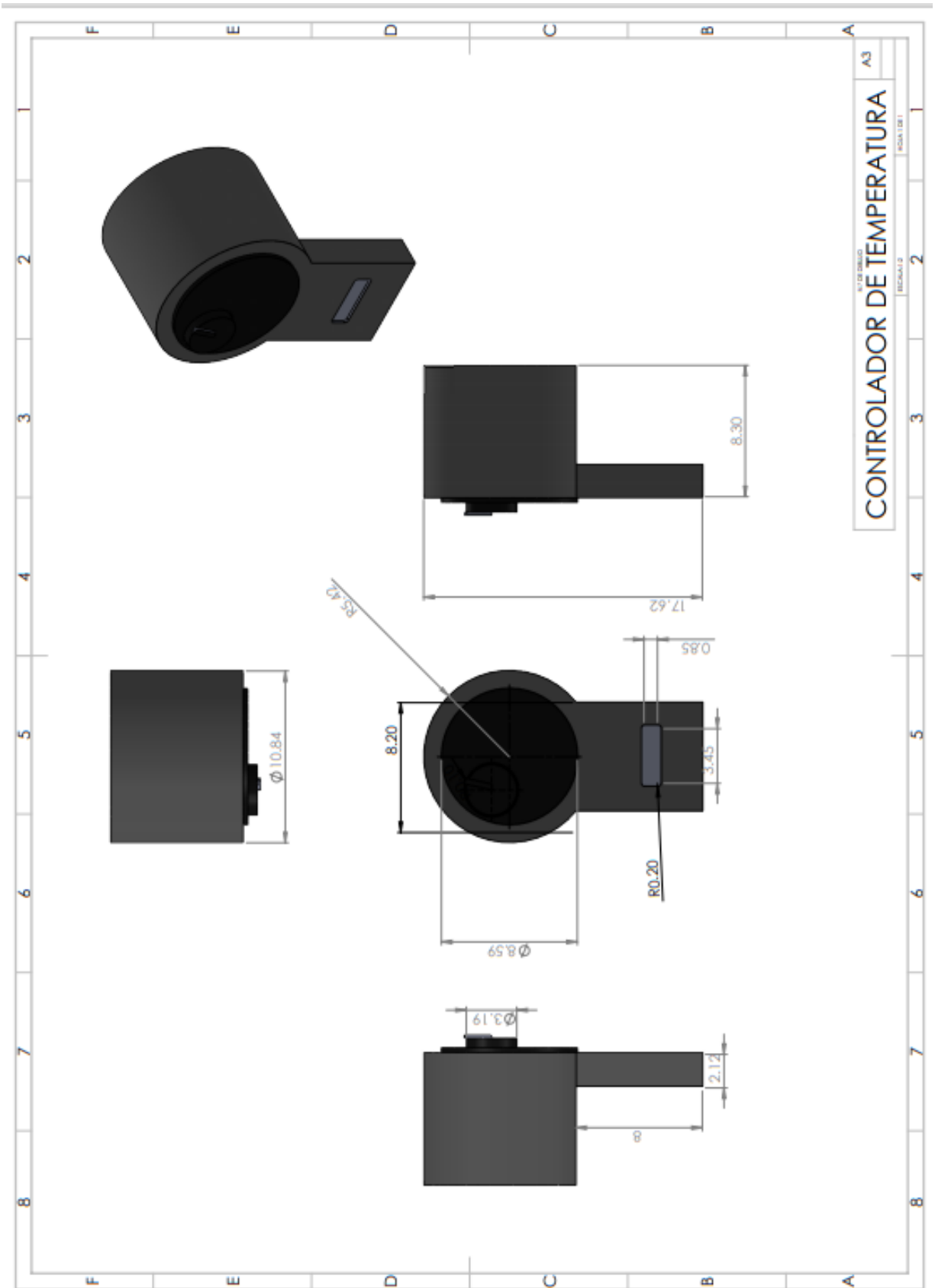


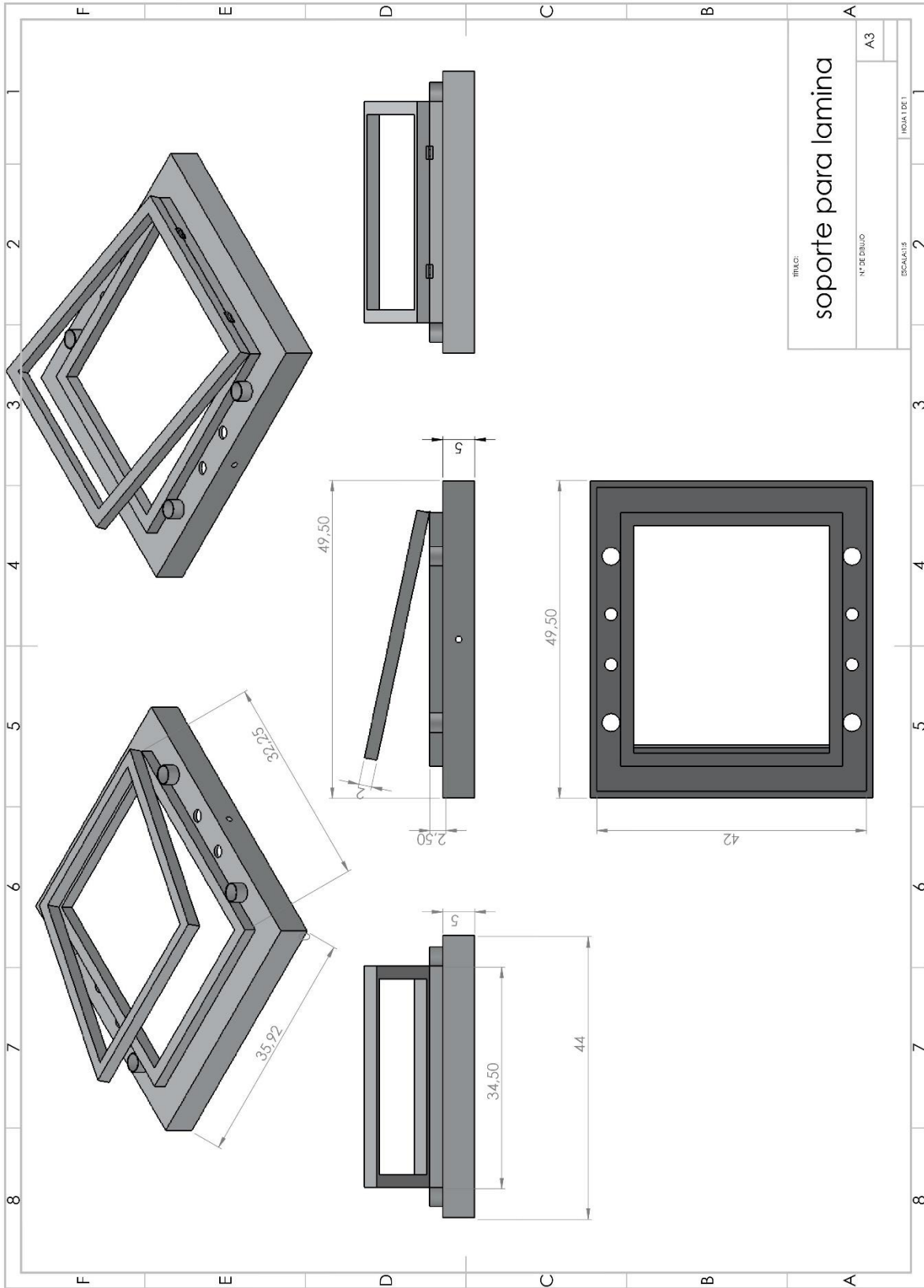












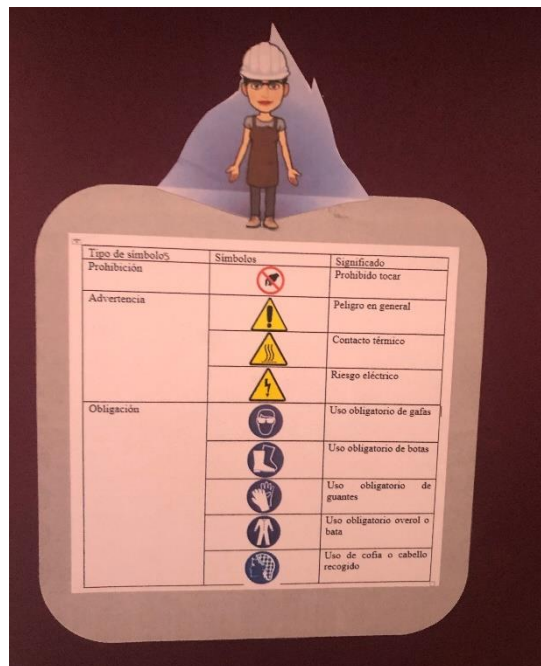
**Anexo 4. Fotos del prototipo**









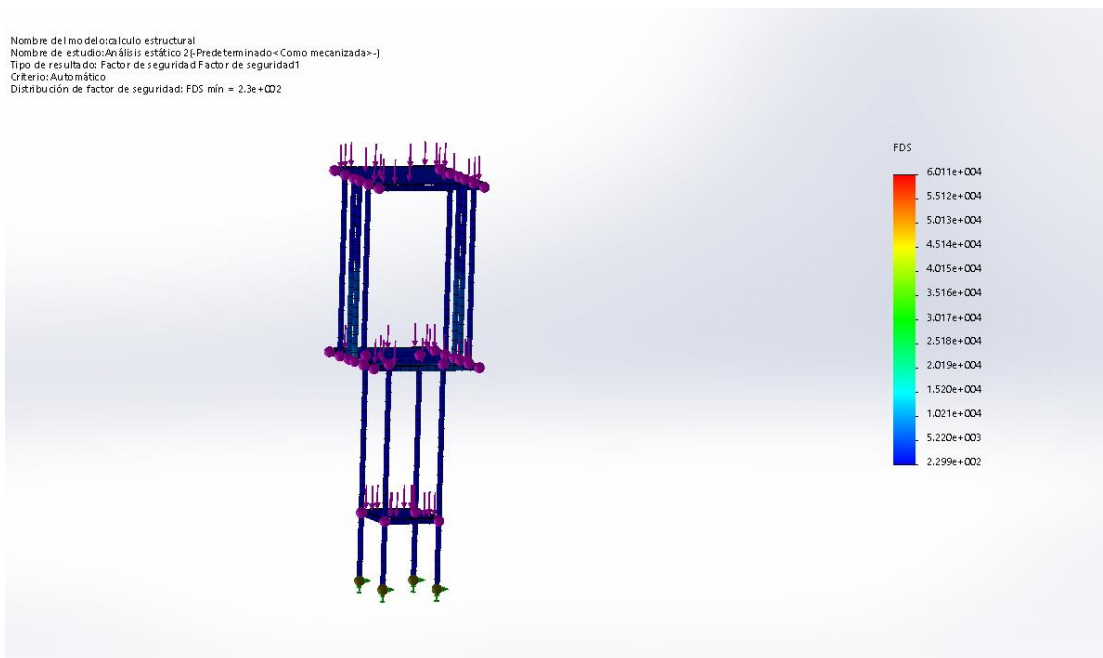




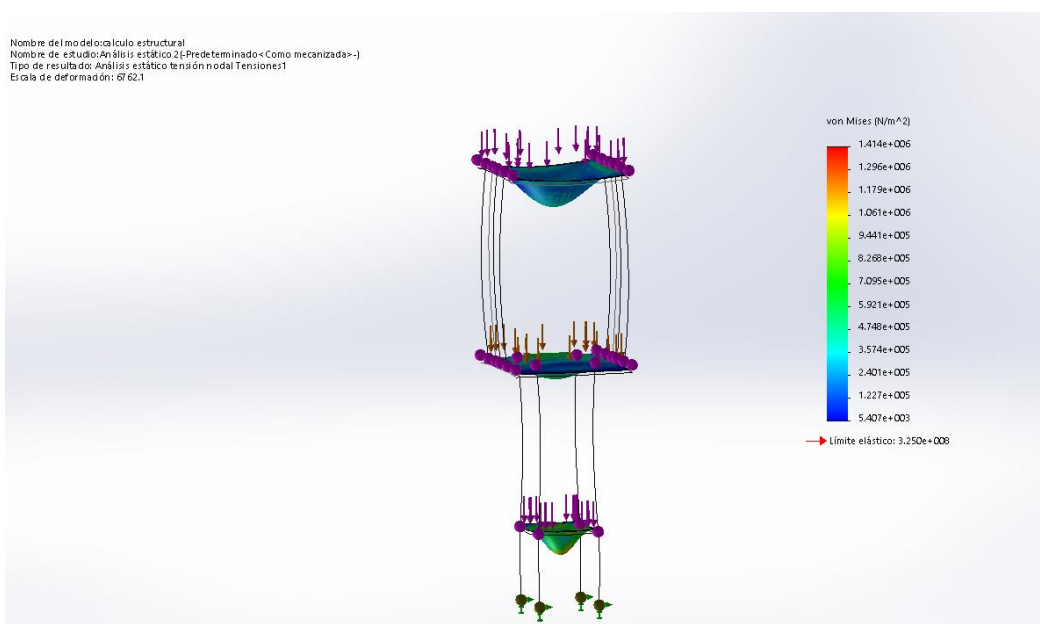
## Anexo 5. Simulaciones

### Estructura

Resultado de análisis de factor de seguridad igual a 2.29

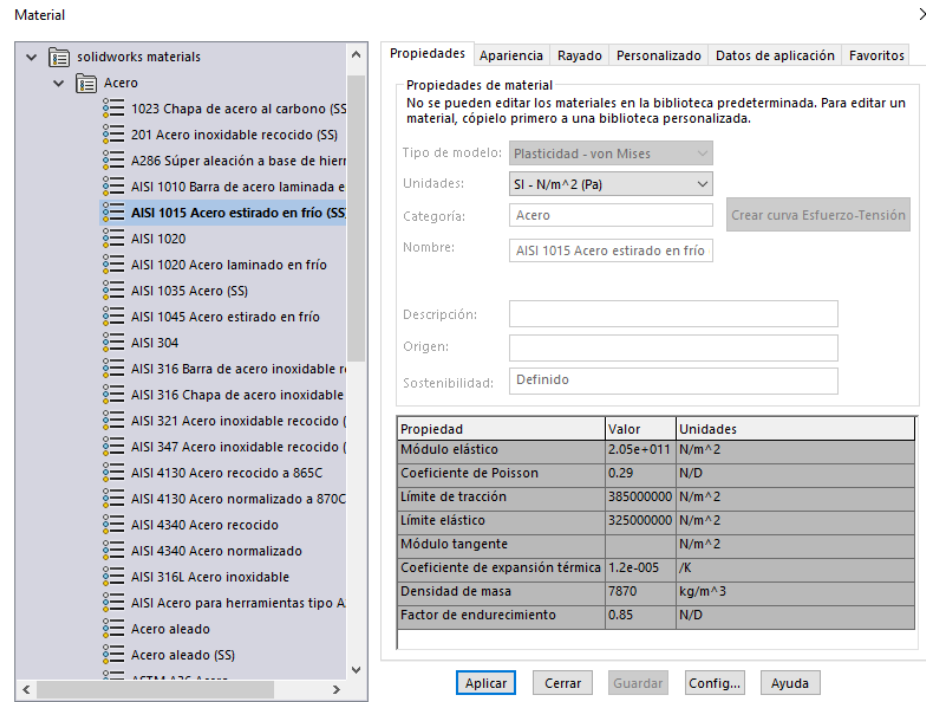


Resultados de análisis de tensiones



