

DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO DE COMPRESIÓN PARA LA  
REALIZACIÓN DE LÁMINAS POLIMÉRICAS, A PARTIR DE PET RECICLADO

ANDRÉS FERNANDO ORDÓÑEZ MARTÍNEZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
FLORIDABLANCA

2021

DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO DE COMPRESIÓN PARA LA  
REALIZACIÓN DE LÁMINAS POLIMÉRICAS, A PARTIR DE PET RECICLADO

ANDRÉS FERNANDO ORDÓÑEZ MARTÍNEZ

PROYECTO DE GRADO

Msc. SERGIO GÓMEZ

Director del proyecto

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

FLORIDABLANCA

2021

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado

---

Jurado

Floridablanca, 17 de agosto de 2021

## CONTENIDO

	pág.
1. Planteamiento del problema .....	10
2. Antecedentes .....	12
3. Justificación .....	16
4. Objetivos .....	17
4.1 Objetivo General .....	17
4.2 Objetivos Específicos .....	17
5. Marco Teórico .....	18
5.1 Tipos de polímeros.....	18
5.2 Polímeros .....	18
5.3 Configuración molecular.....	21
5.3.1 Estructura interna de los polímeros.....	22
5.4 Polímeros termoplásticos.....	23
5.4.1 Termoplásticos.....	23
5.4.2 Propiedades de los polímeros termoplásticos.....	24
5.4.3 Factores que propician la cristalinidad de los polímeros termoplásticos.....	26
5.5 Tereftalato de polietileno (PET).....	26
5.6 Tipos de reciclado PET.....	28
5.7 Moldeado por compresión .....	29
5.8 Tipos de moldeado por compresión.....	30
5.9 Características de los materiales en el proceso de moldeo por compresión.....	30
6. Alcance .....	32
7. Metodología .....	33
8. Reconocimiento de los parámetros claves para el diseño de una máquina de moldeo de compresión para la realización de láminas poliméricas, a partir de pet reciclado.....	34
8.1 Árbol de objetivos.....	34
8.2 Diagrama de funciones.....	38
8.3 Lista de limitaciones y requerimientos.....	40

9. Diseño conceptual de la máquina de moldeo por compresión para la realización de láminas poliméricas, a partir de PET reciclado.....	41
9.1 Diagrama morfológico con posibles soluciones para el diseño de la máquina de moldeo por compresión.....	49
9.2 Posibles diseños de máquinas de moldeo por compresión para la elaboración de láminas de PET reciclado.....	52
9.3 Análisis y evaluación según factores de diseño.....	64
10. Cálculos y diseño final de la máquina de moldeo por compresión para elaboración de láminas poliméricas a partir de PET reciclado.....	68
10.1 Cálculos del sistema térmico.....	68
10.2 Cálculos sistema hidráulico.....	69
11. Planos a detalle de la solución seleccionada.....	83
12. Proceso de fabricación detallado para el ensamble de la máquina de moldeo de compresión para la elaboración de láminas poliméricas, a partir de PET reciclado.....	85
12.1 Descripción detallada de los procedimientos paso a paso para el ensamble de la máquina de moldeo por compresión para la elaboración de láminas poliméricas, a partir de PET reciclado.....	88
12.2 Operaciones detalladas.....	89
13. Conclusiones.....	91
14.Recomendaciones.....	93
15. Referencias bibliográficas.....	94

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1. Látex extraído de un árbol de caucho (hevea brasiliensis) en malasia .....	19
Ilustración 2. Estructura molecular de los polímeros termoplásticos.....	25
Ilustración 3. Gráfico de volumen específico en función de la temperatura.....	25
Ilustración 4. Representación de la reacción general del PET .....	27
Ilustración 5. Proceso de reciclaje del PET .....	29
Ilustración 6. Metodología para el cumplimiento de objetivos .....	32
Ilustración 7. Árbol de objetivos .....	36
Ilustración 8. Diagrama de funciones generales .....	38
Ilustración 9. Diagrama de funciones detallado .....	39
Ilustración 10. Parámetros de diseño de compactadora .....	43
Ilustración 11. Parámetros de diseño de sopladora de plástico.....	43
Ilustración 12. Parámetros de diseño de máquina extrusora de plásticos.....	44
Ilustración 13. Opción de diseño de solución 1 máquina de moldeo por compresión .....	55
Ilustración 14. Opción de diseño de solución 2 máquina de moldeo por compresión .....	59
Ilustración 15. Opción de diseño de solución 3 máquina de moldeo por compresión .....	64
Ilustración 16. Dimensiones de diferentes tipos de diámetros y montajes para un cilindro hidráulico Heavy Duty Mill serie MH.....	72
Ilustración 17. Montaje del sistema de control de la máquina de moldeo por compresión para la elaboración de láminas poliméricas, a partir de PET reciclado .....	79
Ilustración 18. Circuito eléctrico del sistema de control de la máquina de moldeo por compresión para la elaboración de láminas poliméricas, a partir de PET reciclado .....	80
Ilustración 19 Circuito hidráulico.....	81

Ilustración 20. Simulación de avance del movimiento del cilindro hidráulico.....	82
Ilustración 21. Simulación del movimiento de retroceso del cilindro hidráulico .....	82
Ilustración 22. Sección detalla de los planos con sus respectivos elementos de la solución final de la máquina de moldeo por compresión para la elaboración de láminas poliméricas, a partir de PET reciclado .....	85
Ilustración 23. Diagrama de flujo de tareas para el ensamble de la máquina de moldeo por compresión para la elaboración de láminas poliméricas, a partir de PET reciclado .....	87

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Parámetros de solubilidad .....	20
Tabla 2. Polímeros de adición .....	21
Tabla 3. Polímeros de condensación .....	22
Tabla 4. Lista de limitaciones y requerimientos .....	40
Tabla 5. Máquinas de moldeo por compresión .....	46
Tabla 6. Temperaturas del polietileno tereftalato (PET) .....	47
Tabla 7. Propiedades y características del PET .....	47
Tabla 8. Posibles soluciones de las funciones requeridas por la máquina .....	50
Tabla 9. Diagrama de soluciones para el diseño 1.....	53
Tabla 10. Diagrama de soluciones para el diseño 2.....	57
Tabla 11. Diagrama de soluciones para el diseño 3.....	61
Tabla 12. Evaluación de variables de los factores de diseño.....	65
Tabla 13. Análisis y evaluación de los diseños de solución a partir de los factores de diseño.....	66
Tabla 14. Materiales para el ensamble de la máquina.....	86

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Planos a detalle de la bomba hidráulica y el cilindro vástago.....	98
Anexo 2. Planos a detalle de la estructura y la placa fija.....	99
Anexo 3. Planos a detalle de la placa laterales de la estructura y de la placa móvil.....	100
Anexo 4. Planos a detalle de las placas piso y piso prensa.....	101
Anexo 5. Planos a detalle de las placas techo prensa y techo 1.....	102
Anexo 6. Planos a detalle de la puerta control y la puerta prensa móvil.....	103
Anexo 7. Planos a detalle de la puerta prensa, la refrigeración y la resistencia...	104
Anexo 8. Planos a detalle del tanque de aceite y la tolva.....	105
Anexo 9. Planos a detalle del tubo conector motor-vástago y el tubo conector motor-aceite.....	106

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO DE COMPRESIÓN PARA LA REALIZACIÓN DE LÁMINAS POLIMÉRICAS, A PARTIR DE PET RECICLADO.

**AUTOR(ES):** ANDRÉS FERNANDO ORDOÑEZ MARTÍNEZ

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR(A):** SERGIO ANDRÉS GÓMEZ SUÁREZ

### RESUMEN

DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO DE COMPRESIÓN POR MEDIO DE SOFTWARE CAD Y CÁLCULOS TEÓRICOS PARA LA REALIZACIÓN DE LÁMINAS POLIMÉRICAS, A PARTIR DE PET RECICLADO. EL OBJETIVO FINAL ES AUMENTAR LA CULTURA DEL RECICLADO DE BOTELLAS PET (POLIETILENO DE TEREFTALATO) EN LA SOCIEDAD UPB PARA ASÍ CONTRIBUIR CON EL MEDIO AMBIENTE Y DARLES UN USO PRODUCTIVO. EL DISEÑO DE LA MÁQUINA SERÁ A PEQUEÑA ESCALA Y SE PONDRÁ A SERVICIO DE LA COMUNIDAD UPB SECCIONAL BUCARAMANGA, PARA ASÍ EVIDENCIAR QUE EFECTOS TRAE EL RECICLAJE DE PET EN LA REGIÓN, Y AUMENTAR LA CANTIDAD DE MATERIALES APROVECHABLES COMO EL PET Y ASÍ EVITAR QUE ESTOS SIGAN CONTAMINANDO LOS ECOSISTEMAS. AL FINAL DEL PROYECTO, ADEMÁS DE ENTREGAR EL DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO DE COMPRESIÓN POR MEDIO DE SOFTWARE CAD Y CÁLCULOS TEÓRICOS PARA LA REALIZACIÓN DE LÁMINAS POLIMÉRICAS, SE ENTREGARÁN LOS PLANOS DE TAL MANERA QUE PUEDA SER REPRODUCIDA EN LA UNIVERSIDAD A UNA ESCALA MAYOR EN FUTUROS PROYECTOS QUE INVOLUCREN RECICLADO DE MATERIALES, COMO EL DEL ESTUDIO DE LA REUTILIZACIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS COMO EL PET DÁNDOLES UN USO Y FOMENTANDO UN IMPACTO SOCIO-AMBIENTAL Y CULTURAL EN LA REGIÓN.

### PALABRAS CLAVE:

POLIETILENO DE TEREFTALATO (PET), MÁQUINAS DE MOLDEO POR COMPRESIÓN, PLÁSTICOS.

*Sergio A Gomez*  
Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** DESIGN OF A COMPRESSION MOLDING MACHINE FOR THE PRODUCTION OF POLYMERIC SHEETS, FROM RECYCLED PET

**AUTHOR(S):** ANDRÉS FERNANDO ORDOÑEZ MARTÍNEZ

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR:** SERGIO ANDRÉS GÓMEZ SUÁREZ

### ABSTRACT

DESIGN OF A COMPRESSION MOLDING MACHINE BY MEANS OF CAD SOFTWARE AND THEORETICAL CALCULATIONS FOR THE REALIZATION OF POLYMERIC SHEETS, FROM RECYCLED PET. THE FINAL OBJECTIVE IS TO INCREASE THE CULTURE OF RECYCLING PET BOTTLES (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) IN THE UPB SOCIETY IN ORDER TO CONTRIBUTE TO THE ENVIRONMENT AND GIVE THEM A PRODUCTIVE USE. THE DESIGN OF THE MACHINE WILL BE ON A SMALL SCALE AND WILL BE MADE AT THE SERVICE OF THE UPB SECCIONAL BUCARAMANGA COMMUNITY, IN ORDER TO EVIDENCE THAT EFFECTS BRING THE RECYCLING OF PET IN THE REGION, AND INCREASE THE AMOUNT OF USED MATERIALS THAT ARE AVOIDABLE, SUCH AS AVOIDABLE PET. KEEP CONTAMINATING ECOSYSTEMS. AT THE END OF THE PROJECT, IN ADDITION TO DELIVERING THE DESIGN OF A COMPRESSION MOLDING MACHINE BY MEANS OF CAD SOFTWARE AND THEORETICAL CALCULATIONS FOR THE REALIZATION OF POLYMERIC SHEETS, THE DRAWINGS WILL BE DELIVERED IN SUCH A WAY THAT CAN BE REPRODUCED IN A MAJOR WAY IN FUTURE PROJECTS INVOLVING MATERIALS RECYCLING, SUCH AS THE STUDY OF THE REUSE OF PLASTIC MATERIALS SUCH AS PET, GIVING THEM A USE AND PROMOTING A SOCIOENVIRONMENTAL AND CULTURAL IMPACT IN THE REGION.

### KEYWORDS:

POLYETHYLENE TEREPHTHALATE, COMPRESSION MOLDING MACHINES, PLASTICS

*Sergio A Gomez*  
V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una problemática ambiental que aumenta drásticamente con el paso del tiempo en Colombia es el desecho masivo de materiales plásticos, los cuales no son biodegradables como, por ejemplo, las botellas PET en las que se estima que semanalmente ciudades como Bogotá, Cali, Barranquilla producen 88.100 toneladas desechos y residuos plásticos de los cuales solo el 70% es recogido, pero de ese porcentaje no todo es procesado[2]<sup>1</sup>.

El reciclaje y la reutilización de botellas PET es de suma importancia debido a que es un producto altamente utilizado por el ser humano y generalmente es desechado, sin tener en cuenta su reutilización en diferentes procesos industriales termoplásticos contribuyendo de esta forma con el cuidado del medio ambiente y disminuir la contaminación ambiental la cual es un factor causante de tantos cambios climáticos y destrucción de la capa de ozono.

El mal manejo del reciclaje se presenta desde los hogares, donde no se realizan las labores de separación de sus respectivos desechos muchos de estos residuos terminan en los ríos, océanos y medio ambiente afectándolos contundentemente; no solamente el medio ambiente es el afectado sino también las personas e industrias que viven del reciclaje. En Colombia 60.000 familias generan beneficios del plástico reciclado.

Clasificar los desechos favorece a todos los seres humanos, debido a que se pueden reutilizar la mayoría de materiales contaminantes ayudando a mantener un medioambiente sano y por tal motivo se aumentaría la generación de proyectos industriales y el bienestar de la población con nuevas ofertas de trabajo en la parte industrial del país, generándoles así ingresos para su vivir, provocando un impacto socio-ambiental.

---

<sup>1</sup> ÁLVAREZ SILVERA, Richard, *et al.* Análisis de la contaminación generada por las botellas de plástico en barranquilla y creación de botellas de papel como producto innovador. En: Revista cultural de la Universidad Libre de Barranquilla. 2012. Vol. 10, no. 10, p. 71-76. ISSN 1909-2881.

La Universidad Pontificia Bolivariana promueve el hábito de reciclar, diariamente se recolectan gran cantidad de estas botellas PET dentro de toda la institución, a las cuales se les puede dar un buen uso reutilizándolas, pues el reciclaje PET genera menos emisiones de gases de efecto invernadero[6]<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> GALLO, Daniela. Así se transforman las botellas PET para su reutilización [en línea]. En: El Tiempo. Octubre, 2019 [citado 10 de Agosto, 2020]. Disponible en internet: <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/como-es-el-proceso-de-reciclaje-y-reutilizacion-de-las-botellas-plasticas-416636>.

## 2. ANTECEDENTES

Se tiene conocimiento que desde el año 2000 a.C los egipcios utilizaban resinas naturales para embalsamar a sus muertos e implementaron una técnica que al calentar la resina se podía hacer moldes de figuras y recipientes[7]<sup>3</sup>.

Leo Hendrik Baekeland fue un químico estadounidense, de origen belga, inventor del primer plástico barato no inflamable dándole comienzo a la era del plástico[12]<sup>4</sup>.

El polímero que contiene las botellas PET fue patentado por los científicos británicos, Whinfield y Dickson en 1941 para la fabricación de fibras. Las botellas PET son conocidas normalmente como tereftalato de polietileno o PET, y se dieron a conocer a nivel mundial gracias a las bebidas carbonatadas[16]<sup>5</sup>.

Una de las técnicas más comunes para la reutilización del terftalato de polietileno o PET es el moldeado por compresión similar a la técnica utilizada por los egipcios en el año 2000 a.C con el cual daban forma a sus recipientes, estos materiales van a generar reacciones químicas por acción de los agentes endurecedores, catalizadores, calor o luz, convirtiéndose en plásticos termófixos con carácter insoluble e infusible[1]<sup>6</sup>.

Una de las alarmas mundiales es el excesivo aumento de los desechos producidos por los seres humanos y el mal manejo de ellos, la acumulación, el enterramiento son las formas tradicionales de las personas de deshacerse de sus desechos, la alarma es de exponencial crecimiento causando un colapso en los vertederos

---

<sup>3</sup> GARCÍA, Sergio. Referencias históricas y revolución de los plásticos. En: Revista Iberoamericana de Polímeros. Enero, 2009. Vol. 10, no. 1, p. 71-80. ISSN 0121-6651.

<sup>4</sup> KETTERING, Charles. Biographical memoir of Leo Hendrik Baekeland. En: National Academy of Sciences of the United States of America. Biographical memoirs, 1946. Vol. XXIV, no. VIII, p. 279-302.

<sup>5</sup> MARIANO. Proceso de reciclaje del PET [blog]. Tecnología de los plásticos. Blog dedicado a los materiales plásticos, características, usos, fabricación, procesos de transformación y reciclado. 30 de mayo de 2011. [Consultado: 15 de Octubre de 2020]. Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/proceso-de-reciclaje-del-pet.html>

<sup>6</sup> AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN. Proyecto de formación de Recursos Humanos en tecnología de transformación de plástico en México. Informe de terminación de proyecto [en línea]. México: JICA. 2014, p. 1-219. Ap. 1. [Consultado: 13 de Octubre de 2020]. Disponible en: [https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12181988\\_01.pdf](https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12181988_01.pdf)

produciendo así daños significativos en el medio ambiente y en la salud pública donde así empresas encargadas en datos estadísticos como la Eurostat pronostica que para el 2025 más del 8 % de las emisiones de gases de efecto invernaderos se producirán en los rellenos sanitarios, y para el 2050 un incremento del 70%<sup>[14]</sup><sup>7</sup>. Otras de las formas son la lombricultura (proceso biotecnológico que utiliza lombriz doméstica como son la lombriz roja californiana y la roja africana), como forma de eliminación de desechos orgánicos a fin de obtener humus, carne, harina de lombriz para alimento para animales<sup>[17]</sup><sup>8</sup>. Debido a estas alarmas mundiales, la mayoría de países a nivel mundial han tomados medidas de reciclaje dando inicio a otro sector industrial el reciclado produciendo aumento laboral y calidad de vida. Mérida, una ciudad de México, frecuentó una problemática social debido al aumento de enfermedades respiratorias y neurológicas, una de ellas fue el dengue por causa de la sobrecarga de los vertederos de basura, por ello sus proyectos se basaron en dar dinero a cambio de reciclaje, aumentando así la cultura del reciclaje y obteniendo claramente una disminución de su problemática actual y otros sectores<sup>[17]</sup><sup>9</sup>.

Para la manipulación de los plásticos el ser humano opta por los procesos termo-físicos, uno de estos procesos lo desarrollan las máquinas extrusoras de plástico las cuales se basan en la solución exacta de la ecuación de la conductividad en régimen transitorio donde las propiedades termo físicas de los plásticos son indispensables para el desarrollo del proceso de la máquina las cuales contribuyen al buen o mal desempeño energético y productivo. El proceso de una extrusora es sencillo: consta en fundir resina plástica por acción del calor y fricción finalmente pasando por enfriamiento, el cual juega un papel importante para evitar malformaciones en los productos<sup>[11]</sup><sup>10</sup>. Las máquinas de moldeo por compresión utilizan el método similar de las máquinas extrusoras, la diferencia es que la

---

<sup>7</sup> LLUMÁ, Diego. La riqueza de la basura [en línea]. En: Latin Trade (Spanish). En. -mzo. 2019. Vol. 27, no.1, p. 10-13. [Consultado: 12 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://web-a-ebsohost-com.consultaremota.upb.edu.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=795e6469-00fd-4626-8285-cc9261d9f5c7%40sdc-v-sessmgr03>

<sup>8</sup> MARTÍNEZ, Exxxx; GARCÍA FUENTES, Oxxxx y GARCÍA YANES, Axxxx. Uso de la lombricultura. Aplicación en el tratamiento de lodos de plantas depuradoras. En: Transporte, Desarrollo y Medio Ambiente. Abr-ago. 2005. Vol. 25, no. 1, p. 17-21. [Consultado: 15 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://web-a-ebsohost-com.consultaremota.upb.edu.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=9&sid=0cfdacaf-120c-4bb3-9373-b548f17d88fd%40sessionmgr4008>

<sup>9</sup> *Ibid.*

<sup>10</sup> JIMÉNEZ RAMOS, Antonio, *et al.* 3 Diagrams, 5 Charts, 6 Graphs [en línea]. En: Revista de Ingeniería Energética. En.-abr. 2019. Vol. 40, no. 1, p. 73-80. [Consultado: 20 de Agosto de 2020]. Disponible en: <https://web-b-ebsohost-com.consultaremota.upb.edu.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=2b762c05-8b51-4e20-95b1-7fb626761e3b%40pdc-v-sessmgr06>

máquina de moldeo por compresión utiliza la presión como papel principal para su proceso, su funcionamiento constituye en fundir resina en un molde buscando una mezcla homogénea y luego por medio de una prensa hidráulica se ejerce altas presiones; obviamente la temperatura es siempre indispensable en todos estos procesos para la manipulación de los plásticos[3]<sup>11</sup>.

En 1847, Alfred Critchlow fundó la corporación Florence MA primera empresa que se encargaba del moldeo plástico y fabricación de empaques revolucionando varios sectores de la industria donde utilizaron las primeras máquinas de moldeo por compresión[25]<sup>12</sup>.

En 2014, los ingenieros A. B. Nair y R. Joseph de la universidad de Cochin, de ciencia y tecnológica de India, contribuyen a la investigación del caucho en publicaciones del capítulo 9 de la parte 2, en aplicaciones del caucho para la industria, para el libro “Química, fabricación, y aplicaciones del caucho natural” publicado en dicho año, en el que desde la página 249 hasta la 283 muestra un método bien establecido llamado moldeo por compresión para la fabricación de piezas, basándose en el calentamiento, la presión y el tiempo que utilizan sistemas hidráulicos para el suministro de presión de aceite, resistencias para el calentamiento los cuales buscan la vulcanización del caucho para así dar forma al molde y extraer la pieza. Su investigación se basa en el mejoramiento de piezas industriales a base de caucho natural ofreciendo un tiempo de mayor durabilidad y menos costo que otros materiales utilizados en el diario vivir del ser humano como son receptáculos de pared eléctrica, manijas de cepillo y espejo, cajas de medidores, bandejas, disyuntores, perillas de utensilios de cocina, cuchillas de ventilador de secadora de ropa, utensilios electrónicos y de cocina, ruedas de ajuste de fresadoras, piezas automotrices, botones de equipos de pruebas de agua, gabinetes de televisión, vajilla, carcasas de electrodomésticos, cajas de radio, carcasa de terminal de alimentación principal de aeronaves, campanas, asas de olla, spoilers, enchufes eléctricos y enchufes, guardabarros, platos de vajilla y cucharas[19]<sup>13</sup>.

---

<sup>11</sup> BELTRÁN, Mxxx, y MARCILLA, Axxx. Tema 6. Moldeado por compresión [en línea]. En: Tecnología de Polímeros. P. 169-182. [Consultado: 13 de Noviembre de 2020]. Disponible en: [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16981/1/TEMA6\\_compresion.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16981/1/TEMA6_compresion.pdf)

<sup>12</sup> SHEKHAR THAKUR, Chandra. Compression molding [diapositivas]. Wordpress. Indian Institute Of Technology Delhi, 2008, 15 diapositivas. [Consultado 15 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://gctbooks.files.wordpress.com/2015/05/compression-moulding.pdf>

<sup>13</sup> NAIR, Ajalesh Balachandran, y JOSEPH, Rani. Eco-friendly bio-composites using natural rubber (NR) matrices and natural fiber reinforcements. En: Chemistry, Manufacture and Applications of Natural Rubber [en línea]. Woodhead Publishing, 2014. [Consultado: 15 de

En el año 2019, Steven M. Kurtz Ph. D publican la segunda edición del manual PEEK biomateriales para la síntesis y fabricación de implantes quirúrgicos mediante el proceso de moldeado por compresión basado en una prensa hidráulica, calentamiento de placas y sistema de enfriamiento utilizando metales para la fundición[13]<sup>14</sup>.

---

Noviembre de 2020]. Capítulo 9, p. 249-283. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857096838500094#!>

<sup>14</sup> KURTZ, Steven. Synthesis and Processing of PEEK for Surgical Implants. En: PEEK Biomaterials Handbook [en línea]. William Andrew, 2019.[Consultado: 13 de Noviembre de 2020]. Capítulo 2, p. 9-22. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781437744637100028#!>

### 3. JUSTIFICACIÓN

El incremento acelerado de productos plásticos como las BOTELLAS PET para satisfacer las demandas de consumo del mercado actual está generando una problemática ambiental severa debido a sus componentes no biodegradables. Hay una gran acumulación de desechos los cuales no se les están generando el uso ideal y así afectan el medio ambiente.

Existe una alta posibilidad de reúso directo luego de su desecho debido que no son necesarios procesos complejos ni que impliquen consumos de energía significativos; además, se tiene el beneficio ambiental del reciclaje de desechos sólidos[3]<sup>15</sup>.

Es por esta razón que en el presente proyecto se diseñó una máquina de moldeo de compresión por medio de software CAD y cálculos teóricos para la realización de láminas poliméricas a partir de PET reciclado.

Este proyecto de grado contribuye con el fortalecimiento de conceptos que promuevan el desarrollo de proyectos de los estudiantes de la UPB seccional Bucaramanga y de todo el país para así generar un impacto socio-ambiental. También para dar una mayor perspectiva de la necesidad de reciclar y de aprovechar los residuos sólidos para así cada día contribuir protegiendo con el ambiente y mejorar la calidad de vida de la población.

---

<sup>15</sup> BELTRÁN y MARCILLA, Op. Cit.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar una máquina de moldeo de compresión por medio de software CAD y cálculos teóricos apoyándose en la metodología de Cross para la realización de láminas poliméricas, a partir de PET reciclado

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir los parámetros de diseño de la máquina con base en estudios relacionados con el reciclaje de materiales termoplásticos y de máquinas de moldeo construidas previamente.

**Indicador:** Mínimo tres parámetros de diseño definidos y priorizados.

**Resultado:** Obtención de las propiedades mecánicas, características y aplicaciones del PET Definición de parámetros de diseño de la máquina como tiempo, temperatura y presión de trabajo.

- Realizar el diseño conceptual de la máquina de moldeo por compresión determinando diferentes soluciones eligiendo la más adecuada según parámetros definidos.

**Indicador:** mínimo tres propuestas de solución.

**Resultado:** Bosquejos y plano general de diferentes soluciones para realizar la máquina, elección de la solución más adecuada según parámetros.

- Realizar el diseño detallado de los diferentes componentes mecánicos, térmicos e hidráulicos en la máquina moldeo por compresión, a través cálculos teóricos y software de diseño e ingeniería.

**Indicador:** Planos con dimensiones, materiales y accesorios al detalle para la máquina de moldeado por compresión mediante software CAD y cálculos teóricos para la elaboración de láminas poliméricas, etapas de fabricación.

**Resultado:** Planos de detalle, materiales, simulación de la máquina de moldeado por compresión mediante software CAD y cálculos teóricos para la elaboración de láminas poliméricas y determinación de las etapas de fabricación de los componentes mecánicos.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1 Tipos de polímeros

Los polímeros se clasifican en dos tipos: naturales y sintéticos.

- Polímeros naturales: son extracciones provenientes del mundo animal y vegetal tales como: proteínas, caucho natural, ácidos nucleicos, la celulosa, el almidón.
- Polímeros sintéticos: son aquellos provenientes de reacciones químicas de polimerización controladas y hechas por el ser humano tales como:
  - Plásticos: Polietileno, PET (tereftalato de polietileno), PVC, PP(Polipropileno).
  - Elastómeros: caucho natural, Poliuretanos, Polibutadieno, Neopreno, silicona.
  - Termorrígidos: Baquelita, Nylon, PE, PS[5]<sup>16</sup>.

### 5.2 Polímeros

Son macromoléculas conformadas por cadenas de moléculas más simples. Los polímeros orgánicos son fundamentales para los seres vivos, otorgándoles materiales básicos vitales para sus procesos de vida. Los tallos y demás partes solidas de todas las plantas o del mundo vegetal en general están formadas a base de polímeros. Estos incluyen varias resinas, lignina y celulosa. La celulosa es un polisacárido compuesto de moléculas de azúcar, sirve también como fuente de alimentación para el ser humano, suministrándole energía. Un ejemplo claro son los almidones; la lignina son redes tridimensionales de polímeros, un ejemplo de resinas son los isoprenos o resinas de madera una de ellas y el más conocido por el ser humano es el caucho[26]<sup>17</sup>.

---

<sup>16</sup> FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES. Polímeros [diapositivas]. Buenos Aires: UBA, 2015. 62 diapositivas. [Consultado: 17 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <http://materias.fi.uba.ar/7201/POLIMEROS-I.pdf>

<sup>17</sup> THE EDITORS OF THE ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. Polymers [sitio web]. [Consultado: 22 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.britannica.com/science/polymer>.

**Ilustración 1. Látex extraído de un árbol de caucho (*hevea brasiliensis*) en Malasia.**



**Fuente:** Image: Stuart Taylor/Fotolia[26]<sup>18</sup>.

Los polímeros naturales importantes contienen proteínas, los llamados polímeros de aminoácidos y ácidos nucleicos son polímeros compuestos de moléculas de nitrógeno, azúcares y ácido fosfórico. No solamente en la naturaleza se encuentran polímeros orgánicos naturales si no también se pueden hallar polímeros inorgánicos como lo son el diamante y el grafito compuestos de carbono[26]<sup>19</sup>.

Las propiedades de los polímeros se clasifican en químicas y físicas, las químicas son aquellas que involucran reacciones químicas y por tanto cambios en los enlaces primarios de las cadenas las cuales aseguran la operabilidad, funcionalidad, y durabilidad del material. Las propiedades físicas se basan en mecánicas, térmicas, eléctricas y ópticas. La resistencia de los polímeros está relacionada con la

---

<sup>18</sup> *Ibíd.*

<sup>19</sup> *Ibíd.*

solubilidad la cual por medio de disolventes generan cambios físicos a los polímeros para adecuarlos en ambientes requeridos para su trabajo. en la siguiente tabla se observa las propiedades de solubilidad algunos polímeros[9]<sup>20</sup>.

**Tabla 1. Parámetros de solubilidad.**

DISOLVENTE	PARÁMETRO DE SOLUBILIDAD: $(\frac{\text{cal}}{\text{cm}^3})^{1/2}$	DE $\delta/$
Difluordiclorometano	5.1	
Decano	6.6	
Ciclohexano	8.2	
Tetracloruro de carbono	8.6	
Tolueno	8.9	
Ftalato de dioctilo	8.9	
Acetato de etilo	9.0	
Benceno	9.2	
Acetona	9.9	
Dioxano	10	
Ftalato de dimetilo	10.5	
Metanol	14.5	
Agua	23.4	
POLÍMEROS	$\delta/(\frac{\text{cal}}{\text{cm}^3})^{1/2}$	
Politetrafluoroetileno (teflón)	6.2	
Polietileno	7.9	
1,4-cispoliisopreno (caucho N)	8.3	
Polibutadieno	8.4	
Poliestireno	9.10	
Polimetilmetacrilato	9.45	
Policloruro de vinilo	9.6	

<sup>20</sup> GONZÁLEZ-PROLONGO, Margarita. Propiedades químicas y físicas de polímeros. En: Elementos estructurales con materiales polímeros [en línea]. E.T.S.I.A. Universidad Politécnica de Madrid, 1997, p. 65-95. [Consultado: 25 de Noviembre de 2020]. Disponible en: [https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/9641/CC\\_32\\_art\\_3.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/9641/CC_32_art_3.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Acetato de celulosa	10.6
Nailon 66	13.6

**Fuente:** M. GONZÁLEZ-PROLONGO[9]<sup>21</sup>.

### 5.3 Configuración molecular:

La configuración molecular de una molécula es la geometría que deriva de la disposición espacial de sus enlaces[5]<sup>22</sup>.

Isotáctica: la sustancia catalizadora (R) se encuentra en un mismo lado de la cadena molecular.

Sindiotáctica: la sustancia catalizadora (R) está alternada en ambos lados de la cadena molecular.

Atácticos: la sustancia catalizadora (R) se encuentra aleatoriamente en la cadena molecular.

Polímeros de adición: son moléculas orgánicas compuestas por unión de monómeros. Su polimerización ocurre de monómeros NO saturados, utilizando catalizadores como el calor y la radiación, formando aperturas de doble enlace, en las siguientes tres tablas, se observa formulas químicas, propiedades y usos de los tres principales polímeros de adición y condensación, utilizados en la industria[5]<sup>23</sup>.

**Tabla 2. Polímeros de adición.**

NOMBRE	FÓRMULA	MONÓMERO	PROPIEDADES	USOS
Polietileno (baja densidad) LDPE	$-(CH_2-CH_2)_n-$	Etileno $CH_2=CH_2$	Suave, solido ceroso.	Envoltura de película, Bolsas de plástico
Polietileno (alta densidad) HDPE	$-(CH_2-CH_2)_n-$	Etileno $CH_2=CH_2$	Rígido, solido translucido	Botellas de aislamiento o eléctrico, juguetes

<sup>21</sup> *Ibíd.*, p. 72.

<sup>22</sup> FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES., Op. Cit.

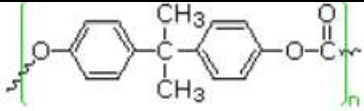

<sup>23</sup> *Ibíd.*

Polipropileno (PP)	$- [\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)]_n -$	Propileno $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3$	-Atácticos: suave, sólido elástico. -Isotácticos: duros, sólidos fuertes resistentes	Tapicerías
--------------------	--	--	---	------------

**Fuente:** FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES[5]<sup>24</sup>.

POLÍMEROS DE CONDENSACION: enlace a través de grupos funcionales de moléculas de monómeros[5]<sup>25</sup>.

**Tabla 3. Polímeros de condensación.**

NOMBRE	TIPO	COMPONENTES
$\sim [\text{CO}(\text{CH}_2)_4\text{CO}-\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{O}]_n \sim$	Poliéster	$\text{HO}_2\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{CO}_2\text{H}$ $\text{HO}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{OH}$
	Policarbonato	$(\text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4)_2\text{C}(\text{CH}_3)_2$ <b>(Bisphenol A)</b> $\text{X}_2\text{C}=\text{O}$ <b>(X = OCH<sub>3</sub> or Cl)</b>
$\sim [\text{CO}(\text{CH}_2)_4\text{CO}-\text{NH}(\text{CH}_2)_6\text{NH}]_n \sim$	Poliamida (Nylon 66)	$\text{HO}_2\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{CO}_2\text{H}$ $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2$ 

**Fuente:** FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES[5]<sup>26</sup>.

### 5.3.1 Estructura interna de los polímeros

- Composición química: están establecidos por átomos de elementos químicos no metálicos, la gran mayoría de ellos por carbonos e hidrógenos.

<sup>24</sup> Ibíd., p. 23.

<sup>25</sup> Ibíd., p. 25.

<sup>26</sup> Ibíd., p. 25.

- Enlaces primarios: constan de electronegatividades similares por tal razón sus enlaces son de tipo covalentes; es decir, comparten electrones.
- Fuerzas intermoleculares: poseen fuerzas intermoleculares de tipo atracción electrostática entre dipolos eléctricos[23]<sup>27</sup>[21]<sup>28</sup>.

#### 5.4 Polímeros termoplásticos

Los materiales plásticos se dividen en dos ramas termoestables y termoplásticos, los termoestables llevan su proceso de curado por etapas, mientras los termoplásticos son sensibles a los cambios de temperatura, ya que el proyecto constara en el diseño de una máquina de moldeo por compresión para la realización de láminas poliméricas a partir de PET reciclado, siendo el PET un material termoplástico[21]<sup>29</sup>.

##### 5.4.1 Termoplásticos

Son materiales hechos a base de polímeros capaces de soportar fundiciones indefinidas y cambios drásticos de temperaturas, es decir si se elevan las temperaturas el material se calienta y se funde, mientras se bajan las temperaturas el material sufre endurecimiento, soportando así indefinidamente este proceso de fundición y endurecimiento caracterizándolos como materiales reciclables[21]<sup>30</sup>.

##### 5.4.2 Propiedades de los polímeros termoplásticos

La gran mayoría de fabricantes de polímeros termoplásticos los refuerzan con fibras de vidrio, material más común para el aumento sus propiedades físicas, particularmente la temperatura de deflexión por calor, por tal motivo los polímeros termoplásticos son clasificados como amorfos o cristalinos por sus estructuras moleculares. Pero si se desea reforzar la resistencia de desgaste y de abrasión de

---

<sup>27</sup> PLASTICS EUROPE. Tipos de plásticos [sitio web]. [Consultado: 17 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics/large-family>

<sup>28</sup> PELÁEZ ROMERO, Guillermo. Selección y procesos de degradación de materiales en instalaciones de tratamiento y conducción de agua [en línea]. eREADING. Sevilla. [Consultado: 17 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4102/fichero/2.+MATERIALES+POLIM%C3%89RICOS.pdf>

<sup>29</sup> Ibíd. 59.

<sup>30</sup> Ibíd. 62.

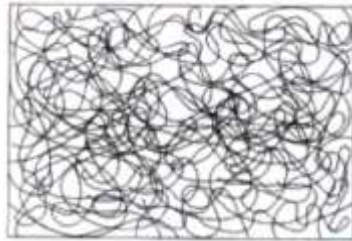
los polímeros termoplásticos es aconsejable reforzarlos con aramida o fibra sintética[21]<sup>31</sup>.

- Cristalinidad de los polimeros termoplasticos:

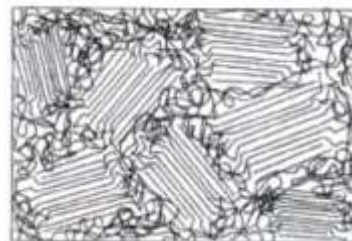
Cuando los polímeros termoplásticos pasan por el proceso de solidificación o endurecimiento desarrollan estructuras moleculares relativamente cristalinas u amorfas. Cuando un polímero termoplástico tiene mayor grado de cristalinidad mayor será sus propiedades como:

- Resistencia a disolventes
- Resistencia mecánica
- Fragilidad
- Dureza
- Densidad[21]<sup>32</sup>

### Ilustración 2. Estructura molecular de los polímeros termoplásticos.



Estructura amorfa



estructura cristalina

**Fuente:** materiales en instalaciones de tratamiento y conducción de agua[21]<sup>33</sup>.

- Un fenómeno habitual que presenta los polímeros termoplásticos en sus propiedades es la pérdida del volumen específico, cuando pasan por el proceso de endurecimiento, mientras se deja enfriar, debido al ordenamiento de sus estructuras moleculares (cadenas ordenadas) las cuales simplifican el espacio ocupado[21]<sup>34</sup>.

---

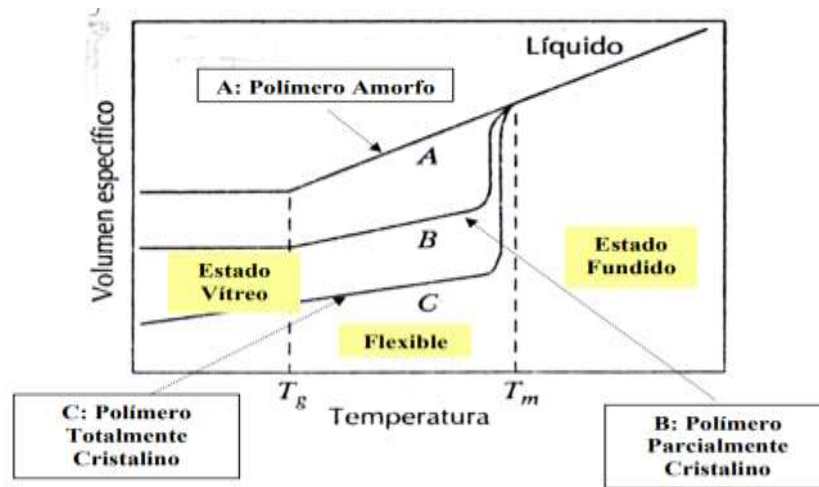
<sup>31</sup> Ibíd., p. 59.

<sup>32</sup> Ibíd., p. 25.

<sup>33</sup> Ibíd., p. 22.

<sup>34</sup> Ibíd., p. 23.

**Ilustración 3. Gráfico de volumen específico en función de la temperatura.**



**Fuente:** materiales en instalaciones de tratamiento y conducción del agua[21]<sup>35</sup>.

a).  $T > T_m$  Polímero en estado de fundición.

b). ( $T_g > T < T_m$ ) temperaturas entre  $T_g$  y  $T_m$ , el polímero se encuentra en estado flexible, debido a que sus fragmentos amorfos pueden trasladarse y absorber energía de impacto caracterizando al polímero con alto grado de flexibilidad.

c).  $T < T_g$ . Polímero en estado vítreo, en este estado el polímero se comporta de manera frágil de la misma manera que se comporta un material de vidrio, ocurre porque sus fragmentos amorfos no pueden trasladarse debido a las bajas temperaturas sus estructuras moleculares quedan inmóviles disminuyendo su absorción de impacto[21]<sup>36</sup>.

#### 5.4.3 Factores que propician la cristalinidad de los polímeros termoplásticos:

- Uniformidad estructural y química
- Circunstancias que concedan aproximaciones de las cadenas poliméricas

<sup>35</sup> *Ibíd.*, p. 23.

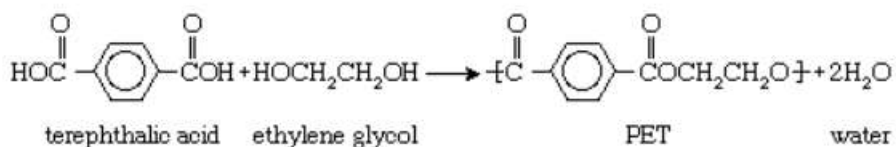
<sup>36</sup> *Ibíd.*, p. 23.

- Fuerzas intermoleculares potentes[21]<sup>37</sup>.

### 5.5 Tereftalato de polietileno (PET)

Tereftalato de polietileno se produce a partir de la polimerización entre Etilenglicol y el ácido Tere fálico, donde el etilenglicol se obtiene del etileno y es un líquido incoloro mientras que el ácido Tere fálico es un sólido cristalino que se obtiene del xileno, se mezclan y se llevan a altas temperaturas bajo la influencia de catalizadores químicos[23]<sup>38</sup>.

#### Ilustración 4. Representación de la reacción general del TEREFTALATO DE POLIETILENO.



**Fuente:** GREGERSEN[10]<sup>39</sup>.

Los anillos aromáticos en la reacción dan rigidez y resistencias notables al PET especialmente cuando las cadenas están alineadas entre sí, dándole una forma semicristalina al polietileno de tereftalato convirtiéndolo en una fibra textil de alta resistencia[10]<sup>40</sup>.

El PET se caracteriza por ser un poliéster aromático y forma parte del grupo de los termoplásticos, razón por la cual es posible su reciclaje. En términos generales, el PET es caracterizado por sus altos niveles de pureza, resistencia y tenacidad. Para la obtención del PET en la industria se debe tener una reacción de polimerización de varios agentes petroquímicos y naturales los agentes petroquímicos son obtenidos del 2.7% de un barril de petróleo crudo como por ejemplo los xilenos que se encuentran en los gases de choque y es un agente petroquímico que genera

<sup>37</sup> *Ibíd.*, p. 24.