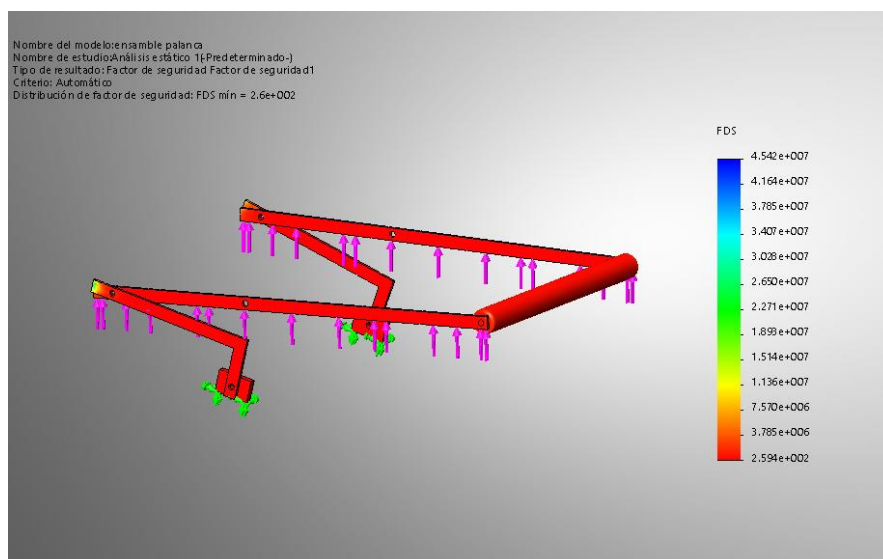
## Características del material

Se realizó el modelado y los análisis con un material que comparte las propiedades del acero Cold Rolled.



## Palanca

Resultado del factor de seguridad de la palanca igual a 2.59



## Anexo 6. Fichas técnicas.

### Sellante de poliuretano



#### DESCRIPCIÓN:

Sellador de poliuretano monocomponente de módulo medio-alto de curado con la humedad atmosférica.

#### APLICACIONES:

- Pegado elástico de elementos de construcción (tejas, zócalos, mamparas, etc.)
- Sellado de juntas entre tabiques.
- Sellado entre carpintería y obra y carpintería entre sí.
- Sellado de juntas en suelos y pavimentos.
- Sellado y uniones en la industria en general (ventilación, aire acondicionado, automóvil, containers, caravanas, etc.).
- Relleno de grietas y fisuras.
- Uniones sometidas a golpes o vibraciones.

No adecuado para la aplicación de doble acristalamiento, ni para materiales plásticos con alto contenido en plastificante.

#### PROPIEDADES:

- Monocomponente. No hace falta mezcla previa.
- No ataca los materiales alcalinos ni corroe los metales.
- Buena adherencia sobre una amplia variedad de sustratos.
- No merma.
- Amortigua las vibraciones.
- Capaz de soportar esfuerzos dinámicos.
- Buena capacidad de relleno de huecos.
- Puede pintarse.

#### INDICACIONES DE USO:

##### Preparación de superficies:

Las superficies deberán estar secas y limpias. En caso necesario, además de una limpieza mecánica, se recomienda efectuar una limpieza con disolvente no graso, p.e. acetona.

Cualquier material no conocido por el usuario bajo el punto de vista de adherencia, debe ser ensayado previamente o bien consultar a nuestro Departamento Técnico.

##### Técnica de trabajo:

Para cartuchos: perforar la boquilla abriéndola completamente y roscar la cánula. Retirar con un punzón la tapa trasera e introducir el conjunto en la pistola aplicadora. Para bolsas: colocar en la pistola de aplicación y recortar el clip de cierre. Cortar la cánula a bisel a la sección deseada.

## INFORMACIÓN TÉCNICA

QUILOSA. Dpto. Técnico. Edición 4. Octubre 2005

### SINTEX PU-50

#### Pegado elástico:

Aplicar cordones o puntos en la superficie preparada y presionar la pieza que desea pegarse.

*Resistencia unión encolada:* a título orientativo, deberá encolarse una superficie mínima de 16 cm<sup>2</sup> (por ejemplo, 4 puntos de 2 x 2 cm) por cada 5 Kg. de peso.

La temperatura de aplicación mínima es de 5°C. La temperatura del producto no debe ser inferior a 10°C. Para evitar dificultad de extrusión, cuando sea necesario, los cartuchos pueden ser calentados hasta una temperatura entre 15 y 20°C en un baño de agua.

#### Sellado de juntas:

##### Dimensionado de juntas:

El ancho de las mismas será, al menos, 4 veces mayor que el máximo movimiento esperado.

La profundidad de sellado se elegirá, en función del ancho de la junta, de acuerdo con la siguiente Tabla (valores en mm.):

ANCHO	5/6	7/9	10/12	12/15
PROFUNDIDAD	5	6	7	8

Para anchos de juntas superiores a 16 mm., la profundidad debe ser igual a la mitad de la anchura.

##### Formación de Juntas:

Es necesario el empleo de un material de relleno para evitar la adhesión de SINTEX PU-50 sobre el fondo de la junta que ejercería, sobre el sellador, tensiones innecesarias. Al mismo tiempo se consigue una regulación en la profundidad de sellado así como mayores rendimientos.

Se recomienda, como producto especialmente adecuado la Espuma de Polietileno de célula cerrada, extruida en cordones de sección regular como nuestro: POLITEN-CEL.

Para un mejor acabado, en el sellado de juntas, proteger los bordes de la junta con cinta adhesiva y alisar con una espátula, retirando la cinta antes de que el sellador forme piel.

##### Rendimiento:

La fórmula siguiente es una guía aproximada para calcular el rendimiento previsto para un envase de SINTEX PU-50:

$$L = \frac{V}{A \times P}$$

donde:

L= Longitud de sellado en metros obtenidos por cartucho.

V= Volumen del envase

A= Ancho de la junta en mm.

P= Profundidad de la junta en mm.

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:****SINTEX PU-50 no curado:**

Aspecto:	Pasta cremosa homogénea.	
Descuelgue (EN 27390):	mm.	< 3
Secado al tacto:	Minutos	Aprox. 45
Velocidad de curado: (23°C y 55% H.R.)	mm/día	Aprox. 3
Temperatura de Aplicación:	°C	+5 a +40

**SINTEX PU-50, curado  
(4 semanas a 23°C y 55% H.R.)**

Dureza (DIN 53505):	Shore A	50
Módulo elástico 100% (DIN 53504):	Mpa.	0,60-0,8
Resistencia a tracción (DIN 53504):	Mpa.	1,80-2,20
Elongación a rotura (DIN 53504):	%	>400
Resistencia a temperatura en servicio:	°C	-40 a + 90

**Resistencias Químicas:**

Agua, detergente en solución acuosa:	Buena
Grasas, aceites minerales, gasolinas:	Media
Disolventes orgánicos, ácidos minerales, bases	Media

**ALMACENAMIENTO:**

Guárdese en lugar fresco y seco.  
Duración: 12 meses a una temperatura entre +5° y +25°C

**PRESENTACIÓN:**

Cartuchos de aluminio de 310 cc. Cajas conteniendo 25 cartuchos.  
Bolsas 600 ml. Cajas conteniendo 12 bolsas.  
Bolsas 400 ml. Cajas conteniendo 20 bolsas.

**COLORES:**

Blanco  
Gris  
Negro  
Marrón

**LIMPIEZA:**

El producto fresco, se elimina con un disolvente orgánico. Una vez curado solo se elimina mecánicamente.