<sup>38</sup> PLASTICS EUROPE., Op. Cit.

<sup>39</sup> GREGERSEN, Erik. Polyethylene terephthalate [sitio web]. [Consultado: 21 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://www.britannica.com/science/polyethylene-terephthalate>.

<sup>40</sup> *Ibíd.*

variedad de familia de poliésteres una de ella es el PET otro agente crucial para la polimerización es el etileno.

El PET También presenta propiedades de transparencia y resistencia química. Hay varios grados de PET, se diferencian cada uno por su cristalinidad y peso molecular, dependiendo de su aplicación. El grado fibra un peso molecular pequeño, el grado película presenta un peso molecular medio y el grado ingeniería presenta un peso molecular grande.

El PET presenta las siguientes características:

- Biorentación: esta permite lograr propiedades mecánicas y de barrera con optimización de espesores. Cristalización: permite lograr el incremento del peso molecular y la densidad.
- El PET resiste esterilización química con óxido de etileno y radiación gamma.
- Resistencia química: el PET presenta buena resistencia en general a: grasas y aceites presentes en alimentos, soluciones diluidas de ácidos minerales, álcalis, sales, jabones, hidrocarburos alifáticos y alcoholes. Posee poca resistencia a: solventes halogenados, aromáticos y cetonas de bajo peso molecular. Tabla: Resistencia química del PET algunas alternativas ecológicas son retornabilidad, reuso de molienda, fibras polioles para poliuretanos, Poliésteres no saturados, envases no alimenticios, alcoholisis/metanolisis, incineración.

- 

El PET puede ser reciclado dando lugar al material conocido como RPET, lamentablemente el RPET no puede emplearse para producir envases para la industria alimenticia debido a que las temperaturas implicadas en el proceso de reciclaje no son lo suficientemente altas como para asegura la esterilización del producto. Algunas aplicaciones del RPET son fibra textil, las láminas para fabricación de blisters y cajas, los flejes para productos voluminosos, los envases para productos no alimentarios, los envases multicapa para alimentos[21]<sup>41</sup>.

## 5.6 Tipos de reciclado PET

Existen cuatro enfoques distintos para el reciclaje de materiales de PET:

---

<sup>41</sup> PELÁEZ ROMERO., Op. Cit., p. 58.

- El reciclaje primario, que involucra el reuso del material en este caso de botellas PET en otros usos como utilizarlos para envasar bebidas o como elementos de decoración.
- El reciclaje secundario implica el reprocesamiento físico en material posconsumo, que generalmente se encuentra contaminado realizando posteriormente los procesos de molienda, fusión y reformado.
- El reciclaje terciario implica someter el PET residual al tratamiento químico, por lo que sus componentes son aislados y reprocesados para su uso en la fabricación.
- Reciclaje cuaternario en el que el contenido energético de los residuos de plástico puede aprovecharse mediante la incineración. Sin embargo, se encuentra una limitante en cuanto al reciclaje y aprovechamiento de los plásticos, que es la eliminación de contaminantes del PET posconsumo, que es un paso vital en el proceso de reciclado mecánico. La eliminación de contaminantes consiste en varios procesos en los que las botellas de PET, después de su consumo, se clasifican, se trituran y se lavan[16]<sup>42</sup>.

**Ilustración 5. Proceso de reciclaje del PET.**



Fuente: MARIANO[16]<sup>43</sup>.

<sup>42</sup> MARIANO., Op. Cit.

<sup>43</sup> Ibíd.

## 5.7 Moldeado por compresión

El moldeado por compresión es el método de transformación de plásticos más antigua existente y consiste en procesar mezclas de precursores en este caso material PET que se encuentran en forma de polvo o granzas, muy rara vez en líquidos. Cuando esta mezcla se somete a calor y presión, disminuye su viscosidad, hasta alcanzar el estado líquido, sufriendo después una reacción química irreversible llamada polimerización o curado.

Los factores más relevantes del proceso de moldeo por compresión son la temperatura y las presiones, si se requiere tener una mayor calidad de las piezas se debe tener en cuenta la velocidad de cierre de prensado, las temperaturas requeridas, la plasticidad del material, y lo más importante las condiciones de cómo se encuentra la superficie del molde. Cabe resaltar que es de suma importancia la cantidad de material que se debe aplicar al molde ya que si se adiciona poco material la pieza resultante será una pieza con baja densidad y malas propiedades mecánicas, mientras se adiciona exceso de material la resultante será laminas excesivas poco atractivas visualmente y de baja calidad, por lo cual se debe tener la medida exacta de la cantidad de material a procesar[3]<sup>44</sup>.

## 5.8 Tipos de moldeado por compresión[3]<sup>45</sup>

- Molde de hoja compuesto (SMC)
- Compuesto de moldeo a granel (BMC)

## 5.9 Características de los materiales en el proceso de moldeo por compresión

Los termoestables llevan un proceso de curado por etapas. Empieza con la formación y crecimiento lineal de cadenas, luego se ramifican y por último se entrecruzan haciendo este proceso de forma irreversible. A medida que avanza la etapa de reacción, el peso molecular del material aumenta debido al cambio de estados; ya en estado líquido, el proceso de curado inicia cuando ocurre otro cambio de estado, este de un estado líquido a un estado líquido viscoso o estado de gel viscoso este proceso es característico de los materiales termoestables debido a que en este punto de gelificación es donde el material deja de fluir y empieza el

---

<sup>44</sup> BELTRÁN y MARCILLA., Op. Cit.

<sup>45</sup> Ibíd.

fenómeno de vitrificación que ocurre cuando la temperatura de transición vítrea de las cadenas crecientes coinciden con la temperatura de curado[3]<sup>46</sup>.

Factor de compresión

$$FACTOR DE COMPRESION = FC = \frac{\textit{densidad de la pieza moldeada}}{\textit{densidad aparente del polvo de moldeo}}$$

---

<sup>46</sup> *Ibíd.*

## 6. ALCANCE

El alcance de este proyecto es el diseño de una máquina de moldeo de compresión por medio de software CAD y cálculos teóricos para la realización de láminas poliméricas, a partir de PET reciclado.

El objetivo final fue aumentar la cultura del reciclado de botellas PET en la sociedad UPB para así contribuir con el medio ambiente y darles un uso productivo.

El diseño de la máquina es a escala pequeña y estará al servicio de la comunidad UPB seccional Bucaramanga, para así evidenciar qué efectos trae el reciclaje de PET en la región y aumentar la cantidad de materiales aprovechables como el PET, y así evitar que estos sigan contaminando los ecosistemas.

Se entregó el diseño de una máquina de moldeo de compresión por medio de software CAD y cálculos teóricos para la realización de láminas poliméricas, con sus respectivos planos, de tal manera que pueda ser reproducida en la universidad a una escala mayor en futuros proyectos que involucren reciclado de materiales, como el del estudio de la reutilización de materiales plásticos como el PET dándoles un uso y fomentando un impacto socio-ambiental y cultural en la región.

## 7. METODOLOGÍA

La metodología aplicada en la ilustración 6 facilita el cumplimiento de los objetivos de este proyecto, por medio de un paso a paso buscando un ordenamiento y aclaración de ideas con sus respectivas soluciones.

Ilustración 6. Metodología para el cumplimiento de objetivos.



Fuente: autor del proyecto.

## 8. RECONOCIMIENTO DE LOS PARÁMETROS CLAVES PARA EL DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO DE COMPRESIÓN PARA LA REALIZACIÓN DE LÁMINAS POLIMÉRICAS, A PARTIR DE PET RECICLADO.

Para concretar los parámetros claves, los cuales son el punto de inicio para el diseño de la máquina de moldeo de compresión para la realización de láminas poliméricas, a partir de PET reciclado; se utilizaron métodos de diseño los cuales permitieron la delimitación de estas características a tener en cuenta:

- Árbol de objetivos.
- Diagrama de funciones.
- Lista de limitaciones y requerimientos.

### 8.1 Árbol de objetivos

El árbol de objetivos permitió definir criterios de evaluación generales para clarificar los parámetros a tener en cuenta en el diseño de la máquina de moldeo de compresión para la realización de láminas poliméricas, a partir de PET reciclado. Además del método de Cross el proyecto se basó en máquinas encargadas del moldeamiento, transformación del plástico ya aplicadas comercialmente en la industria tales como son las extrusoras, prensas hidráulicas, inyectoras y sopladoras las cuales el principio de funcionamiento es similar o semejante a la máquina. Aplicando el árbol de objetivos se evaluó el parámetro o requerimiento principal, (la realización de láminas poliméricas, a partir de PET reciclado), para así ir descomponiendo en requerimientos más concretos para dar cumplimiento a la funcionalidad de la máquina[15]<sup>47</sup>[4]<sup>48</sup>.

---

<sup>47</sup>LÓPEZ CASCANTE, Cintia Elizabeth, y BAJAÑA HARO, Jaime Alfredo. Diseño y construcción de un compactador de latas y envases PET [en línea]. Tesis de Ingeniero Industrial. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador. Escuela de Ingeniería Industrial, 2016. 80 p. [Consultado: 16 de Diciembre de 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13386/1/UPS-GT001750.pdf>

<sup>48</sup>ELSHABINI, Aicha; BARLOW, Fred y WANG, Paul. Electronic Packaging: Semiconductor Packages. En: Reference Module in Materials Science and Materials Engineering [en línea]. ELSEVIER, 2017.[Consultado: 27 de Enero de 2021]. P. 8339-8356. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128035818020488#>

Mediante una herramienta muy versátil que es la lluvia de ideas aplicada en ingenieros expertos en la fabricación de materiales de plástico, ingeniero director de proyecto, autor del proyecto junto a una búsqueda en bases de datos bibliográficas, donde se clarificaron la siguiente lista de objetivos y parámetros que debe cumplir la máquina de moldeo por compresión para la realización de láminas poliméricas, a partir de PET reciclado.

### **Restricciones que se tuvieron en cuenta para la lluvia de ideas:**

- Económicas: debido a que se trata de una máquina para uso académico en un laboratorio de la universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga y no de uso industrial, se tuvo en cuenta que no se debe tener un exceso de costos para que sea probable su fabricación futura.
- Físicas: debido a que se trata de una máquina escala pequeña de una máquina industrial se debe manejar medidas propicias para el espacio y uso de trabajo en la Universidad Pontificia Bolivariana.
- Humanas: debido a que se trata de una máquina escala pequeña de una máquina industrial donde se manejan altas temperaturas, y presiones, se tiene que dar prioridad al cuidado del cuerpo humano para la persona que opere la máquina.
- Ambientales: se debe tener en cuenta que la máquina y su funcionamiento cumplan con las normas legales ambientales regidas, en este caso en el país de Colombia para así a contribuir y fomentar el cuidado del medio ambiente.
- Fabricación de láminas poliméricas, de material PET reciclado: la funcionalidad de la máquina es la fabricación de láminas plásticas de material PET reciclado.

Lista de objetivos y parámetros producto del análisis de la lluvia de ideas a tener en cuenta son los siguientes:

- Fácil operación
- Bajo índice de lesiones operarias
- No se quemen las manos en el momento de operación de la máquina
- No se aplasten las manos en el momento de operación de la máquina
- Bloqueo y apagado automático en caso de una falla del operario o falla mecánica
- Opera a altas temperaturas
- Opera a altas presiones
- Opera con 110 V
- Mantenimiento sencillo y rápido
- Ensamble fácil

- Desarme sencillo
- Ergonómica
- Liviana
- Dimensiones estándares
- Poca complejidad de sus componentes
- Resistente a altas operaciones de trabajo
- Resistente a alta temperaturas
- Realización de láminas poliméricas de PET reciclado
- Económica
- Atractiva visualmente
- Seguridad electrónica
- Seguridad mecánica
- Sensores

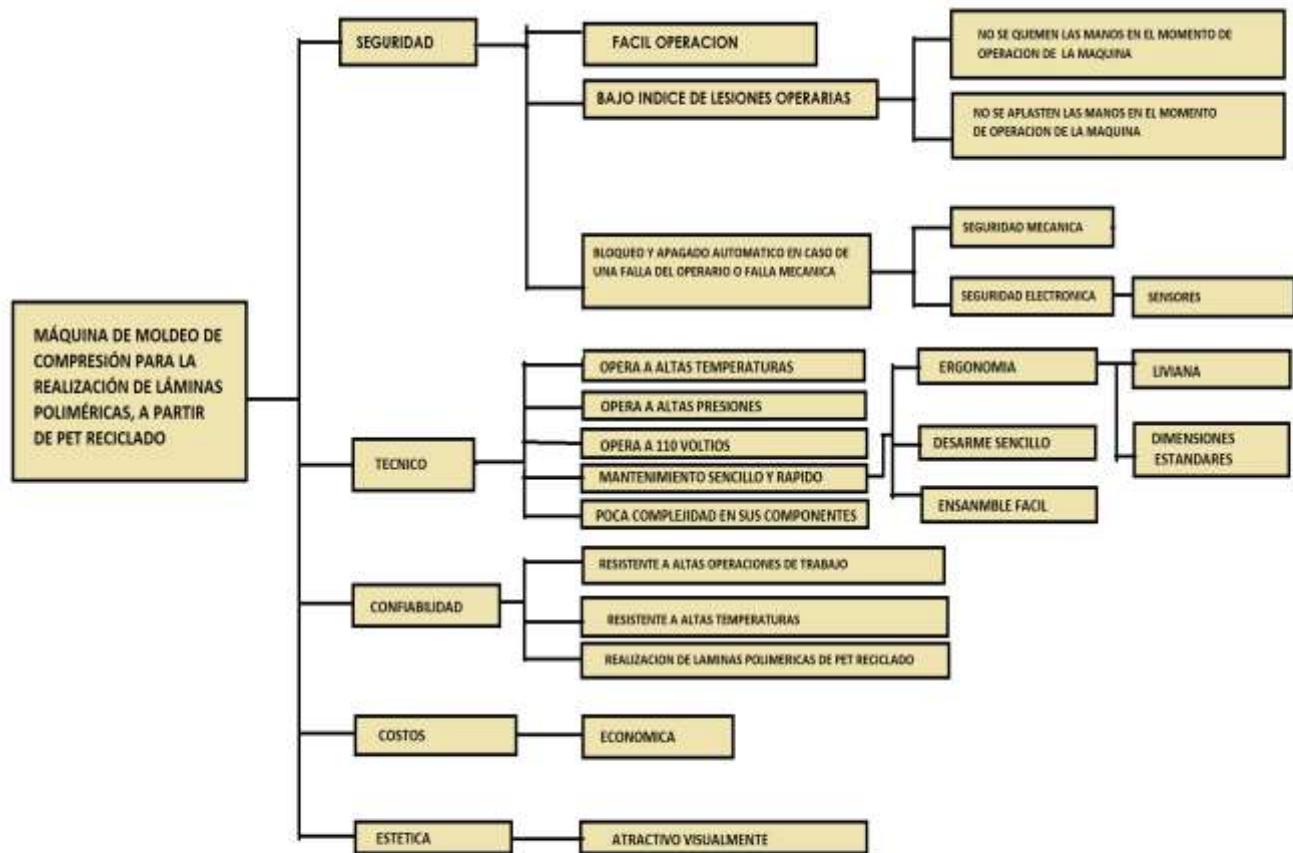
Teniendo claro los parámetros se ordenarán de mayor a menor importancia, por lo cual aparecen objetivos secundarios claves para el diseño de la máquina de moldeo por compresión.

Objetivos primarios definidos:

- I. Seguridad
- II. Técnico
- III. Confiabilidad
- IV. Costos
- V. Estética

Ya teniendo el resultado del ordenamiento de los parámetros se obtiene un árbol de objetivos el cual se relaciona en la ilustración 7.

## Ilustración 7. Árbol de objetivos



**Fuente:** autor del proyecto.

Parámetros de diseño en el árbol de objetivos son los siguientes:

- Seguridad: se diseñó una máquina con parámetros de seguridad mecánicos, electrónicos y ergonómicos considerando se primordial la seguridad física de la persona que va a maniobrar la máquina.
- Técnico: se diseña una máquina con sistemas de altas presiones de aceite, altas temperaturas y con un mantenimiento sencillo-rápido en sus componentes que contribuyen para longevidad de la vida útil de la máquina y su eficiente operación.
- Confiabilidad: para que la máquina sea confiable en la realización de las láminas poliméricas de PET reciclado, se debe cumplir que sea una máquina resistente a altas operaciones de trabajo y que cumpla con su parte técnica

con el suministro de energía, presiones y temperaturas propuestas en la ficha técnica de la máquina de moldeo de compresión.

- Costos: sus bajos costos es el parámetro esencial para la una construcción futura para el aumento de conocimiento académico.
- Estética: debido a que es una máquina para uso académico su parte visual es indispensable por lo tanto se diseñó una máquina atractiva.

## 8.2 Diagrama de funciones

Ya obtenidos los parámetros de diseño de la máquina, se establecieron las funciones requeridas y los límites del sistema.

La herramienta de diagrama de funciones es el método más eficiente para el ordenamiento claro del paso a paso del funcionamiento con los límites para el sistema de la máquina de moldeo de compresión.

A continuación, en la ilustración 8 se tiene el análisis general de las funciones de entrada y de salida que debe cumplir la máquina para la realización correcta de las láminas poliméricas de PET reciclado.

### Ilustración 8. Diagrama de funciones generales.

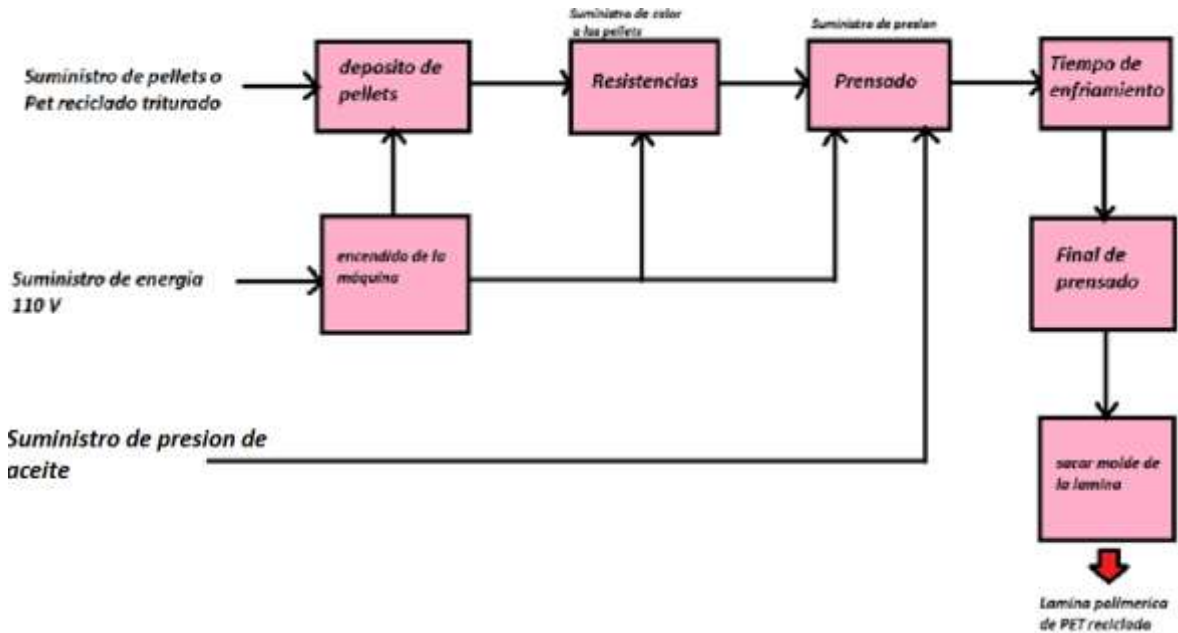


**Fuente:** autor del proyecto.

Ya establecidas las funciones de entrada donde se clarifico la energía necesaria para el movimiento de la máquina, suministro de aceite suficiente para el prensado y pellets principal PET reciclado triturado para la elaboración de las láminas poliméricas.

Para un mayor entendimiento en la ilustración 9 se muestra un modelo de diagrama de funciones con mayor detalle del paso a paso del funcionamiento de la máquina.

### Ilustración 9. Diagrama de funciones detallado.



**Fuente:** autor del proyecto.

El proceso de la máquina de moldeo de compresión se describe a continuación:

La máquina se le debe suministrar energía de 110 V debido a que estará ubicada en un laboratorio de la universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, altas presiones de aceite y pellets de PET reciclado triturada, el primer paso es llenar el depósito de pellets triturada, después se le debe suministrar calor por medio de resistencias eléctricas situadas en la parte de debajo de la componente fija de la prensa donde se encuentra la pellets para así buscar su punto de fusión, el tercer paso es el suministro de altas presiones de aceite para el proceso de prensado de pellets, el siguiente cuarto paso es el tiempo de espera del enfriamiento, quinto paso que se debe hacer es sacar la lámina eliminar material defectuoso en las esquinas, y por último se obtiene la lámina polimérica de material PET reciclado.

### 8.3 Lista de limitaciones y requerimientos

Después de un profundo análisis y con base de los métodos desarrollados, árbol de objetivos y diagrama de funciones, se planteó la siguiente lista de requerimientos y limitaciones a tener en cuenta en el diseño, y funcionamiento de la máquina.