**SEGURIDAD E HIGIENE:**

Durante su curado SINTEX PU-50 contiene cantidades reducidas de disolvente inflamable. Durante la aplicación del material, procurar una buena ventilación evitándose la proximidad de objetos o aparatos que produzcan llama o brasa. Antes de consumir alimentos, fumar, etc., deberán lavarse las manos.

*Para más información solicite hoja de seguridad del producto.*

**NOTA:**

Las indicaciones y datos técnicos que aparecen en esta ficha están basados en nuestra experiencia y conocimientos actuales, declinando toda responsabilidad por consecuencias derivadas de una utilización inadecuada. Por ello, nuestra garantía se limita exclusivamente a la calidad del producto suministrado. Esta Ficha Técnica podrá ser actualizada sin previo aviso. (Solicite su actualización en caso necesario.)



## Remaches Pop

### FICHA TECNICA

**INDEX**  
A PERFECT FIXING



### CARACTERISTICAS

Elemento de fijación mecánico de funcionamiento por deformación para la unión de dos elementos.

Especialmente útil cuando los dos elementos a fijar tienen acceso únicamente por uno de sus lados.

Unión rápida y sencilla.

Para aplicación con remachadoras manual, de batería y neumática.

Versiones acero-aluminio e inoxidable.

### MATERIAL BASE



Carpintería de aluminio



Chapa



Chapa – perfil pesado









## FICHA TECNICA

**INDEX**  
 A PERFECT FIXING

## EJEMPLOS DE USO



Usos: unión de dos elementos de metal, carpintería metálica y chapa

1. GAMA				
ITEM	CODIGO	MEDIDAS	FOTO	COMPONENTE
1	RE-NO	De 3,2 x 6 mm a 6 x 25 mm		Remache normal
2	RE-BL / RE-NL	De 3,2 x 8 mm a 4,8 x 16 mm		Remache blanco/negro
3	RE-CA	De 4 x 8 mm a 4,8 x 18 mm		Remache cabeza ancha
4	RE-FL	De 4 x 12 mm a 4,8 x 50 mm		Remache flor
5	RE-IN	De 3,2 x 6,4 mm a 4,8 x 20 mm		Remache inoxidable
6	RM-MA	--		Remachadora manual alicate
7	RM-PA	--		Remachadora manual palanca
8	RM-EX	--		Remachadora manual extensible

## Lámina alfajor



**Ferrocortes**  
Soluciones con el acero

### LAMINA CALIDAD ESTRUCTURAL ALFAJOR A-569

Composición química (% en peso)

%C	%Mn	%P	%S	%Cu	%Ni	%V	%Cr	%Mo	%Nb	%Ti
0.20	0.60	0.030	0.035	0.020	0.020	0.080	0.050	0.060	0.080	0.008
0.15	Máx.	Máx.	Máx.	Máx.	Máx.	Máx.	Máx.	Máx.	Máx.	Máx.

Características: Láminas fabricadas mediante laminación en caliente, grabadas en alto relieve en forma de lágrimas para hacerlas antideslizantes.

Propiedades Mecánicas:

Límite de Fluencia: mín. 206 MPa

Resistencia a la Tracción: mín. 365 MPa

Alargamiento: Máx. 25%

Dimensiones y pesos de láminas comerciales

Calibre	ESPESOR		Peso m <sup>2</sup> (kg)	1 x 2 m kg	4 x 8 ft kg	1 x 3 m kg
	In	mm				
12		2.50	20.68	41.35	61.44	62.03
		2.66	22.00	44.00	65.38	65.99
11		3.00	24.81	49.62	73.73	74.43
	1/8"	3.17	26.22	52.43	77.91	78.65
10		4.00	33.08	66.16	98.31	99.24
		4.50	37.22	74.43	110.60	111.65
	3/16"	4.76	39.37	78.73	116.99	118.10
9		5.00	41.35	82.70	122.89	124.05
		5.50	45.49	90.97	135.18	136.46
		6.00	49.62	99.24	147.47	148.66
1/4"		6.35	52.51	105.03	156.06	157.54
		7.50	62.03	124.05	184.33	186.08
5/16"		7.94	65.66	131.32	195.15	196.99
		8.00	66.16	132.32	196.62	198.48
		9.00	74.43	148.86	221.20	223.29
3/8"		9.53	78.81	157.63	234.22	236.44
		10.00	82.7	165.40	245.78	248.10
		12.00	99.24	198.48	294.93	297.72
1/2"		12.70	105.03	210.06	312.14	315.09

Aplicaciones: Se emplea en la industria metalmeccánica, automotriz, en fabricación de escaleras, pisos de alta circulación, blindajes. Es útil en pisos industriales y de amplio tránsito, bodegas de alimentos y materiales, trailers y portacontenedores, rejillas estructurales, entre otros. Se suministra en bobinas, flejes u hojas, estas láminas se caracterizan por su acabado y características antideslizante.