**Tabla 4. Lista de limitaciones y requerimientos.**

ÍTEM	REQUERIMIENTO	OBSERVACIÓN
1	Voltaje 110v	El suministro de energía mínimo necesario es de 110v, se diseñó con este parámetro debido a que es el voltaje que nos puede suministrar la universidad donde se instalara la máquina
2	Altas presiones de aceite	La bomba debe tener la capacidad de entregar altas presiones de aceite para generar una operación eficiente en la elaboración de la lámina polimérica de PET reciclado. Las máquinas compactadoras y extrusoras de plásticos industrialmente establecidas utilizan presiones hidráulicas entre 1000 a 3000 PSI; se seleccionó una presión de 2000 PSI pensando que la máquina será a escala pequeña y para uso académico.
3	Alta temperaturas	Para alcanzar el punto de fusión del polímero es necesario alcanzar elevadas temperaturas y así facilitando el manejo y moldeamiento del

		<p>material pellets para dar forma a las láminas de PET reciclado.</p> <p>Las propiedades físicas y químicas del PET certifican que la temperatura de fusión para la fundición del PET es de 265 °C, debido a que la resistencia tubular debe calentar una placa metálica se seleccionará una temperatura mayor que la temperatura de fusión, se tomará una temperatura de 300 °C</p>
4	Pellets o PET reciclado Triturado	Por obligación, el PET reciclado debe estar bien triturado, para fácil fundición y manejo a la hora de compactarse.
5	Operación fácil	Por su uso académico no contiene operaciones complejas, se da un uso fácil mediante de interruptores y botones que facilitan la operación
6	Mantenimiento sencillo	La máquina contiene poca complejidad en sus componentes mecánicas por lo cual hace fácil el trabajo de mantenimiento que es necesario a desarrollar en cualquier máquina para cumplir la vida útil de la máquina.
7	Desarme y ensamble sencillo y rápido	El diseño sencillo y de poca complejidad de las componentes mecánicas y electrónicas nos facilitan un desarme-ensamble rápido y sencillo

8	Uso con una mano	La máquina se diseñó de una manera de fácil operación, los interruptores y botones facilitan una maniobra sencilla de la máquina por cual con una mano es suficiente para operarla.
9	Seguridad	La máquina operará a altas temperaturas y la mayoría de sus componentes son materiales metálicos conductores de calor es necesario el uso de guantes. Adicionalmente, la máquina contará con un botón de seguridad, en caso de un mal procedimiento, para evitar fallas tanto de la máquina como una lesión en el operario.
10	Sensores y medidores de presión	El sistema electrónico contará con sensores de temperatura, y medidores de presiones siendo útiles para activar interruptores de bloqueo y apagado de la máquina en caso de un mal manejo o falla de la máquina.
11	Calentamiento	La máquina contará con un sistema de calentamiento conformado por resistencias eléctricas capaces de generar altas temperaturas requeridas para la fundición del PET
12	Tiempo de accionamiento y	El tiempo de 6 segundos de accionamiento y

	retroceso del cilindro hidráulico	retroceso del cilindro hidráulico se seleccionó a criterio del estudiante y director de proyecto con el objetivo de agilizar la producción de las láminas de PET reciclado.
13	Peso máximo de 160kg	Será el peso máximo de la máquina totalmente ensamblada sin agregarle pellets o PET reciclado triturado.
14	Dimensiones máximas 100cm X 170cm X 60cm	Serán las 3 dimensiones de la máquina totalmente ensamblada.
15	½ "	Se utilizará una tubería de un rango [½"-1"] para el sistema hidráulico.

**Fuente:** autor del proyecto.

Los criterios para los requerimientos de la máquina, se basaron en máquinas encargadas de la fabricación y moldeo de plásticos ya comercializadas en la industria tales como son extrusoras, compactadoras y sopladoras:

### Ilustración 10. Parámetros de diseño de compactadora.

	PROYECTO	AUTORES	UNIVERSIDAD	PARAMETROS DE DISEÑO		
	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN COMPACTADOR DE LATAS Y ENVASES PET	CINTIA LOPEZ-JAIME BAJAÑA	UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA ECUADOR-FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL	PRESION	1771.61 PSI	
Fmax				22262.71 Lbf		
SISTEMA OLEO-HIDRAULICO					TANQUE	19.02 Galones
MOTOR				7 HP		
CAUDAL				1386 IN <sup>3</sup> /MIN		
FLUJO				LAMINAR		

Fuente: LÓPEZ CASCANTE y BAJAÑA HARO[15]<sup>49</sup>.

### Ilustración 11. Parámetros de diseño sopladora de plástico.

	PROYECTO	AUTORES	UNIVERSIDAD	PARAMETROS DE DISEÑO	
	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO DIDACTICO DE MAQUINA SOPLADORA DE PLASTICO NEUMATICA PARA EL LABORATORIO DE NEUTRONICA.	XAVIER MASAPANTA- ESTEBAN GAVILANES	UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS EXTENSION LATACUNGA	PRESION MAX CILINDROS	116.03 PSI
PRESION MAX SOPLADO				116.03 PSI	
VELOCIDAD MAX				105 RPM	
VELOCIDAD DEL PARISON				1.33 cm/Seg	
TEMPERATURA DE TRABAJO				150 A 199 °C	
TIEMPO DE SOPLADO Y CALENTAMIENTO				SOPLADO 2 SEG- 60 MIN	
FUENTE DE OPERACION	ENERGIA ELECTRICA				

Fuente: MASAPANTA AYALA y GAVILANES VÁSQUEZ[18]<sup>50</sup>.

<sup>49</sup> LÓPEZ CASCANTE y BAJAÑA HARO., Op. Cit., p. 23.

<sup>50</sup> MASAPANTA AYALA, Xavier Wladimir, y GAVILANES VÁSQUEZ, Esteban Sebastián. Diseño y construcción de un prototipo didáctico de máquina sopladora de plástico neumática para el laboratorio de neutrónica de la Universidad de las fuerzas armadas extensión Latacunga [en línea]. Proyecto de Ingeniería en Electromecánica. Departamento de Eléctrica y Electrónica, 2015. 10 p. [Consultado: 20 de Enero de 2020]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10132/1/AC-ESPEL-EMI-0292.pdf>

**Ilustración 12. Parámetros de diseño de extrusora de plásticos.**

PROYECTO	AUTORES	UNIVERSIDAD	PARAMETROS DE DISEÑO	
DISEÑO DE UNA EXTRUSORA PARA PLASTICOS	JIMMY JOADE GOMEZ GOMEZ- JORGE EDWIN GUTIERREZ BEDOYA	UNIVERSIDAD TECNOLOGICAS DE PEREIRA, FACULTAD DE TECNOLOGIAS, ESCUELA DE TECNOLOGIA MECANICA	VELOCIDAD MOTOR	113.39 RPM
			POTENCIA MOTOR	2.62 KW
			PRESION MAX	89,4 MN/m <sup>2</sup>
			PRESION OPERACIÓN	50,15 MN/m <sup>2</sup>

**Fuente:** GÓMEZ GÓMEZ y GUTIÉRREZ BEDOYA[8]<sup>51</sup>.

La elección de los requerimientos se tomó con base en máquinas de moldeo por compresión elaboradas en la industria y en laboratorios de investigación de universidades, teniendo en cuenta también criterios de diseño de máquinas que se encargan de la transformación y moldeo de plásticos observadas en ilustraciones anteriores:

---

<sup>51</sup> GÓMEZ GÓMEZ, Jimmy Joane, y GUTIÉRREZ BEDOYA, Jorge Edwin. Diseño de una extrusora para plásticos [en línea]. Tesis de Tecnólogo en Mecánica. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Escuela de tecnología mecánica, 2007. 121 p. [Consultado: 26 de Enero de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1110/668413G633d.pdf?sequence=1>

**Tabla 5. Máquinas de moldeo por compresión.**

Máquina para elaboración de paquetes semiconductores. Para embalaje electrónico	Presión hidráulica 700 Kpa.	Temperatura de trabajo: 180 °C	Tiempo de curado 3 mín.
Máquina de acabado mecanizado y formación en forma de red. (Fabricación de bagasa de caña de azúcar, PVC, Kenaf, TPU.)	Presión Hidráulica 700 Kpa.	Temperatura de trabajo: 170 °C	Tiempo de prensado calientes 12,5 mín.
Pro Corporation, Florence M empresa pionera en plásticos 1847	Presión Hidráulica 2000-3000 Psi	Temperatura de trabajo: 149°C- 191°C	Tiempo de curado 4 min

**Fuentes:** SHEKHAR THAKUR[25]<sup>52</sup>, GÓMEZ GÓMEZ y GUTIÉRREZ BEDOYA[8]<sup>53</sup>, ELSHABINI, BARLOW y WANG [4]<sup>54</sup>.

#### Propiedades y características del PET

A continuación, se relacionan las características del PET virgen que son un punto de partida para la fabricación de las láminas poliméricas de PET reutilizado:

<sup>52</sup> SHEKHAR THAKUR., Op. Cit.

<sup>53</sup> GÓMEZ GÓMEZ y GUTIÉRREZ BEDOYA., Op. Cit.

<sup>54</sup> ELSHABINI, BARLOW y WANG., Op. Cit.

**Tabla 6. Temperaturas de polímeros más comunes industrialmente.**

MATERIAL	TEMPERATURA DE TRANSICIÓN VÍTREA [°C(°F)]	TEMPERATURA DE FUSIÓN [°C(°F)]
Polietileno (baja densidad)	-110 °C (-166°F)	115°C(239°F)
Polietileno (alta densidad)	-90°C(-130°F)	137°C(279°F)
Cloruro de polivinilo	105°C(221°F)	212°C(414°F)
Politetrafluoroetileno	-90°C(-130°F)	327°C(621°F)
Polipropileno	-20°C(-4°F)	175°C(347°F)
Poliestireno	100°C(212°F)	
Nilón 66	57°C(135°F)	265°C(509°F)
Poliéster o polietileno tereftalato (PET)	73°C(163°F)	265°C(509°F)
Policarbonato	150°C(302°F)	

**Fuente:** Proyecto materiales en instalaciones de tratamiento y conducción del agua[21]<sup>55</sup>.

**Tabla 7. Propiedades Y características del PET.**

<b>POLIETILENO TEREFTALATO : PET</b>	
<b>Propiedades Físicas</b>	
Absorción de Agua - en 24 horas ( % )	0.1
Absorción de Agua - Equilibrio ( % )	<0,7
Densidad ( g cm <sup>-3</sup> )	1,3-1,4
Índice de Oxígeno Límite ( % )	21
Índice Refractivo	1,58-1,64
Inflamabilidad	HB
Resistencia a la Radiación	Buena
<b>Propiedades Mecánicas</b>	
Coeficiente de Fricción	0,2-0,4
Dureza - Rockwell	M94-101
Módulo de Tracción ( GPa )	2 - 4
Relación de Poisson	0,37-0,44(oriented)
Resistencia a la Tracción ( MPa )	80, para biax film 190-260
Resistencia al Impacto Izod ( J m <sup>-1</sup> )	13-35

<sup>55</sup> PELÁEZ ROMERO., Op. Cit., p. 10.

<b>Propiedades Térmicas</b>	
Calor Específico ( J K <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> )	1200 - 1350
Coefficiente de Expansión Térmica ( x10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	20-80
Conductividad Térmica a 23C ( W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	0,15-0,4
Temperatura de Deflexión en Caliente - 0.45MPa ( C )	115
Temperatura de Deflexión en Caliente - 1.8MPa ( C )	80
Temperatura Máxima de Utilización ( C )	115-170
Temperatura Mínima de Utilización ( C )	-40 a -60
<b>Resistencia Química</b>	
Ácidos - concentrados	Buena-Mala
Ácidos - diluidos	Buena
Álcalis	Mala
Alcoholes	Buena
Cetonas	Buena-Aceptable
Grasas y Aceites	Buena
Halógenos	Aceptable-Buena
Hidro-carbonos halógenos	Buena-Mala
Hidrocarburos Aromáticos	Buena-Aceptable

**Fuentes:** SAPUAN, Salit Mohd, *et al.* [24]<sup>56</sup>, PLASTICBAGES INDUSTRIAL[22]<sup>57</sup>.

Basado en criterios de diseño y parámetros ya existentes se llega a la conclusión que las características de diseño más importantes a tener en cuenta en las funciones de la máquina de moldeo de compresión para la realización de láminas poliméricas, a partir de PET reciclado son la Temperaturas, presiones, el tiempo de calentamiento y suministro de energía donde va a operar la máquina, la cual será ubicada en el laboratorio de la universidad pontificia bolivariana seccional Bucaramanga y este suministra una corriente de 110 voltios.

<sup>56</sup> SAPUAN, Salit Mohd, *et al.* Natural Fiber-Reinforced Composites: Types, Deveploment, Manufacturing Process, and Measurement. En: Comprehensive Materials Finishing [en línea]. ELSEVIER, 2017. [Consultado: 30 de Enero de 2020]. Capítulo 1.8, p. 203-230. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128035818091839#!>

<sup>57</sup> PLASTICBAGES INDUSTRIAL, S.L. Fabricación y comercialización de plásticos técnicos. Polietileno [sitio web]. Sant Salvador de Guardiola. [Consultado: 3 de Febrero de 2020]. Disponible en: <http://www.plasticbages.com/caracteristicaspolietileno.html>

## **9. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA MÁQUINA DE MOLDEO POR COMPRESIÓN PARA LA REALIZACIÓN DE LÁMINAS POLIMÉRICAS, A PARTIR DE PET RECICLADO**

Basado en el método de Cross, se puede identificar las funciones, objetivos primarios y secundarios de la máquina de una forma clara, ordenada y con protocolos de paso a paso para dar cumplimiento a una operación eficiente en la elaboración de las láminas poliméricas, a partir de PET reciclado.

Para dar solución a las funciones, objetivos que deberá cumplir la máquina y obtener el diseño conceptual final se debe buscar una combinación didáctica, creativa, analítica, y lógica mediante un diagrama morfológico de posibles soluciones de diseño, creando así tres posibles prototipos de diseño de los cuales se evaluarán y se seleccionará el prototipo de la máquina más adecuado para la elaboración de láminas poliméricas de material PET reciclado.

### **9.1 Diagrama morfológico con posibles soluciones para el diseño de la máquina de moldeo por compresión**

Se utiliza un análisis morfológico para analizar de manera sistemática las posibles soluciones que se pueden encontrar para el diseño de la máquina de moldeo por compresión, de las cuales se generarán 3 posibles prototipos de solución y se seleccionará el prototipo más eficiente para la elaboración de las láminas de PET reciclado.






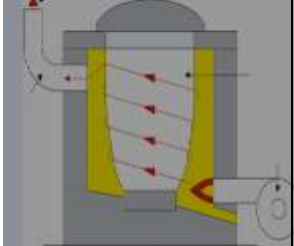



Funciones de la máquina de moldeo por compresión:




- Depósito para los pellets o PET reciclado triturado.
- Sistema de calentamiento para altas temperaturas óptimas para la fundición de los pellets.
- Sistema de prensado para altas presiones de aceite.
- Sistema de enfriamiento.
- Posición del botón de seguridad.
- Sistemas electrónicos de seguridad de temperaturas.
- Sistema electrónico de seguridad de presiones.
- Forma estructural de la máquina, debe ser ergonómica.
- Fácil extracción de la lámina polimérica elaborada.




- Tablero de control.

En la siguiente tabla se muestra el diagrama morfológico con tres tipos de soluciones posibles para cada función, siendo este punto de partida para el diseño de los prototipos de máquina a evaluar:

**Tabla 8. Posibles soluciones de las funciones requeridas por la máquina.**

SOLUCIONES FUNCIONES	1	2	3
Depósito para los pellets o PET reciclado triturado	 Depósito cónico	 Depósito cúbico	 Depósito cilíndrico
Sistema de calentamiento para altas temperaturas óptimas para la fundición de los pellets	 Resistencias eléctricas tubulares.	 Resistencias eléctricas planas.	 Sistema de calentamiento mediante gas.
Sistema de prensado para altas presiones.	 Sistema prensa hidráulica manual.	 Sistema de prensa hidráulica con	 Sistema de prensa hidráulica

		mecanismo de cuatro columnas.	tradicional con un cilindro de presión.
Posicionamiento de Botón de seguridad	Sistema con un botón ubicado en la parte inferior de la máquina a 60 cm del piso.	Sistema con dos botones de seguridad ubicados uno la parte lateral a 60 cm de distancia al piso y el otro en la parte superior de la máquina.	Sistema con pedal de seguridad.
Sistemas electrónicos de seguridad de temperaturas.	Detector de temperatura de resistencia RTD	Sensores Termopares	Termistor de coeficiente de temperatura negativo
Medidores de presión	Manómetros.	Sensor de presión hidráulico RS PRO, M2	Sensor de presión hidráulico WIKA 12719341
Forma estructural de la máquina	VERTICAL: acero y láminas de aluminio 	HORIZONTAL: acero y láminas de aluminio 	ESCALONADA: acero y láminas de aluminio 
Lámina polimérica de PET reciclado	Molde extraíble ubicado en la parte fija de la prensa. Cuenta con manijas para evitar quemaduras en las manos, facilitando así la extracción de la lámina.	Molde fijo, la lámina se extrae mediante unas pinzas.	Se ubicará una prensa neumática en la parte inferior de la pieza fija de la prensa hidráulica para generar un golpe o vibración el cual nos sirve para

			despegar la lámina del molde.
Tablero de control	no hay tablero de control, solo 4 botones o interruptores aptos para prender la máquina, dar inicio a la prensa y resistencia, apagado de la máquina y por último un botón de pare o ponga en stop la máquina en casa de alguna emergencia.	Tablero de control digitales completo Donde nos muestra presiones, temperaturas.	Tablero de control táctiles completo donde nos muestra presiones, temperaturas, y fallas del sistema.
Tanque almacenamiento de aceite.	 Rectangular horizontal	 Rectangular vertical	 Cuadrada

**Fuente:** autor del proyecto.

Finalizado el diagrama de posibles soluciones para cada función requerida de la máquina, se elige algunas de las soluciones óptimas para dar solución a los objetivos tanto primarios como secundarios de la máquina de moldeo por compresión, y con base a lo anterior se diseñaron 3 prototipos diferentes de máquinas de moldeo por compresión para la elaboración de láminas de PET reciclado.




9.2 Posibles diseños de máquinas de moldeo por compresión para la elaboración de láminas de PET reciclado.




Diseño 1:

Para el diseño 1, se considera las siguientes soluciones optimas seleccionadas de la tabla 8.

**Tabla 9. Diagrama de soluciones para el diseño 1.**

SOLUCIONES FUNCIONES	1	2	3
Depósito para los pellets o PET reciclado triturado.	 Depósito cónico	 Depósito cúbico	 Deposito cilíndrico
Sistema de calentamiento para altas temperaturas óptimas para la fundición de los pellets.	 Resistencias eléctricas tubulares.	 Resistencias eléctricas planas.	 Sistema de calentamiento mediante gas.
Sistema de prensado para altas presiones.	 Sistema prensa hidráulica manual.	 Sistema de prensa hidráulica con mecanismo de cuatro columnas.	 Sistema de prensa hidráulica

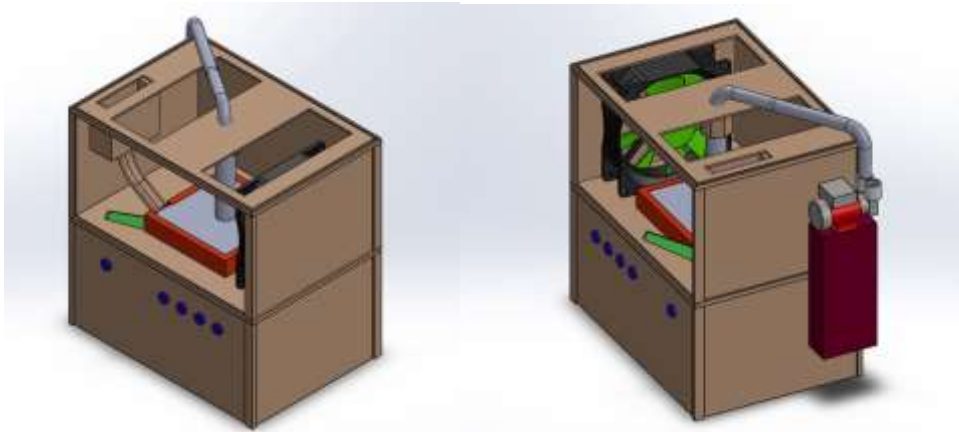
			tradicional con un cilindro de presión.
Posicionamiento de Botón de seguridad	Sistema con un botón ubicado en la parte inferior de la máquina a 60 cm del piso.	Sistema con dos botones de seguridad ubicados uno la parte Lateral a 60 cm de distancia al piso y el otro en la parte superior de la máquina.	Sistema con pedal de seguridad.
Sistemas electrónicos de seguridad de temperaturas.	Detector de temperatura de resistencia RTD	Sensores Termopares.	Termistor de coeficiente de temperatura negativo.
Medidores de presión	Manómetros.	Sensor de presión hidráulico RS PRO, M2	Sensor de presión hidráulico WIKA 12719341
Forma estructural de la máquina.	VERTICAL (columnas de acero y láminas de aluminio). 	HORIZONTAL (columnas de acero y láminas de aluminio). 	ESCALONADA (columnas de acero y láminas de aluminio). 
Lámina polimérica de PET reciclado.	Molde extraíble ubicado en la parte fija de la prensa. Cuenta con manijas para evitar quemaduras en las	Molde fijo, la lámina se extrae mediante unas pinzas.	Se ubicará una prensa neumática en la parte inferior de la pieza fija de la prensa hidráulica para generar un

	manos, facilitando así la extracción de la lámina.		golpe o vibración el cual nos sirve para despegar la lámina del molde.
Tablero de control	no hay tablero de control, solo 4 botones o interruptores aptos para prender la máquina, dar inicio a la prensa y resistencia, apagado de la máquina y por último un botón de pare o ponga en stop la máquina en caso de alguna emergencia.	Tablero de control digitales completo Donde nos muestra presiones, temperaturas.	Tablero de control táctiles completo donde nos muestra presiones, temperaturas, y fallas del sistema.
Tanque almacenamiento de aceite.	 Rectangular horizontal	 Rectangular vertical	 Cuadrada

Fuente: autor del proyecto.

Prototipo 1. (Ver ilustración 13.)

**Ilustración 13. Opción de diseño 1. Máquina por moldeo de compresión.**



**Fuente:** autor del proyecto.



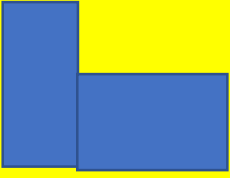
La ilustración 13 retribuye al diseño 1 de solución de la máquina de moldeo por compresión, el cual contiene un sistema de prensa hidráulica manual con tanque rectangular de almacenamiento de aceite, principal para la compresión de los pellets ubicados en un depósito cilíndrico a un costado superior de la prensa el cual mediante un tubo se comunica con el molde fijo de la prensa, la prensa cuenta con una parte móvil metálica compuesta de un sistema interno de resistencias eléctricas planas encargadas de suministrar calor mediante energía para la fundición de los pellets y una parte fija en la parte inferior la cual contiene el molde de la lámina; cuenta con un sistema de control de 4 de botones o interruptores encargados de dar movimiento a la máquina un botón de encendido, otro para dar movimiento a la prensa, un tercer botón encargado de encender el sistema de calentamiento, y por ultimo un botón de stop en caso de algún problema de la máquina o un mal procedimiento además de esto la máquina cuenta con sensores de presión hidráulico RS PRO-M2, Termistor de coeficiente de temperatura negativo o sensores de temperatura, su forma estructural de jaula horizontal de material de acero y láminas de aluminio permite un dimensionamiento óptimo para dar orden a las componentes de la máquina. Finalmente, ubicado a un costado de la parte frontal de la máquina a 60 cm del piso un botón de seguridad adicional que apaga automáticamente la máquina. Mantenimiento sencillo que favorece la producción de láminas poliméricas de PET reciclado.




Diseño 2:

Para el diseño 2, se consideraron las siguientes soluciones óptimas, ver tabla 9.

**Tabla 10. Diagrama de soluciones para el diseño 2.**

SOLUCIONES FUNCIONES	1	2	3
Depósito para los pellets o PET reciclado triturado.	 Depósito cónico	 Depósito cúbico	 Depósito cilíndrico
Sistema de calentamiento para altas temperaturas óptimas para la fundición de los pellets.	 Resistencias eléctricas tubulares.	 Resistencias eléctricas planas.	Sistema de calentamiento mediante gas.
Sistema de prensado para altas presiones.	 Sistema prensa hidráulica manual.	 Sistema de prensa hidráulica con mecanismo de cuatro columnas.	 Sistema de prensa hidráulica tradicional con

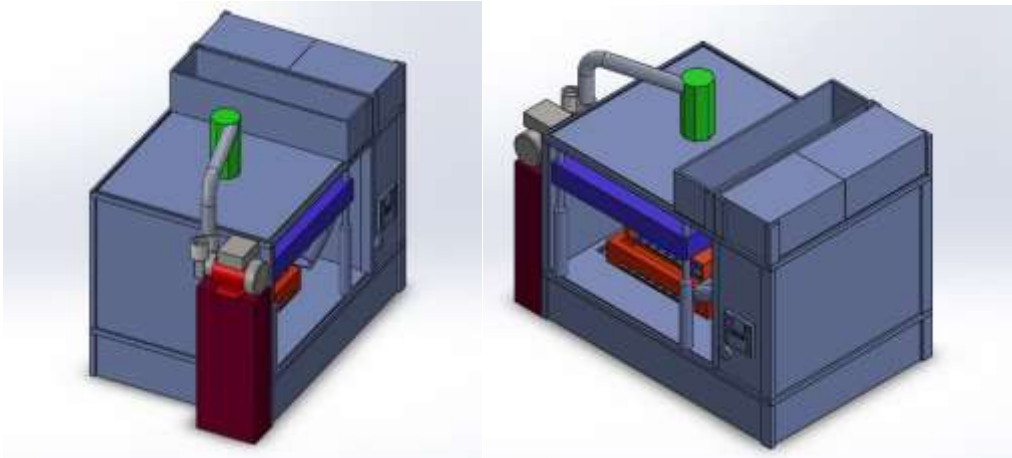
			un cilindro de presión.
Posicionamiento de Botón de seguridad.	Sistema con un botón ubicado en la parte inferior de la máquina a 60 cm del piso.	Sistema con dos botones de seguridad ubicados uno la parte Lateral a 60 cm de distancia al piso y el otro en la parte superior de la máquina.	Sistema con pedal de seguridad.
Sistemas electrónicos de seguridad de temperaturas.	Detector de temperatura de resistencia RTD	Sensores Termopares.	Termistor de coeficiente de temperatura negativo.
Medidores de presión	Manómetros.	Sensor de presión hidráulico RS PRO, M2	Sensor de presión hidráulico WIKA 12719341
Forma estructural de la máquina	VERTICAL (columnas de acero y láminas aluminio) 	HORIZONTAL: (columnas de acero y láminas aluminio) 	ESCALONADA: (columnas de acero y láminas aluminio) 
Lámina polimérica de PET reciclado	Molde extraíble ubicado en la parte fija de la prensa. Cuenta con manijas para evitar quemaduras en las manos, facilitando así la extracción de la lámina.	Molde fijo, la lámina se extrae mediante unas pinzas.	Se ubicará una prensa neumática en lbghyt65a parte inferior de la pieza fija de la prensa hidráulica para generar un

			golpe o vibración el cual nos sirve para despegar la lámina del molde.
Tablero de control	no hay tablero de control, solo 4 botones o interruptores aptos para prender la máquina, dar inicio a la prensa y resistencia, apagado de la máquina y por último un botón de pare o ponga en stop la máquina en casa de alguna emergencia.	Tablero de control digitales completo Donde nos muestra presiones, temperaturas.	Tablero de control táctiles completo donde nos muestra presiones, temperaturas, y fallas del sistema.
Tanque almacenamiento de aceite.	 Rectangular horizontal	 Rectangular vertical	 Cuadrada

**Fuente:** autor del proyecto.

Prototipo 2. (Ver ilustración 14.)

**Ilustración 14. Opción de diseño 2. Máquina por moldeo de compresión.**



**Fuente:** autor del proyecto.




La ilustración 14 coincide al diseño 2 de solución de la máquina de moldeo por compresión, que a diferencia del diseño 1 de solución contiene un sistema de prensa hidráulica con mecanismo de cuatro columnas y tanque rectangular vertical de almacenamiento de aceite principal para la compresión de los pellets ubicados en un depósito cubico en la parte superior de la jaula metálica el cual mediante un tubo se comunica con el molde fijo de la prensa, la prensa cuenta con una parte móvil metálica compuesta de un sistema interno de resistencias eléctricas tubulares encargadas de suministrar calor mediante energía para la fundición de los pellets y una parte fija en la parte inferior la cual contiene el molde extraíble de la lámina; cuenta con un sistema de control que se opera en una pantalla digital la cual nos muestra las presiones y temperaturas requeridas para la compresión, fundición y enfriamiento de la máquina botones o interruptores encargados de dar movimiento a la máquina, además de esto cuenta con sensores de presión o Transductores OEM, termopares para el control de temperaturas, su estructura de jaula escalonada de material de acero y láminas de aluminio permite un dimensionamiento óptimo para dar orden a las componentes de la máquina. Cuenta con un sistema de seguridad, con dos botones adicionales ubicados, uno al lado del tablero de control y el segundo en un costado lateral de la máquina, dando prioridad a la salud física del operario, manteniendo así la eficiencia de la máquina en caso de una falla mecánica u operaria. Su mantenimiento fácil permite una producción eficiente.




Diseño 3:

Para el diseño 3, se plantearon las siguientes soluciones optimas con el fin de cumplir los objetivos de la máquina. Ver tabla 10.

**Tabla 11. Diagrama de soluciones para el diseño 3.**

SOLUCIONES / FUNCIONES	1	2	3
Depósito para los pellets o PET reciclado triturado	 <p>Deposito cónico</p>	 <p>Depósito cúbico</p>	 <p>Depósito cilíndrico</p>
Sistema de calentamiento para altas temperaturas óptimas para la fundición de los pellets	 <p>Resistencias eléctricas tubulares.</p>	 <p>Resistencias eléctricas planas.</p>	 <p>Sistema de calentamiento mediante gas.</p>
Sistema de prensado para altas presiones.	 <p>Sistema prensa hidráulica manual.</p>	 <p>Sistema de prensa hidráulica con mecanismo de cuatro columnas.</p>	 <p>Sistema de prensa hidráulica tradicional con un cilindro de presión.</p>

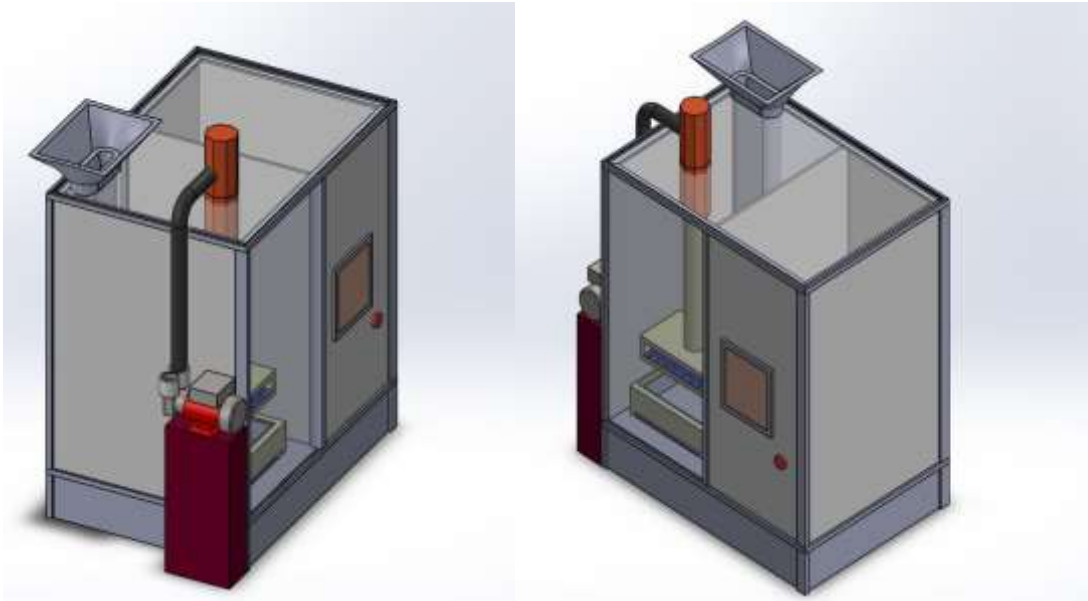
Posicionamiento de Botón de seguridad	Sistema con un botón ubicado en la parte inferior de la máquina a 60 cm del piso.	Sistema con dos botones de seguridad ubicados uno la parte Lateral a 60 cm de distancia al piso y el otro en la parte superior de la máquina.	Sistema con pedal de seguridad.
Sistemas electrónicos de seguridad de temperaturas.	Detector de temperatura de resistencia RTD	Sensores Termopares	Termistor de coeficiente de temperatura negativo
Medidores de presión	Manómetros.	Sensor de presión hidráulico RS PRO, M2	Sensor de presión hidráulico WIKA 12719341
Forma estructural de la máquina	VERTICAL 	HORIZONTAL 	ESCALONADA 
Lámina polimérica de PET reciclado	Molde extraíble ubicado en la parte fija de la prensa. Cuenta con manijas para evitar quemaduras en las manos, facilitando así la extracción de la lámina.	Molde fijo, la lámina se extrae mediante unas pinzas.	Se ubicará una prensa neumática en la parte inferior de la pieza fija de la prensa hidráulica para generar un golpe o vibración el cual nos sirve para despegar la lámina del molde.
Tablero de control	no hay tablero de control, solo 4 botones o interruptores aptos para prender la	Tablero de control digitales completo Donde nos muestra presiones, temperaturas.	Tablero de control táctiles completo donde nos muestra presiones,

	máquina, dar inicio a la prensa y resistencia, apagado de la máquina y por último un botón de pare o ponga en stop la máquina en casa de alguna emergencia.		temperaturas, y fallas del sistema.
Tanque almacenamiento de aceite.	 Rectangular horizontal	 Rectangular vertical	 Cuadrada

**Fuente:** autor del proyecto.

Prototipo 3. (Ver ilustración 15.)

**Ilustración 15. Opción de diseño de solución 3. Máquina por moldeo de compresión.**



**Fuente:** autor del proyecto.

El diseño 3 de solución de la máquina de moldeo por compresión coincide a la ilustración 15, a diferencia de los diseño 1 y 2 de solución, su sistema principal para la compresión de los pellets se compone de una prensa hidráulica con mecanismo de un cilindro de presión y tanque de almacenamiento de aceite rectangular vertical, cuenta con un depósito cónico para pellets ubicado en la parte superior de la estructura de la jaula el cual se conecta con la parte fija y el molde de la lámina mediante un tubo, la prensa cuenta con una parte móvil metálica compuesta de un sistema interno de resistencias eléctricas tubulares encargadas de suministrar calor mediante energía para la fundición de los pellets y una parte fija en la parte inferior la cual contiene el molde extraíble de la lámina; cuenta con un sistema de control o tablero de control que se opera mediante una pantalla digital facilitando la operabilidad de la máquina de una manera sencilla, otra función de la pantalla digital es mostrar las presiones y temperaturas requeridas para la compresión y fundición de la máquina, además cuenta con sensores de presión o Transductores OEM, Detector de temperatura de resistencia RTD para el control de temperaturas, su forma estructural de jaula vertical de material de acero y láminas de aluminio permite un dimensionamiento óptimo para dar orden a las componentes de la máquina. Cuenta con un sistema de seguridad con dos botones adicionales ubicado uno al lado del tablero de control y el segundo en un costado lateral de la máquina, dando prioridad a la salud física del operario, manteniendo así la eficiencia de la máquina

en caso de una falla mecánica u operaria, es un diseño moderno, eficiente y su mantenimiento sencillo que favorece la producción de láminas poliméricas de PET reciclado.

### 9.3 Análisis y evaluación según factores de diseño

Planteados los 3 diseños de solución, el siguiente paso para obtener el diseño final de la máquina de moldeo por compresión para la realización de la laminas poliméricas a partir de PET reciclado, cada diseño de solución se analiza y evalúa a partir de los siguientes factores de diseño:

- Seguridad: factor de seguridad de mayor importancia, ya que se busca diseñar una máquina de fácil operación y segura para la salud física del operario ya que priorizamos a el ser humano, creando así un manual sencillo de los cuidados que debe tener el operario para aumentar la protección de él; priorizando siempre la calidad de la lámina de PET reciclado.
- Técnico: factor indispensable para la máquina ya que determina su mantenimiento sencillo favoreciendo la vida útil y los requerimientos óptimos para la manipulación y transformación del PET reciclado, recordando siempre que el diseño debe ser de una máquina capaz de soportar largas horas de trabajo; priorizando siempre la calidad de la lámina de PET reciclado.
- Confiable: sus componentes deben ser capaces de soportar altas temperaturas, bajas temperaturas, altas presiones, bajas presiones, y largas horas de trabajo, priorizando siempre la calidad de la lámina de PET reciclado.
- Costos: se busca diseñar una máquina eficiente mas no lujosa, pero con calidad y durabilidad de sus componentes a un bajo costo, ya que será de uso académico y de largas horas de trabajo.
- Estética: se debe tener en cuenta una apariencia gustosa y una ergonomía óptima para el operador, con esto a miras de un buen uso y a la fabricación industrial de la máquina.

Evaluación de las variables de los factores de diseño, de 1 a 5 donde 1 es de menor importancia y 5 de mayor importancia; dando énfasis a la óptima elección del diseño final de la máquina de moldeo por compresión, en la Tabla 11 se evidencia el criterio de evaluación.

**Tabla 12. Evaluación de variables de los factores de diseño.**

FACTORES	VARIABLES	PUNTUACIÓN
SEGURIDAD	Muy seguro	5
	Seguro	4
	Confiable	3
	Poco confiable	2
	Inseguro	1
TÉCNICO	Mantenimiento muy rápido-sencillo	5
	Mantenimiento rápido-sencillo	4
	Mantenimiento demorado-pero sencillo	3
	Mantenimiento complejo	2
	Mantenimiento Muy complejo	1
CONFIABLE	Exageradas presiones de aceite y temperaturas	5
	Altas presiones de aceite y temperaturas	4
	Presiones de aceite y temperaturas estables	3
	Bajas presiones de aceite y temperaturas	2
	Muy bajas presiones de aceite y temperaturas	1
COSTOS	Económico	5
	Muy económico	4
	Costoso	3
	Muy costoso	2
	Partes y componentes de segunda	1
ESTÉTICO	Muy atractivo visualmente	5
	Atractivo visualmente	4
	Estético	3
	Sencillo visualmente	2
	No atractivo visualmente	1

**Fuente:** autor del proyecto.

Terminado de evaluarse las variables de los factores, se procede al análisis y evaluación de cada diseño de solución, teniendo en cuenta que cada factor tiene un porcentaje según su importancia, basándonos en el mismo criterio numérico de evaluación de 1 a 5, donde 1 es de menor importancia y 5 de mayor importancia. En la siguiente tabla 12 se evidencia la evaluación de los diseños, donde se seleccionará el diseño que obtenga mayor puntuación de evaluación, para así obtener el diseño final de la máquina de moldeo por compresión para la realización de láminas poliméricas de PET reciclado.

**Tabla 13. Análisis y evaluación de los diseños de solución a partir de los factores de diseño.**

		DISEÑO 1		DISEÑO 2		DISEÑO 3	
FACTORES DE DISEÑO	PORCENTAJE	CALIFICACION	PUNTUACION	CALIFICACION	PUNTUACION	CALIFICACION	PUNTUACION
Seguridad	35%	3	105	4	140	5	175
Técnico	30%	3	90	4	120	5	150
Confiabilidad	15%	3	45	4	60	4	60
Costos	10%	5	50	2	20	4	40
Estético	10%	4	40	4	40	4	40
<b>TOTAL</b>			<b>330</b>		<b>380</b>		<b>465</b>

**Fuente:** autor del proyecto.

Terminado el análisis y evaluación de los diseños de solución, se determinó la elección del diseño de solución número 3; debido al alto cumplimiento de factores de diseño obteniendo la puntuación más alta con 465, otorgando una elevada seguridad para el operario como para la máquina, un mantenimiento muy rápido-sencillo que facilita mayor producción de láminas PET reciclado, confiable para presiones altas de aceite y altas temperaturas, su bajo costo para la fabricación y buena estética genera grandes expectativas para una mayor producción a escala industrial como comercial ayudando primordialmente al medio ambiente por la reutilización de PET y al avance de la industria. La máquina cuenta con una infraestructura metálica vertical y un depósito cónico para pellets, un sistema hidráulico de un cilindro de presión para altas presiones de aceites, junto con un sistema de resistencias tubulares eléctricas encargadas del suministro de calor ubicadas dentro de la parte móvil de la prensa, su sistema de refrigeración de circuitos de tubos ubicados en la parte fija de la prensa donde está el molde extraíble, facilita una rápida curación de la lámina polimérica de PET reciclado, sus sistemas de sensores RTD de temperaturas y manómetros de presión son los causantes de una alta seguridad de la máquina, además su sofisticado tablero de control facilita una mayor brevedad de operación para el operario; a parte contiene 2 botones de seguridad ubicados uno en la parte frontal y otro en la parte lateral derecha de la máquina a 60 cm del piso; cumpliendo así con los factores de diseño es una máquina segura, técnica, confiable, económica y estética.

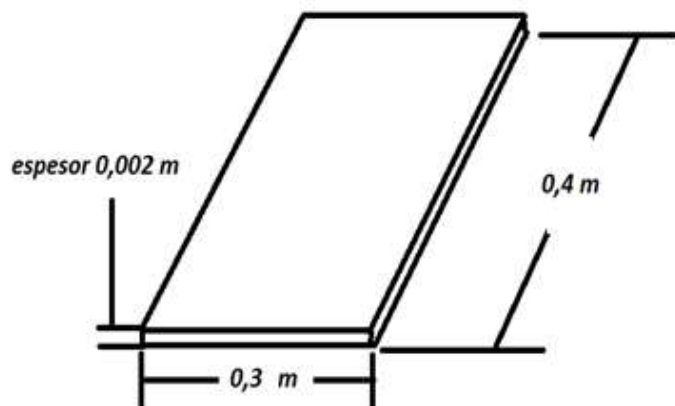
## 10. CÁLCULOS Y DISEÑO FINAL DE LA MÁQUINA DE MOLDEO POR COMPRESIÓN PARA ELABORACIÓN DE LÁMINAS POLIMÉRICAS A PARTIR DE PET RECICLADO.

A continuación, se realizará el diseño a detalle de la máquina de moldeo por compresión basados en cálculos de diseño de máquinas ya fabricadas en la industria, donde se elaborarán láminas poliméricas a partir de PET reciclado, con medidas de 40cm X 30cm X 2mm, aclarando que es una réplica a pequeña escala de una máquina industrial para uso académico del laboratorio de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

### 10.1 Cálculos del sistema térmico

Para seleccionar la resistencia tubular eléctrica, primero se debe calcular la energía requerida para poder derretir los pellets.