NOTAS: Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

## Acero Cold Rolled



**ACERO COLD ROLLED**

### INFORMACIÓN TÉCNICA

El acero Cold Rolled (CR) es el resultado del proceso de laminación en frío de bobinas laminadas en caliente, donde se obtienen espesores más delgados. El CR tiene una mayor aptitud al conformado y un mejor aspecto superficial.

NORMAS	USOS
SAE J403 Grado 1006	<ul style="list-style-type: none"> <li>Industria automotriz</li> <li>Industria metalmecánica</li> <li>Industria agrícola</li> <li>Industria naval</li> <li>Industria de la construcción</li> <li>Estructuras metálicas</li> <li>Recipientes a Presión</li> <li>Fabricación de perfiles y tubos soldados</li> <li>Fabricación electrodomésticos</li> <li>Piezas automotrices</li> <li>Carpintería metálica</li> <li>Maquinaria industrial</li> <li>Troquelados o estampados</li> <li>Metalistería</li> </ul>

Propiedades Químicas							Aplicaciones
Calidad	Norma		C	Mn	P	S	
			Contenido % en volumen máximo				
Comercial	ASTM	A366	0.12	0.50	0.040	0.050	Calidad comercial para usos generales, proceso de corte, dobleces y soldaduras
	JIS	G3141 SPCC	0.12	0.50	0.040	0.045	Calidad comercial
	SAE	J403 1006	0.08	0.25-0.40	3	0.050	Comercial

Normas distribuidas por Metaza


Presentación	Dimensiones		Espesores (mm)
	Ancho (mm)	Largo (mm)	
Rollo	1,000 - 1,220	-	Desde 0,44 hasta 2,00
Láminas		2,000 - 2,400 - 2,440 Y corte a la medida	



Los valores expresados en las propiedades químicas y mecánicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

Compre **ACERO**  
a UNA FIRMA DE ACERO  
[www.metaza.com.co](http://www.metaza.com.co)

**METAZA**  
una firma de acero

	<b>FICHA TECNICA DE PRODUCTO ACERO COLD ROLLED</b>		FTE 001
			Edición No. 19
			Fecha: 2017-08-17
			Página: 1 DE 2
DESCRIPCIÓN: Tubería mecánica fabricada en acero laminado en frío, soldada por inducción de corriente de alta frecuencia, sin adición de material.			
<b>ESPECIFICACIONES DE LA MATERIA PRIMA</b>			
Nombre: ACERO COLD ROLLED (LAMINADO EN FRIO)			
Norma: JIS G 3141 SPCC-SD calidad comercial, norma ASTM A 1008 calidad comercial, SAE J 403 Grado 1006 o equivalente.			
Acabado: Dull Finish (mate)			
<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)</b>			
COMPONENTE	REQUISITO	COMPONENTE	REQUISITO
Carbono	0,150 máximo	Fósforo	0,100 máximo
Manganeso	0,600 máximo	Azufre	0,050 máximo
<b>PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS</b>			
<b>ELONGACIÓN:</b> Mínimo 30%		<b>ESFUERZO DE FLUENCIA:</b> Entre 140MPa–275MPa	
<b>DUREZA:</b> Máximo 60 HRB		<b>ESFUERZO DE TRACCIÓN:</b> Mínimo 270MPa	
<b>ESPECIFICACIONES DEL ESPESOR</b>			
CALIBRE	ESPECIFICACIÓN (mm)	TOLERANCIA (mm)	
14	1,90	± 0,12	
16	1,50	± 0,10	
18	1,20	± 0,08	
18L	1,10	± 0,08	
19	1,00	± 0,08	
20	0,90	± 0,07	
20L	0,85	± 0,07	
21 (L20L)	0,80	± 0,07	
22	0,75	± 0,06	
23 (L22)	0,70	± 0,06	
<b>ESPECIFICACIONES DE LA TUBERÍA</b>			
Según Norma NTC 2842 Equivalente a ASTM A513			
<b>TUBERÍA REDONDA</b>			
DIAMETRO (pulgadas)	CALIBRE	TOLERANCIA (pulgadas)	
1/2 - 5/8	23 - 14	± 0,0030	
> 5/8 - 1 1/8	23 - 14	± 0,0035	
> 1 1/8 - 2	22 - 14	± 0,0050	
> 2 - 2 1/2	20 - 14	± 0,0060	
> 2 1/2 - 3	20 - 14	± 0,0080	
<b>NOTA:</b> la tubería de 1/2" no se fabrica en calibre 14.			
REVISÓ		APROBÓ	
JEFE GESTIÓN DE CALIDAD		GERENTE GENERAL	