Lamina polimérica 40cm X 30 cm X 2 mm



Las temperaturas utilizadas en los cálculos son obtenidas de la tabla de requerimientos de la máquina.

Temperatura final: 300 °C  
→ 573,15 K

Temperatura ambiente de Bucaramanga (inicial): 23 °C → 296,15 K

Densidad del PET  $\rho = 1380 \text{ Kg/m}^3$

Tiempo de calentamiento: 5,5min → 330 segundos

Calor específico del PET( $\varphi$ ): 1350 J/Kg\*°K

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

$$\text{masa}_{\text{lámina}} = (\text{volumen}_{\text{lámina}})X(\rho)$$

$$\text{volumen}_{\text{lámina}} = 0,002mX0,4mX0,3m = 0,00024 m^3$$

$$\text{masa}_{\text{lámina}} = 0,00024m^3 X 1380 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\text{masa}_{\text{lámina}} = 0,3312 Kg$$

$$q = \frac{(\text{masa}_{\text{lámina}})(\varphi)(TempF - TempI)}{\text{Tiempo}}$$

$$q = \frac{(0,3312)(1350)(573,15 - 296,15)}{330 \text{ seg}}$$

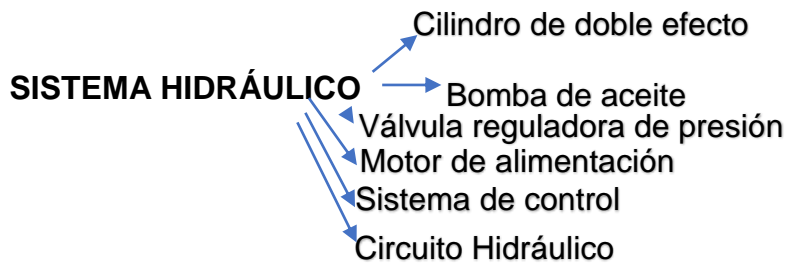
$$q = 375,31 [W]$$

Calculado la energía requerida, se procede a seleccionar una resistencia tubular eléctrica que genere 375.31 vatios o watts. Se aprobará la resistencia tubular eléctrica dependiendo sus costos entre más económica sea, será más seleccionable.

## 10.2 Cálculos sistema hidráulico

Recalcando que la máquina tendrá un tamaño a escala pequeña de una máquina industrial debido a su uso académico y basándonos en máquinas ya establecidas industrialmente se procede a diseñar el sistema hidráulico requerido para generar presiones de 2000 psi.

El sistema hidráulico que se diseñará será de una prensa hidráulica con un cilindro de doble efecto de presión se diseñó el siguiente mecanismo hidráulico:



- Cilindro de doble efecto: encargado de dar movimientos a la máquina.
- Bomba de aceite: su función es convertir la energía mecánica recibida del motor eléctrico en energía hidráulica.
- Válvula reguladora de presión: se encarga de regular la fuerza y velocidad de los movimientos de la máquina
- Motor: su función es alimentar el circuito hidráulico suministrando energía mecánica.
- Sistema de control: encargado del movimiento automatizado de la máquina.
- Circuito hidráulico: muestra el movimiento simplificado de la máquina.

Todos los cálculos se basaron en el catálogo de fabricación de la empresa PARKER especialista en fabricación y comercialización de partes y sistemas hidráulicos[20]<sup>58</sup>.

---

<sup>58</sup> PARKER STORE. Catalog HY08-1117-1/NA. Series MH. Heavy Duty Mill Hydraulic Cylinder [en línea]. Illinois, USA. Mayo, 2008. 52 p. [Consultado: 4 de Febrero de 2021]. Disponible en: [https://www.parker.com/literature/Industrial%20Cylinder/cylinder/cat/english/HY08-1117-1\\_NA.pdf](https://www.parker.com/literature/Industrial%20Cylinder/cylinder/cat/english/HY08-1117-1_NA.pdf)

## I. Cilindro de doble efecto

Para el cálculo del cilindro Hidráulico se tuvieron en cuenta las especificaciones de diseño basadas en máquinas fabricadas industrialmente, el catálogo HY08-1117-1/NA PARKER y los requerimientos de la máquina de moldeo por compresión. [



- Presión Nominal de 2000 PSI o  $\left[\frac{Lbf}{in^2}\right]$  cilindro hidráulico Heavy Duty Mill serie MH.

PASO A PASO PARA CALCULAR EL DIAMETRO (D) DEL CILINDRO HIDRAULICO, SU VÁSTAGO [d], Y LA FUERZA REQUERIDA.

1. se seleccionó el catálogo HY08-1117-1/NA PARKER donde se elige el cilindro hidráulico Heavy Duty Mill serie MH, aplicando criterios de diseño y requerimientos de la máquina se selecciona con un diámetro de  $3\frac{1}{4}$  [in] y un vástago de diámetro de  $1\frac{3}{8}$  [in][20]<sup>59</sup>.

---

<sup>59</sup> Ibíd.

**Ilustración 16. Dimensiones de diferentes tipos de diámetros y montajes para un cilindro hidráulico Heavy Duty Mill serie MH.**

BORE	TN	TS	US	Add Stroke				MIN STROKE
				LB	P	SN	SS	
1 1/2	3/4	3 3/4	4	4 3/8	2 7/8	2 7/8	3 3/8	1.63
2	1 1/16	4	5	4 5/8	2 7/8	2 7/8	3 3/8	1.63
2 1/2	1 5/16	4 7/8	6 1/4	4 3/4	3	3	3 3/8	1.50
3 1/4	1 1/2	5 7/8	7 1/4	5 1/2	3 1/2	3 1/2	4 1/8	1.75
4	2 1/16	6 1/4	8 1/2	5 3/4	3 3/4	3 3/4	4	1.50
5	2 15/16	8 1/4	10	6 1/4	4 1/4	4 1/4	4 1/2	1.50
6	3 1/16	9 1/4	12	7 1/8	4 7/8	5 1/8	5 1/8	2.38
7	3 3/4	11 1/4	14	8 1/2	5 1/2	5 1/2	5 3/4	3.25
8	4 1/4	12 1/4	15	9 1/2	6 1/4	6 1/4	6 3/4	4.75

**Dimensions Affected by Rod Size**

BORE	Rod No.	MM Rod Size	Thread		A	B	RD	C	D	RT	V	KB	WF	XS	XT	Y	Add Stroke
			Style 4 & 9	Style 8													ZB
			KK	CC													
1 1/2	1*	3/8	7/16 - 20	1/2 - 20	3/4	1.124	1 11/16	3/8	1/2	3/8	1/4	3/16	1	1 3/8	1 5/8	2	6 1/8
	2	1	3/4 - 16	7/8 - 14	1 1/8	1.499	2 3/8	1/2	7/8	3/8	1/2	3/16	1 3/8	1 3/4	2 3/8	2 3/8	6 1/2
2	1*	1	3/4 - 16	7/8 - 14	1 1/8	1.499	2 3/8	1/2	7/8	3/8	1/2	3/16	1 3/8	1 3/4	2 3/8	2 3/8	6 1/8
	2	1 3/8	1 - 14	1 1/4 - 12	1 3/8	1.999	2 7/8	3/4	1 1/8	3/8	3/8	3/16	1 5/8	2 1/8	2 3/8	2 3/8	6 7/8
2 1/2	1*	1	3/4 - 16	7/8 - 14	1 1/8	1.499	2 3/8	1/2	7/8	3/8	1/2	3/16	1 3/8	2 1/8	2 3/8	2 3/8	6 3/4
	3	1 3/8	1 - 14	1 1/4 - 12	1 3/8	1.999	2 7/8	3/4	1 1/8	3/8	3/8	3/16	1 5/8	2 1/8	2 3/8	2 3/8	7
3 1/4	1*	1 1/8	1 - 14	1 1/4 - 12	1 3/8	1.999	2 7/8	3/4	1 1/8	3/8	3/8	3/16	1 5/8	2 1/8	2 3/8	2 3/8	7 1/8
	3	1 3/4	1 1/4 - 12	1 1/2 - 12	2	2.374	3 1/2	3/4	1 1/2	3/8	1/2	3/16	1 3/4	2 3/8	2 3/8	2 3/8	7 1/4
4	1*	1 3/8	1 - 14	1 1/4 - 12	1 3/8	1.999	2 7/8	3/4	1 1/8	3/8	3/8	3/16	1 5/8	2 1/8	2 3/8	2 3/8	7 1/8
	2	2	1 1/2 - 12	1 3/4 - 12	2 1/4	2.624	3 3/4	7/8	1 11/16	3/8	1/2	1/4	2	2 11/16	2 3/8	3 1/8	8 1/4
4	1*	1 3/8	1 - 14	1 1/4 - 12	1 3/8	1.999	2 7/8	3/4	1 1/8	3/8	3/8	3/16	1 5/8	2 1/8	2 3/8	2 3/8	7 1/8
	3	2	1 1/2 - 12	1 3/4 - 12	2 1/4	2.624	3 3/4	7/8	1 11/16	3/8	1/2	1/4	2	2 11/16	2 3/8	3 1/8	8 1/4

Fuente: Catálogo HY08-1117-1/NA PARKER[20]<sup>60</sup>.

- Obteniendo el diámetro del cilindro hidráulico se obtiene el área y por ende se procede a calcular la fuerza requerida por el cilindro hidráulico.

$$\phi = 3 \frac{1}{4} [in]$$

$$\text{Área cilindro} = \left( \frac{\pi * (\phi^2)}{4} \right)$$

$$\text{Área cilindro} = 8,295 [in^2]$$

$$\text{Presión} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Área cilindro}}$$

<sup>60</sup> Ibíd., p. 7.

$$2000 \left[ \frac{Lbf}{in^2} \right] = \frac{Fuerza}{8,295 [in^2]}$$

$$Fuerza = \left( 2000 \left[ \frac{Lbf}{in^2} \right] \right) * (8,295 [in^2])$$

$$Fuerza = 16590 [Lbf]$$

## II. Bomba hidráulica:

Se basó en la teoría de máquinas hidráulicas para seleccionar la bomba hidráulica óptima para que el sistema genere 2000 [PSI], a continuación, se procederá a realizar el calculo para hallar el caudal requerido para el sistema hidráulico

$$Caudal = \frac{volumen}{tiempo}$$

$$volumen = (\text{Área cilindro}) * (\text{carrera del cilindro})$$

**Ilustración 16. Dimensiones de diferentes tipos de diámetros y montajes para un cilindro hidráulico Heavy Duty Mill serie MH.**

BORE	TN	TS	US	Add Stroke				MIN STROKE
				LB	P	SN	SS	
1 1/2	3/4	3 1/4	4	4 1/8	2 7/8	2 7/8	3 3/8	1.63
2	1 5/16	4	5	4 5/8	2 7/8	2 7/8	3 5/8	1.63
2 1/2	1 7/16	4 7/8	6 1/4	4 3/4	3	3	3 7/8	1.50
3 1/4	1 1/2	5 7/8	7 1/4	5 1/2	3 1/2	3 1/2	4 1/8	1.75
4	2 1/16	6 3/4	8 1/2	5 3/4	3 3/4	3 3/4	4	1.50
5	2 15/16	8 1/4	10	6 1/4	4 1/4	4 1/4	4 1/2	1.50
6	3 3/16	9 3/4	12	7 3/8	4 7/8	5 1/8	5 1/8	2.38
7	3 3/4	11 1/4	14	8 1/2	5 1/2	5 1/2	5 3/4	3.25
8	4 1/4	12 1/4	15	9 1/2	6 1/4	6 3/8	6 3/4	4.75

**Dimensions Affected by Rod Size**

BORE	Rod No.	MM Rod Size	Thread		A	B	RD	C	D	RT	V	KB	WF	XS	XT	Y	Add Stroke ZB
			Style 4 & 9 KK	Style 8 CC													
			1 1/2	1*													
	2	1	7/8 - 16	7/8 - 14	1 1/8	1.499	2 3/8	1/2	7/8	3/8	1/2	3/16	1 3/8	1 3/4	2 5/16	2 3/8	6 1/2
2	1*	1	3/4 - 16	7/8 - 14	1 1/8	1.499	2 3/8	1/2	7/8	3/8	3/16	3/16	1 3/8	1 3/4	2 5/16	2 3/8	6 3/8
	2	1 1/8	1 - 14	1 1/4 - 12	1 1/2	1.999	2 7/8	3/4	1 1/8	3/8	3/16	3/16	1 3/8	2 1/8	2 5/16	2 3/8	6 7/8
2 1/2	1*	1	3/4 - 16	7/8 - 14	1 1/8	1.499	2 3/8	1/2	7/8	3/8	3/16	3/16	1 3/8	2 1/8	2 5/16	2 3/8	6 3/4
	3	1 3/8	1 - 14	1 1/4 - 12	1 3/4	1.999	2 7/8	3/4	1 1/8	3/8	3/16	3/16	1 3/8	2 1/8	2 5/16	2 3/8	7
	2	1 3/4	1 1/4 - 12	1 1/2 - 12	2	2.374	3 1/8	3/4	1 1/2	3/8	3/16	3/16	1 3/8	2 1/8	2 5/16	2 3/8	7 1/4
3 1/4	1*	1 1/2	1 - 14	1 1/4 - 12	1 3/4	1.999	2 7/8	3/4	1 1/8	3/8	3/16	3/16	1 3/8	2 1/8	2 5/16	2 3/8	7 3/8
	3	1 3/4	1 1/4 - 12	1 1/2 - 12	2	2.374	3 1/8	3/4	1 1/2	3/8	3/16	3/16	1 3/8	2 1/8	2 5/16	2 3/8	8 1/8
	2	2	1 1/2 - 12	1 3/4 - 12	2 1/4	2.624	3 3/4	7/8	1 11/16	3/8	1/2	1/4	2	2 11/16	2 5/16	3 3/8	8 1/4
4	1*	1 3/4	1 1/4 - 12	1 1/2 - 12	2	2.374	3 1/8	3/4	1 1/2	3/8	3/16	3/16	1 3/8	2 1/8	2 5/16	2 3/8	8 3/8
	3	2	1 1/2 - 12	1 3/4 - 12	2 1/4	2.624	3 3/4	7/8	1 11/16	3/8	1/2	1/4	2	2 11/16	2 5/16	3 3/8	8 1/2

Fuente: Catálogo HY08-1117-1/NA PARKER[20]<sup>61</sup>.

Stroke = carrera = 1.75 medida requerida para el cálculo del volumen, a continuación, se mostrará el calculo del volumen.

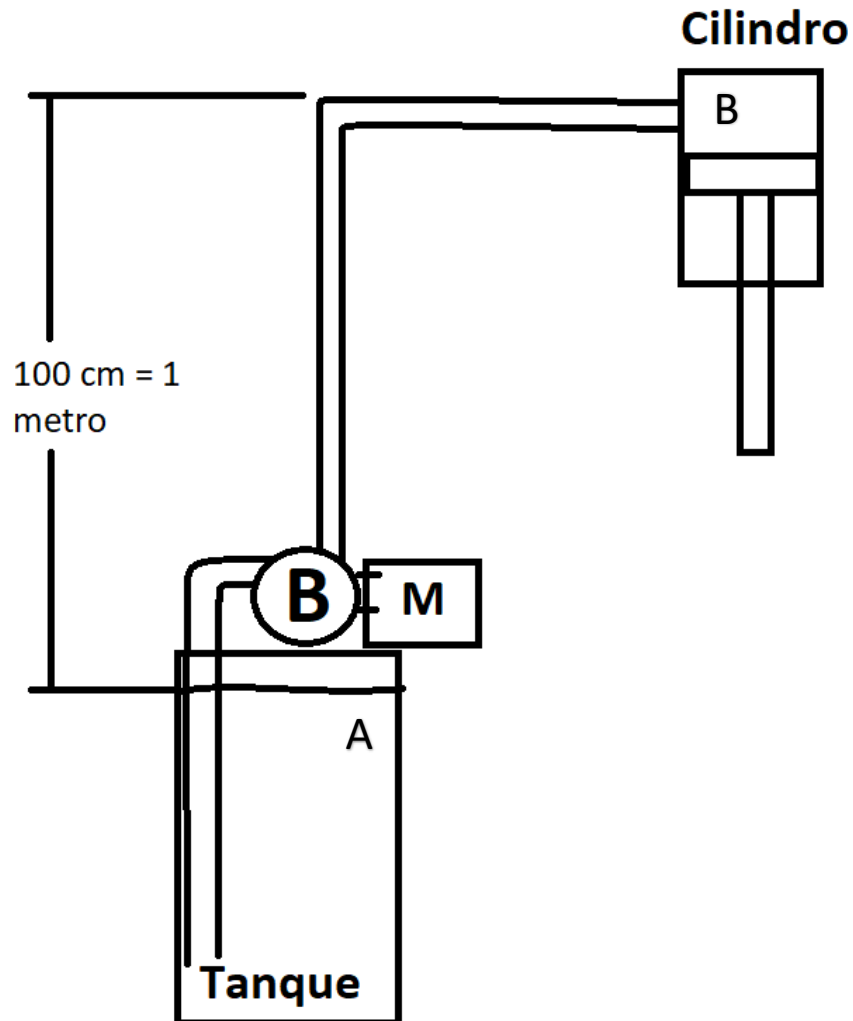
$$volumen = (8.295 [in^2]) * (1.75[in]) = 14.5163 [in^3]$$

Tiempo accionamiento del cilindro hidráulico = 6 segundos

$$Caudal = \frac{14.5163 in^3}{6 segundos} = 2.42 \left[ \frac{in^3}{segundos} \right] = 0,000039656 \left[ \frac{m^3}{segundos} \right]$$

<sup>61</sup> Ibid., p. 7.

## Balance de energía entre el tanque y el cilindro de presión



Se realiza un balance de energía basado en la teoría de máquinas hidráulicas para hallar presión que ejercerá la bomba para el sistema de la máquina de moldeo por compresión. A continuación se aprecia la formula del balance de energía y su despeje para hallar la presión requerida por la bomba.

$$\frac{PA}{\delta} + \frac{VA^2}{2g} + ZA + ha - hr - hL = \frac{PB}{\delta} + \frac{VB^2}{2g} + ZB$$

Ptanque o PA = 0

Vtanque o VA = 0, ya que el aceite en el tanque está quieto.

ZA = 0, por que el tanque es nuestro eje de referencia para el balance de energía.

Hr = 0

$$\text{Presión bomba o ha} = \frac{P_{\text{cilindro}}}{\delta} + \frac{VB^2}{2g} + ZB + hL$$

$$\delta_{\text{Agua}} = 9,81; \quad \delta_{\text{Aceite hidraulico}} = 0.9$$

$$\delta = (Sg_{\text{Aceite hidraulico}})(\delta_{\text{Agua}}) = (0.9)(9.81) = 8.829$$

**Velocidad B:**

$$Q_{\text{caudal}} = (VB) * (\text{AreaTuberia})$$

$$\text{Área tubería} = \left( \frac{\pi * (\phi^2)}{4} \right) = \left( \frac{\pi * (1/2''^2)}{4} \right) = 0,1963495 \text{ in}^2$$

$$VB = \frac{Q_{\text{caudal}}}{(\text{Areatuberia})} = \frac{2,42}{0,1963495}$$

$$VB = 12,3249 \left[ \frac{\text{in}}{\text{segundos}} \right] = 0,31305 \left[ \frac{\text{m}}{\text{segundos}} \right]$$

**ZB:** la altura donde estará ubicado el cilindro en la máquina = 1 metro = 100 cm = 39,3701 in.

**Perdidas del sistema hidráulico serán de impulsión solamente ya que la bomba esta situada a una distancia corta del tanque sin necesidad de utilizar tramo de tubería [hL]:**

Longitud de tubería 150 cm = 1,5 m = 59,0551 in

Longitud equivalente de codo 90 grados = 5 m = 196,85 in

Total, tubería recta equivalente = 6,5 m = 255,9051 in

Tubería de acero ligeramente rugosa factor de corrección = 1,25

$$\text{Perdidas del sistema hidraulico o hL} = \frac{6,5 * 1,25}{100} = 0,08125 \text{ m} = 3,19881375 \text{ in}$$

$$presion = 2000 \text{ PSI} = 13789.51 = \text{Kpa}$$

$$\text{Presión bomba o ha} = \frac{13789.51}{8,829} + \frac{0,31305^2}{2(9,81)} + 1 + 0,08125$$

$$\text{Presión bomba o ha} = 1562,929036$$

$$\text{POTENCIA HIDRAULICA} = \delta * Q_{caudal} * ha$$

$$\text{POTENCIA HIDRAULICA} = 8,829 * 0,000039656 * 1562,929036$$

$$\text{POTENCIA HIDRAULICA} = 0,54721712 \text{ [KW]} = 547,21712 \text{ [W]}$$

### III. Válvula reguladora de presión

La válvula reguladora de presión debe manejar presiones de 2000 PSI para que cumpla la función de regular cualquier aumento drástico de presión del sistema hidráulico y no genere fallas, por tal motivo se recomienda utilizar una válvula reguladora y reductora de presión TESCOM serie 54-2800 de 5000 PSI de presión, es una válvula diseñada para el uso de aplicaciones hidráulicas, con tecnología de pistón, funciona para altas presiones.