FTE 001/19		Página 2 DE 2	
<b>TUBERÍA CUADRADA / RECTANGULAR</b>			
REFERENCIA	MEDIDAS REALES	CALIBRE	TOLERANCIA
¾ pulgada cuadrado	0.75"x0.75" (19,05mmx19,05mm)	22-14	± 0,005 pulgadas (0,13 mm)
1 pulgada cuadrada	1" x 1" (25,4 mm x 25,4 mm)	22-14	± 0,005 pulgadas (0,13 mm)
1 ½ pulgada cuadrado	1.5" X 1.5" (38.1 mm x 38.1 mm)	20-14	± 0,006 pulgadas (0,15 mm)
1 pulg x ½ pulg	1" x 0.5" (25.4 mm x 12.7 mm)	20-14	± 0,005 pulgadas (0,13 mm)
12mm x 38mm	12mm x 38mm	22-14	± 0,005 pulgadas (0,13 mm)
1 pulgada x 2 pulgadas	1" x 2" (25.4 mm x 50.8 mm)	20-14	± 0,008 pulgadas (0,20 mm)
2 pulgadas cuadrado	2" x 2" (50.8 mm x 50.8 mm)	18-14	± 0,008 pulgadas (0,20 mm)
3 pulg x 1½ pulg	3" x 1.5" (76.2 mm x 38.1 mm)	20-14	± 0,010 pulgadas (0,25 mm)
20 mm x 40 mm	20 mm x 40 mm	20-14	± 0,008 pulgadas (0,20 mm)
25 mm x 40 mm	25 mm x 40 mm	20-14	± 0,008 pulgadas (0,20 mm)
30 mm x 30 mm	30 mm x 30 mm	20-14	± 0,006 pulgadas (0,15 mm)
30 mm x 40 mm	30 mm x 40 mm	20-14	± 0,008 pulgadas (0,20 mm)
30 mm x 60 mm	30 mm x 60 mm	20-14	± 0,010 pulgadas (0,25 mm)
45 mm x 45 mm	45 mm x 45 mm	20-14	± 0,008 pulgadas (0,20 mm)
40 mm x 60 mm	40 mm x 60 mm	20-14	± 0,010 pulgadas (0,25 mm)
48 mm x 52 mm	48 mm x 52 mm	20-14	± 0,010 pulgadas (0,25 mm)
70 mm x 50 mm	70 mm x 50 mm	20-14	± 0,010 pulgadas (0,25 mm)
80 mm x 40 mm	80 mm x 40 mm	20-14	± 0,020 pulgadas (0,50 mm)
<b>TUBERÍA OTRAS FORMAS</b>			
REFERENCIA	MEDIDAS REALES	CALIBRE	TOLERANCIA
5/8 Elíptico	11,5 mm x 19,02 mm	22-16	± 0,2 mm
¾ Elíptico	12,0 mm x 24,0 mm	22-14	± 0,2 mm
1 Elíptico	16,0 mm x 32,0 mm	20-14	± 0,2 mm
1 ¼ Elíptico	20,0 mm x 40,0 mm	20-14	± 0,2 mm
1 ½ Elíptico	24,5 mm x 48,5 mm	20-14	± 0,5 mm
1,90 Elíptico	60,3 mm x 31,6 mm	20-14	± 0,5 mm
30 x 15 Elíptico	29,8 mm x 14,6 mm	20-14	± 0,2 mm
2 ½ Elíptico	40,5 mm x 70,8 mm	14-20	± 0,5 mm
5/8 Oval	19,5 mm x 9,07 mm	22-16	± 0,2 mm
30 x 15 Oval	30 mm x 15 mm	20-14	± 0,2 mm
<b>Nota:</b> Las tolerancias en la Tubería Elíptica y Oval se especifican de acuerdo con las necesidades del proceso productivo en EXCO COLOMBIANA S.A.			
REBABA INTERNA	Rebaba interna sin pulir, tal como sale del proceso de soldado.		
<b>ESPECIFICACIONES DE LONGITUD</b>			
Tubería a 6 m y múltiplos: + 20 mm / -0 mm		Partes: ± 1 mm	
<b>ENSAYOS REALIZADOS A LA TUBERÍA</b>			
ENSAYO	ESPECIFICACIÓN	DOCUMENTO SOPORTE	
Abocardado	Resistencia soldadura: mínimo 20%	IT 020 Prueba de abocardado (equivalente a la NTC 103)	
Aplastamiento	No se deben presentar fisuras en el cordón de soldadura.	IT 021 Prueba de aplastamiento (equivalente a la NTC 042)	
Acabado superficial	El tubo no debe presentar tallones, rayas o golpes que deformen la lámina. No debe tener manchas o marcas de oxidación.		
Eddy Current	Inspección 100% a la soldadura del tubo.		