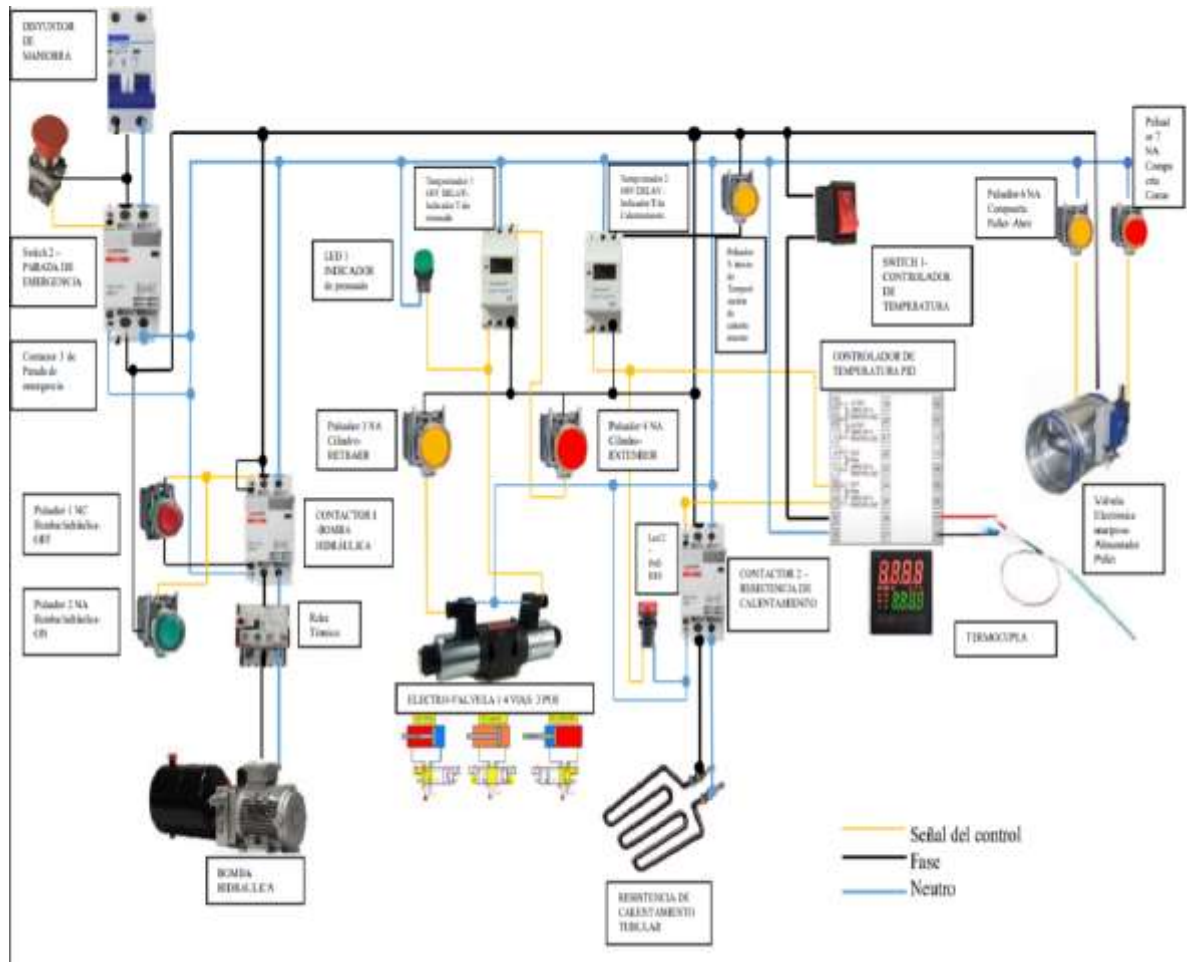
VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN TESCOM 54-2800 = regula y reduce presión, máxima presión 5.000 PSI

### IV. Sistema de control

En la ilustración 17 se muestra el circuito de control del proceso de una máquina de moldeo por compresión para la realización de láminas poliméricas, a partir de PET reciclado donde inicialmente se puede observar las protecciones eléctricas del sistema como lo es disyuntor de maniobra; el cual se encarga de energizar los

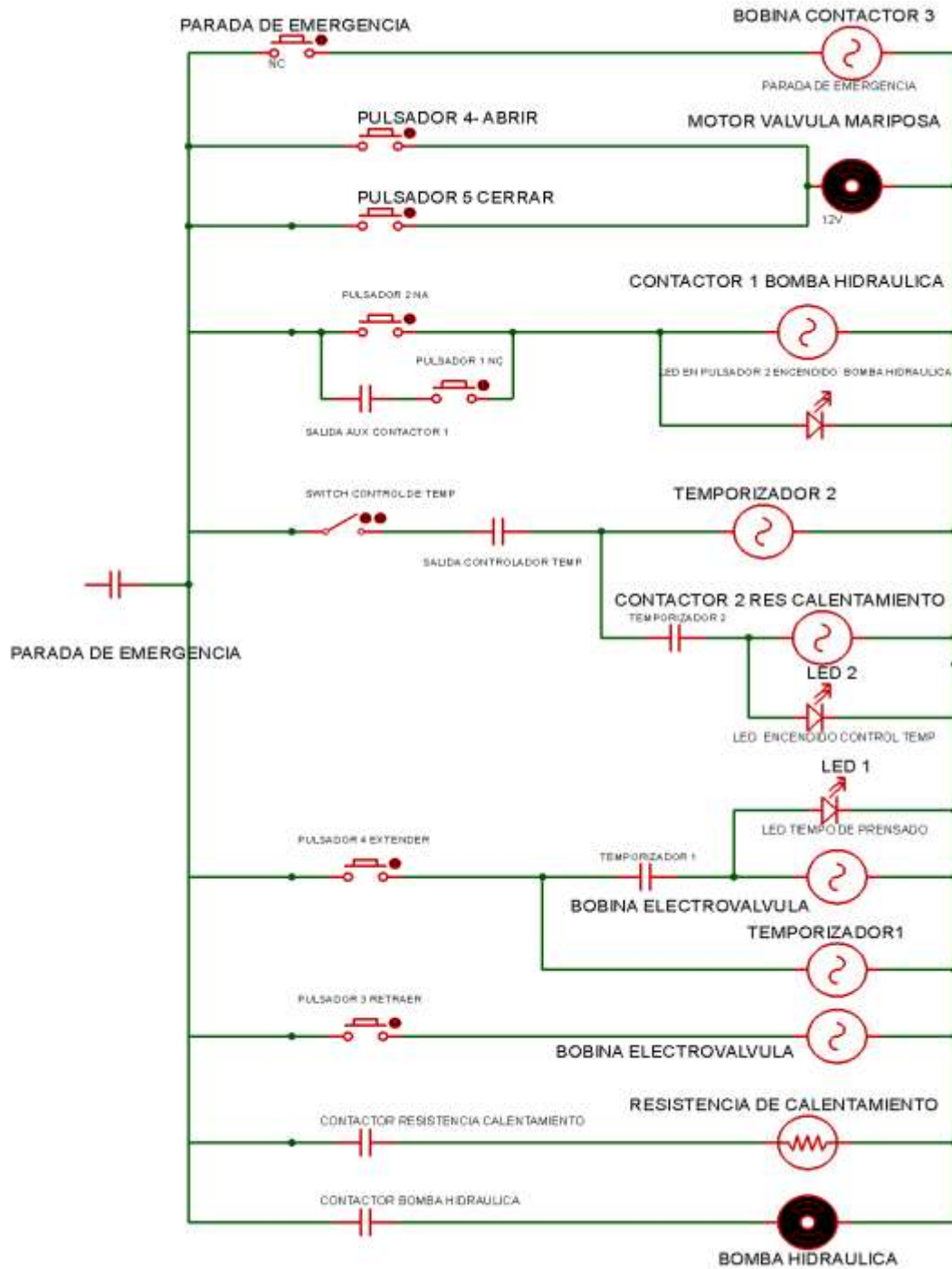
circuitos de control y potencia, Además se observa el circuito de parada de emergencia el cual desconecta todo el circuito de la red por medio de un botón en caso de una emergencia. Seguidamente para el control de vertimiento de Pellet plástico al compartimiento de prensado, se tiene una válvula electrónica tipo mariposa la cual es accionada por dos pulsadores para dicho control. También se puede observar el sistema de control térmico e hidráulico, ambos sistemas poseen temporizadores para su funcionamiento; en el control térmico una termocupla es quien mide la temperatura y envía el dato al controlador PID, este permite el control de la señal que envía el Temporizador hacia el contactor el cual energiza finalmente la resistencia de calentamiento, generando el calor necesario en el proceso durante el tiempo estipulado. El Sistema de control hidráulico ésta compuesto por una bomba la cual es activada por medio de un contactor activado a través de un pulsador, dicha bomba suministra la presión hidráulica al sistema. Otra parte del sistema de control hidráulico es la prensa, la cual consta de un cilindro hidráulico el cual es accionado por la presión ejercida en la bomba, dicha presión es controlada por una electroválvula de 4 vías 3 posiciones la cual se encarga de controlar la extensión y contracción del cilindro. En el momento que se requiere la extensión del cilindro, este cuenta con pulsador el cual activa un temporizador y mantiene una posición determinada de la electroválvula, esto permite controlar la extensión del cilindro para el prensado durante el tiempo que se requiera.

**Ilustración 17. Montaje del sistema de control de la máquina de moldeo por compresión para la elaboración de láminas poliméricas, a partir de PET reciclado.**



**Fuente:** autor del proyecto.

**Ilustración 18. Circuito eléctrico del sistema de control de la máquina de moldeo por compresión para la elaboración de láminas poliméricas, a partir de PET reciclado.**

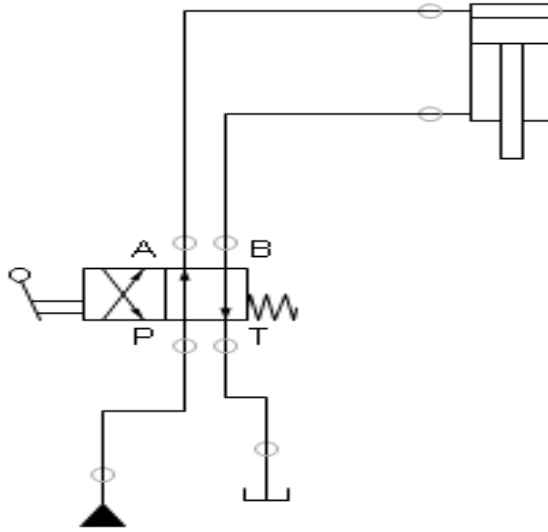


**Fuente:** autor del proyecto.

## V. Circuito hidráulico

Por medio del programa de simulación hidráulico FLUIDSIM se logra diseñar el circuito hidráulico del sistema que se podrá apreciar en la ilustración 19:

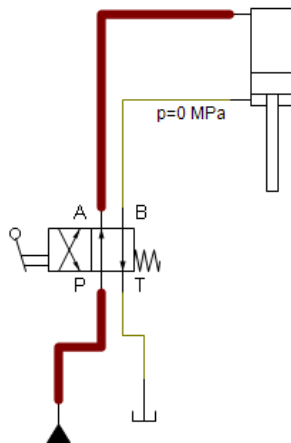
**Ilustración 19. Circuito hidráulico.**



**Fuente:** Programa de simulación FLUIDSIM.

La siguiente ilustración 20 muestra la simulación del movimiento del cilindro hidráulico:

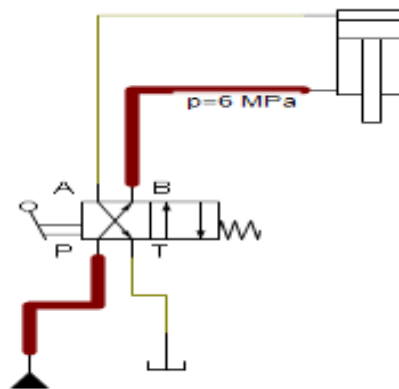
**Ilustración 20. Simulación de avance del movimiento del cilindro hidráulico.**



**Fuente:** Programa de simulación FLUIDSIM.

La ilustración 21 nos plasma el movimiento de retroceso del cilindro hidráulico:

**Ilustración 21. Simulación del movimiento de retroceso del cilindro hidráulico.**

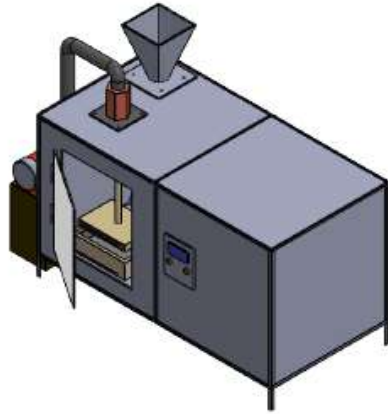


**Fuente:** Programa de simulación FLUIDSIM.

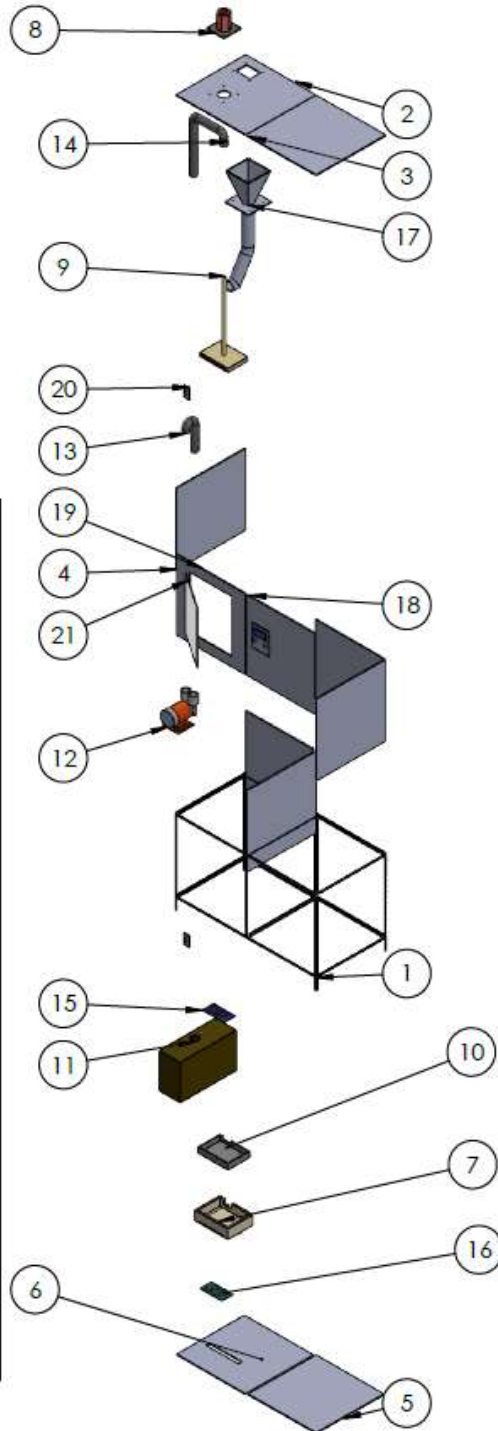
## **11. PLANOS A DETALLE DE LA SOLUCIÓN SELECCIONADA**

A continuación, se muestra los planos a detalle de solución final de la máquina, donde se evidencia todos los elementos que la componen. En los anexos [1-9] se evidencian los planos a detalle de cada uno de las componentes, piezas y elementos que conforman la máquina facilitando su fabricación y mantenimiento, se recomienda seguir tal cual los planos a detalle mostrados.

**Ilustración 22. Sección detallada de los planos con sus respectivos elementos de la solución final de la máquina de moldeo por compresión.**



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	ESTRUCTURA	1
2	PLACA TECHO PRENSA	1
3	PLACA TECHO1	1
4	PLACA LATARALES DE LA ESTRUCTURA	5
5	PLACA PISO	1
6	PLACA PISO PRENSA	1
7	PLACA FIJA	1
8	CILINDRO VASTAGO	1
9	PLACA MOVIL	1
10	COMPARTIMIENTO PARA PELLETA	1
11	TANQUE DE ACEITE	1
12	BOMBA HIDRAULICA	1
13	TUBO CONECTOR ACEITE MOTOR	1
14	TUBO CONECTOR MOTOR VASTAGO	1
15	RESISTENCIA	1
16	REFRIGERACION	1
17	TOLVA	1
18	PUERTA CONTROL	1
19	PUERTA PRENSA	1
20	BISAGRA	2
21	PUERTA PRENSA MOVIL	1



**Fuente:** autor del proyecto.

## **12. PROCESO DE FABRICACIÓN DETALLADO PARA EL ENSAMBLE DE LA MÁQUINA DE MOLDEO DE COMPRESIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE LÁMINAS POLIMERICAS, A PARTIR DE PET RECICLADO.**

El proceso de fabricación para todo producto, maquinaria o equipo está apoyado en una descripción de múltiples procedimientos representados en cajas de flujo, mostrando un paso a paso detallado de cada tarea a realizar para lograr alcanzar el ensamble deseado.

Para la máquina de moldeo de compresión para la elaboración de láminas poliméricas, a partir de PET reciclado, el diagrama de flujo se divide en nueve partes o procedimientos claves como lo son su estructura, compartimiento de molde fijo extraíble, tanque de almacenamiento de aceite de presión, molde superior móvil de la prensa hidráulica, compartimiento del sistema de control, cilindro de presión, tubería de presión hidráulica, compartimientos de almacenamiento de los pellets, bomba y elementos eléctricos y control , con sus respectivos paso a paso de las tareas a realizar mostrando un ensamble sencillo.

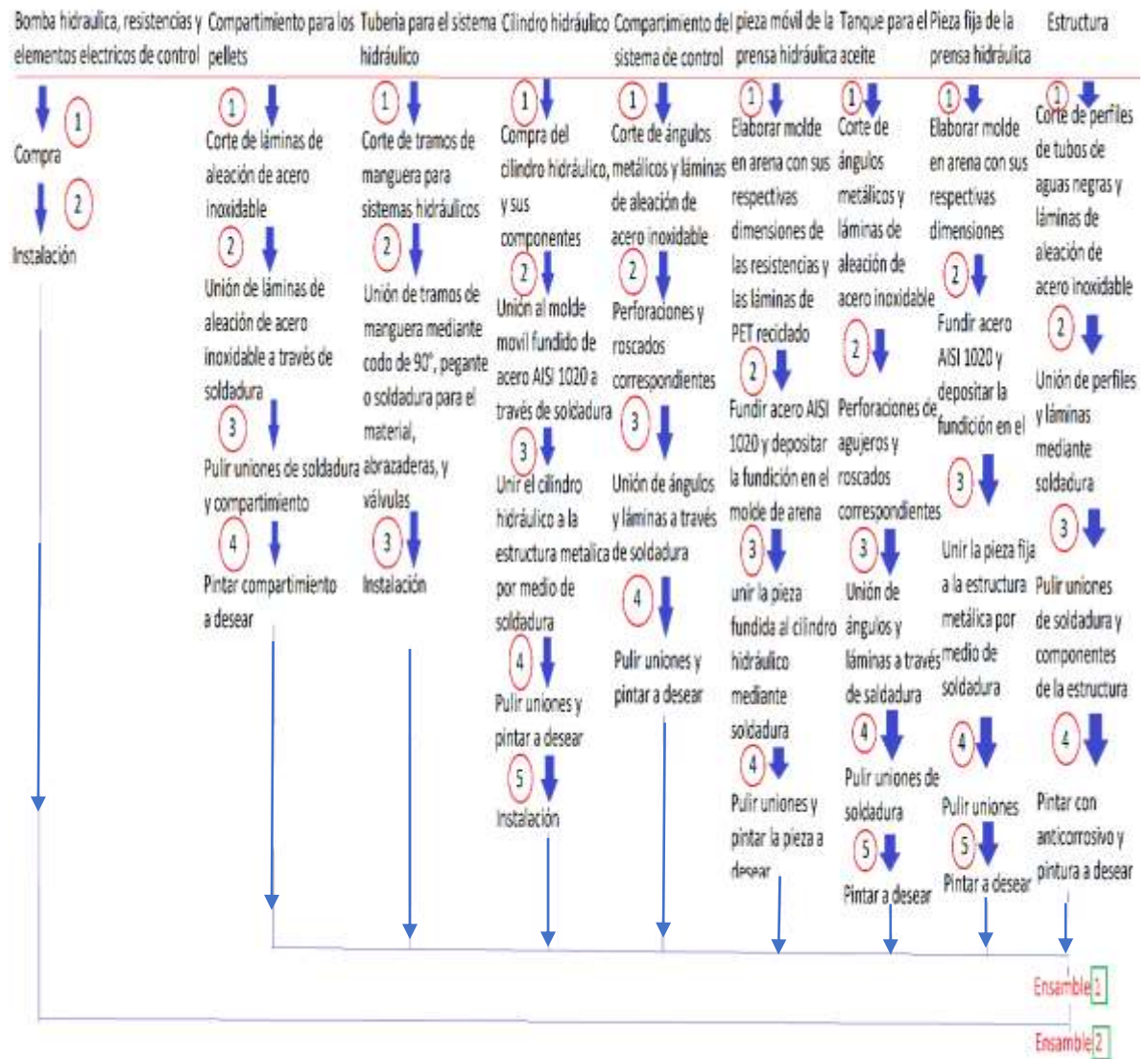
En la ilustración 23 se puede reflejar el diagrama detallado de los procedimientos paso a paso de cada tarea a realizar, mostrando un flujo de cajas sencillo y de fácil comprensión.

**Tabla 14. Materiales para el ensamble de la máquina.**

<b>MATERIALES</b>
Acero AISI 1020 para fundir y hacer piezas mediante moldes
Láminas de aleación de acero inoxidable
Tubos de aguas negras
Ángulos metálicos
Bomba-motor hidráulica
Cilindro de presión
Kilos de soldadura
Tornillos
Cables
Tablero de control
Elementos eléctricos de control
Accesorios para tubería hidráulica

**Fuente:** autor del proyecto.

**Ilustración 23. Diagrama de flujo de tareas para el ensamble de la máquina de moldeo por compresión para la elaboración de láminas poliméricas, a partir de PET reciclado.**



RESUMEN	
SIMBOLOS	TOTALES
○	36
□	2

Fuente: autor del proyecto.

## 12.1 Descripción detallada de los procedimientos paso a paso para el ensamble de la máquina de moldeo por compresión para la elaboración de láminas poliméricas, a partir de PET reciclado

### 1. Cortes de perfiles de tubos y láminas:

Todo lo relacionado con el corte de perfiles de tubos de aguas negras, láminas de aleación de acero inoxidable, ángulos metálicos se desarrollará a través del equipo o herramienta tronzadora de 14"- 35 mm- disco dentado o segmentado.

- Corte de perfiles de tubos de aguas negras: corte a 45°
- Corte de láminas de aleación de acero inoxidable: Según dimensiones correspondientes
- Corte de ángulos metálicos: Según dimensiones del tanque y compartimiento de control.

### 2. Perforaciones y roscados:

Para procedimientos de perforaciones se utilizará la herramienta llamada taladro de árbol con brocas de 1" y ½" según componente o pieza a perforar.

Los roscados se realizarán mediante de un torno industrial. Se sugiere utilizar buril de punta de tungsteno. Rosca de 1"X3/2".

### 3. Uniones:

Dependiendo el material se utilizará el tipo de soldadura; los tubos de aguas negras, piezas de fundición de acero AISI 1020, y ángulos metálicos se procederá a utilizar soldadura de electrodo 6013. Mientras que las láminas de acero inoxidable se recomienda utilizar soldadura 308.

#### 4. Pulir uniones:

Para obtener acabados, corte de perfiles y rectificaciones perfectas es necesario utilizar pulidora de 4 ½ " - 900 W y esmeril de banco de 6 " - 200 W

- Esmeril de banco 6" – 200 W: Pulir todo tipo de cortes de perfiles de tubos aguas negras y ángulos metálicos.
- Pulidora 4 ½"- 900 W:
  - Lija gruesa grano 80 para pulir uniones de soldadura.
  - Lija gruesa grano 120 para acabados perfectos.

#### 5. Pinturas:

Todo elemento, pieza de la máquina se le debe aplicar pintura anticorrosiva negro mate con el fin de proteger el metal y el acero logrando extender su vida útil, luego se debe aplicar pintura epóxica con color a desear para obtener una máquina personalizada.

### 12.2 Operaciones detalladas

#### Ensamble 1:

Lo primero que se debe realizar es el corte de perfiles de los tubos de aguas negras a 45° y láminas de aleación de acero inoxidable por medio de la tronadora y unirlos a través de soldadura, dando forma a la estructura metálica que soportará y será la base o el cuerpo de la máquina, luego de ello se debe ir fabricando pieza por pieza e ir uniéndolo a la estructura. Ya ensamblada la estructura metálica se procede a elaborar el tanque de almacenamiento de aceite a través de láminas de acero inoxidable y ángulos metálicos, unirlo a la estructura metálica mediante soldadura y tornillería, el paso siguiente es realizar el ensamble del cilindro hidráulico de presión con su parte móvil e unirlo a la estructura metálica en la parte superior, después de ensamblara el molde fundido fijo donde estará ubicado el molde extraíble de la lámina polimérica de PET reciclado, ir ensamblado parte por parte como lo sugiere el paso a paso del diagrama de flujo de tareas donde esta explicado toda tarea a realizar del ensamble. Ya ensamblado todas los compartimientos y elementos del sistema procederemos al ensamble tipo todo que es la instalación de las piezas eléctricas, sistemas de control, y equipos electromecánicos.

## Ensamble 2:

El ensamble fase 2 tiene que ver con la compra y instalación correcta de los elementos eléctricos de control, bombas hidráulicas requeridas según los cálculos previstos, resistencias eléctricas, y demás elementos de control. Luego de obtenido la compra se procede a instalar los elementos en los compartimientos de la estructura de la máquina; después de una instalación correcta terminamos con programar el controlador PID y todos los demás elementos eléctricos dejando lista la operabilidad de la máquina.

### 13. CONCLUSIONES

Se indagó de forma generalizada todo lo concurrente acerca de plásticos especialmente de los polímeros de tereftalato de polietileno, tipos, naturalezas y sus propiedades mecánicas, físicas y químicas. También se indagó de forma prolongada el uso, fabricación, materiales, funcionamiento, ensamble, mantenimiento, estudios de ingeniería de máquinas relacionadas con la producción de plásticos como lo son las máquinas de moldeo por compresión, prensas hidráulicas, extrusoras plásticas, para así tener una base sólida para el diseño de la máquina de moldeo por compresión para la elaboración de láminas poliméricas, a partir de PET reciclado.

Se identificaron cuatro parámetros fundamentales de diseño para la máquina de moldeo por compresión, los cuales son la temperatura de fusión óptima del plástico para no afectar drásticamente sus propiedades físicas-mecánicas, la presión adecuada, su fácil mantenimiento y bajo costo de fabricación. Teniendo claro nuestros parámetros y la información de investigación requerida se organizó y se filtró de forma adecuada dando como resultado un listado de requisitos claves para la elaboración del diseño conceptual de la máquina de moldeo por compresión donde se logra desarrollar tres posibles soluciones diferentes para el diseño de la máquina, seleccionando una de ellas de manera objetiva, cumpliendo siempre los factores de diseño propuestos, donde se realizó un diseño detallado de sus componentes mecánicas, estructurales, y térmicos a través de cálculos teóricos y softwares especializados para el diseño, simulación, y control.

Se desarrollo el diseño detallado de la máquina de moldeo por compresión para la elaboración de láminas poliméricas, a partir de PET reciclado mediante el software CAD SolidWorks con sus correspondientes dimensiones, planos y materiales para componente mecánica.

Se desarrollo el diseño detallado de simulación para la parte hidráulica mediante el software FluidSim para mostrar el movimiento del cilindro hidráulico de una forma simple y clara.

Se determinaron los cálculos y el análisis térmicos, hidráulico, y de control para el sistema hidráulico de la prensa encargado de generar la presión adecuada, la parte térmica para seleccionar resistencias eléctricas óptimas que generen la temperatura

para la fundición de los pellets o PET triturado, y un sistema de control óptimo para un manejo fácil de la máquina.

Se realizó todo el diseño de una máquina de moldeo por compresión de manera segura, de fácil operación y sobre todo de bajo costo pensando en una producción y fabricación de forma industrial y de fácil acceso para cualquier empresa especializada en la fabricación de láminas poliméricas.

## 14.RECOMENDACIONES

Para la fabricación de la máquina de moldeo por compresión para la elaboración de láminas poliméricas, a partir de PET reciclado, se recomienda seguir el diagrama de flujo de tareas y los planos de diseño para así lograr obtener una fabricación perfecta, todo diseño y diagrama de flujo se diseñaron de manera sencilla y clara de entender.

Todo operario o persona que tenga manipulación de la máquina debe tener conocimiento de fabricación y manipulación de ella debido a que es una máquina a escala pequeña de una industrial por tal motivo los riesgos de accidentes siempre serán altos, pensando en ello la máquina se fabricó para una fácil operación, pero se sugiere que toda persona novata en el uso y manejo de esta debe estar acompañado o guiado por un operario responsable con años de experiencia y con conocimiento de la máquina evitando así malas operaciones y accidentes laborales.

Se sugiere que todo operario que manipule la máquina debe seguir los protocolos de bioseguridad propuestos en la ficha de fabricación los cuales son guantes, gafas y demás elementos de protección personal para que el índice de accidentes y lesiones laborales sea mínimo.

Se recomienda mantenimiento preventivo de la máquina para así lograr aumentar la vida útil y productividad de la máquina.

La evolución y el progreso de toda civilización proviene de la educación, investigación científica y la práctica, la realización de todos estos proyectos de ingeniería son contundentes para la evolución educativa, científica y de investigación de la Universidad Pontificia Seccional Bucaramanga promoviendo un alto grado de educación y formación integral para jóvenes con ganas de mejorar y evolucionar la parte oriente del país colombiano, Por tal motivo recomiendo a directivos, profesores y auxiliares, a seguir invirtiendo y promoviendo la parte científica investigativa de la universidad para así lograr mejorar calidad de vida, conocimiento y cultura de jóvenes y sociedad como tal.

## 15. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN. Proyecto de formación de Recursos Humanos en tecnología de transformación de plástico en México. Informe de terminación de proyecto [en línea]. México: JICA. 2014, p. 1-219. Ap. 1. [Consultado: 13 de Octubre de 2020]. Disponible en: [https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12181988\\_01.pdf](https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12181988_01.pdf)
- [2] ÁLVAREZ SILVERA, Richard, *et al.* Análisis de la contaminación generada por las botellas de plástico en barranquilla y creación de botellas de papel como producto innovador. En: Revista cultural de la Universidad Libre de Barranquilla. 2012. Vol. 10, no. 10, p. X-XX. ISSN 1909-2881.
- [3] BELTRÁN, Mxxx, y MARCILLA, Axxx. Tema 6. Moldeado por compresión [en línea]. En: Tecnología de Polímeros. P. 169-182. [Consultado: 13 de Noviembre de 2020]. Disponible en: [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16981/1/TEMA6\\_compresion.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16981/1/TEMA6_compresion.pdf)
- [4] ELSHABINI, Aicha; BARLOW, Fred y WANG, Paul. Electronic Packaging: Semiconductor Packages. En: Reference Module in Materials Science and Materials Engineering [en línea]. ELSEVIER, 2017.[Consultado: 27 de Enero de 2021]. P. 8339-8356. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128035818020488#>
- [5] FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES. Polímeros [diapositivas]. Buenos Aires: UBA, 2015. 62 diapositivas. [Consultado: 17 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <http://materias.fi.uba.ar/7201/POLIMEROS-I.pdf>
- [6] GALLO, Daniela. Así se transforman las botellas PET para su reutilización [en línea]. En: El Tiempo. Octubre, 2019 [citado 10 de Agosto, 2020]. Disponible en internet: <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/como-es-el-proceso-de-reciclaje-y-reutilizacion-de-las-botellas-plasticas-416636>.
- [7] GARCÍA, Sergio. Referencias históricas y revolución de los plásticos. En: Revista Iberoamericana de Polímeros. Enero, 2009. Vol. 10, no. 1, p. 71-80. ISSN 0121-6651.
- [8] GÓMEZ GÓMEZ, Jimmy Joane, y GUTIÉRREZ BEDOYA, Jorge Edwin. Diseño de una extrusora para plásticos [en línea]. Tesis de Tecnólogo en Mecánica. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Escuela de tecnología mecánica, 2007. 121 p. [Consultado: 26 de Enero de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1110/668413G633d.pdf?sequence=1>

- [9] GONZÁLEZ-PROLONGO, Margarita. Propiedades químicas y físicas de polímeros. En: Elementos estructurales con materiales polímeros [en línea]. E.T.S.I.A. Universidad Politécnica de Madrid, 1997, p. 65-95. [Consultado: 25 de Noviembre de 2020]. Disponible en: [https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/9641/CC\\_32\\_art\\_3.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/9641/CC_32_art_3.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [10] GREGERSEN, Erik. Polyethylene terephthalate [sitio web]. [Consultado: 21 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://www.britannica.com/science/polyethylene-terephthalate>
- [11] JIMÉNEZ RAMOS, Antonio, *et al.* 3 Diagrams, 5 Charts, 6 Graphs [en línea]. En: Revista de Ingeniería Energética. En.-abr. 2019. Vol. 40, no. 1, p. 73-80. [Consultado: 20 de Agosto de 2020]. Disponible en: <https://web-b-ebsscohost-com.consultaremota.upb.edu.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=2b762c05-8b51-4e20-95b1-7fb626761e3b%40pdc-v-sessmgr06>
- [12] KETTERING, Charles. Biographical memoir of Leo Hendrik Baekeland. En: National Academy of Sciences of the United States of America. Biographical memoirs, 1946. Vol. XXIV, no. VIII, p. 279-302.
- [13] KURTZ, Steven. Synthesis and Processing of PEEK for Surgical Implants. En: PEEK Biomaterials Handbook [en línea]. William Andrew, 2019. [Consultado: 13 de Noviembre de 2020]. Capítulo 2, p. 9-22. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781437744637100028#!>
- [14] LLUMÁ, Diego. La riqueza de la basura [en línea]. En: Latin Trade (Spanish). En. -mzo. 2019. Vol. 27, no.1, p. 10-13. [Consultado: 12 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://web-a-ebsscohost-com.consultaremota.upb.edu.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=795e6469-00fd-4626-8285-cc9261d9f5c7%40sdc-v-sessmgr03>
- [15] LÓPEZ CASCANTE, Cintia Elizabeth, y BAJAÑA HARO, Jaime Alfredo. Diseño y construcción de un compactador de latas y envases PET [en línea]. Tesis de Ingeniero Industrial. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador. Escuela de Ingeniería Industrial, 2016. 80 p. [Consultado: 16 de Diciembre de 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13386/1/UPS-GT001750.pdf>
- [16] MARIANO. Proceso de reciclaje del PET [blog]. Tecnología de los plásticos. Blog dedicado a los materiales plásticos, características, usos, fabricación, procesos de transformación y reciclado. 30 de mayo de 2011. [Consultado: 15 de Octubre de 2020]. Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/proceso-de-reciclaje-del-pet.html>
- [17] MARTÍNEZ, Exxxx; GARCÍA FUENTES, Oxxxx y GARCÍA YANES, Axxxx. Uso de la lombricultura. Aplicación en el tratamiento de lodos de plantas depuradoras.

En: Transporte, Desarrollo y Medio Ambiente. Abr-ago. 2005. Vol. 25, no. 1, p. 17-21. [Consultado: 15 de Noviembre de 2020]. Disponible en: [https://web-a-ebsochost-](https://web-a-ebsochost-com.consultaremota.upb.edu.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=9&sid=0cfdacaf-120c-4bb3-9373-b548f17d88fd%40sessionmgr4008)

[com.consultaremota.upb.edu.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=9&sid=0cfdacaf-120c-4bb3-9373-b548f17d88fd%40sessionmgr4008](https://web-a-ebsochost-com.consultaremota.upb.edu.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=9&sid=0cfdacaf-120c-4bb3-9373-b548f17d88fd%40sessionmgr4008)

[18] MASAPANTA AYALA, Xavier Wladimir, y GAVILANES VÁSQUEZ, Esteban Sebastián. Diseño y construcción de un prototipo didáctico de máquina sopladora de plástico neumática para el laboratorio de neutrónica de la Universidad de las fuerzas armadas extensión Latacunga [en línea]. Proyecto de Ingeniería en Electromecánica. Departamento de Eléctrica y Electrónica, 2015. 10 p. [Consultado: 20 de Enero de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10132/1/AC-ESPEL-EMI-0292.pdf>

[19] NAIR, Ajalesh Balachandran, y JOSEPH, Rani. Eco-friendly bio-composites using natural rubber (NR) matrices and natural fiber reinforcements. En: Chemistry, Manufacture and Applications of Natural Rubber [en línea]. Woodhead Publishing, 2014. [Consultado: 15 de Noviembre de 2020]. Capítulo 9, p. 249-283. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857096838500094#!>

[20] PARKER STORE. Catalog HY08-1117-1/NA. Series MH. Heavy Duty Mill Hydraulic Cylinder [en línea]. Illinois, USA. Mayo, 2008. 52 p. [Consultado: 4 de Febrero de 2021]. Disponible en: [https://www.parker.com/literature/Industrial%20Cylinder/cylinder/cat/english/HY08-1117-1\\_NA.pdf](https://www.parker.com/literature/Industrial%20Cylinder/cylinder/cat/english/HY08-1117-1_NA.pdf)

[21] PELÁEZ ROMERO, Guillermo. Selección y procesos de degradación de materiales en instalaciones de tratamiento y conducción de agua [en línea]. eREADING. Sevilla. [Consultado: 17 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4102/fichero/2.+MATERIALES+POLIM%C3%89RICOS.pdf>

[22] PLASTICBAGES INDUSTRIAL, S.L. Fabricación y comercialización de plásticos técnicos. Polietileno [sitio web]. Sant Salvador de Guardiola. [Consultado: 3 de Febrero de 2021]. Disponible en: <http://www.plasticbages.com/caracteristicaspolietileno.html>

[23] PLASTICS EUROPE. Tipos de plásticos [sitio web]. [Consultado: 17 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics/large-family>

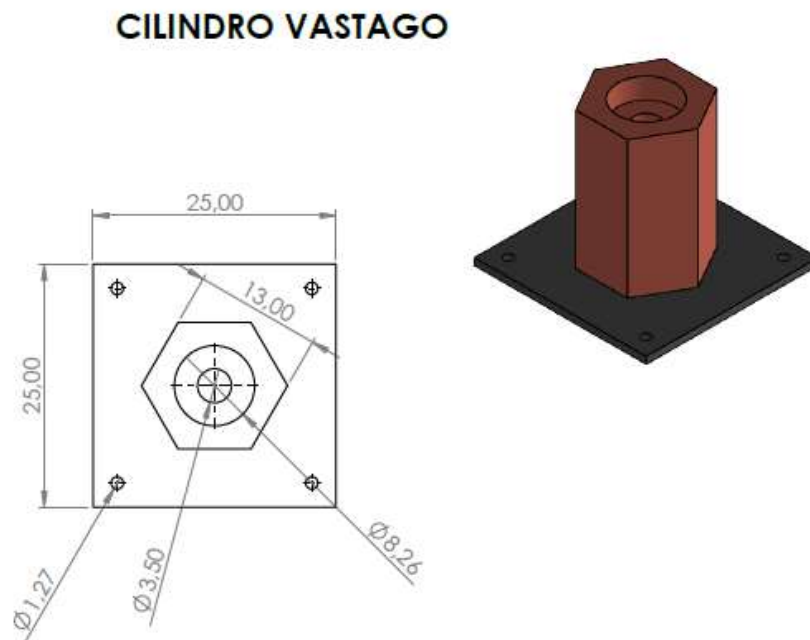
[24] SAPUAN, Salit Mohd, *et al.* Natural Fiber-Reinforced Composites: Types, Deveploment, Manufacturing Process, and Measurement. En: Comprehensive Materials Finishing [en línea]. ELSEVIER, 2017. [Consultado: 30 de Enero de 2021]. Capítulo 1.8, p. 203-230. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128035818091839#!>

[25] SHEKHAR THAKUR, Chandra. Compression molding [diapositivas]. Wordpress. Indian Institute Of Technology Delhi, 2008, 15 diapositivas. [Consultado 15 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://gctbooks.files.wordpress.com/2015/05/compression-moulding.pdf>

[26] THE EDITORS OF THE ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. Polymers [sitio web]. [Consultado: 22 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.britannica.com/science/polymer>.

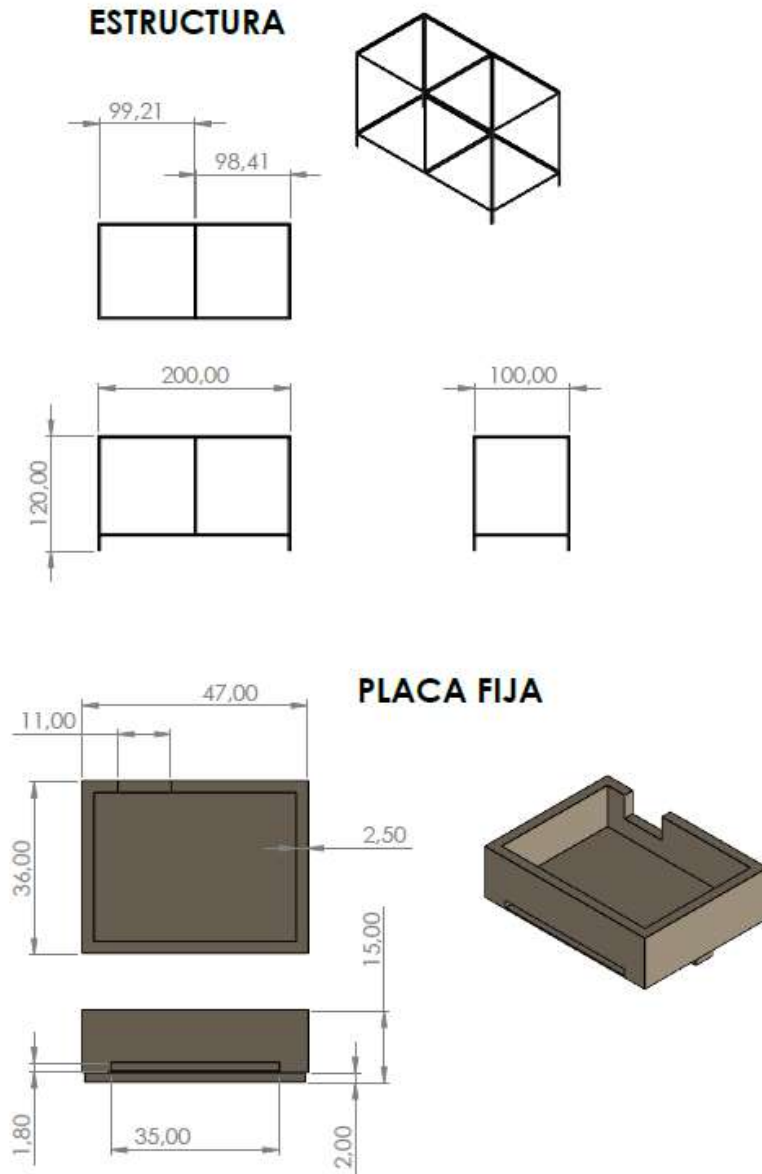
## ANEXOS

### Anexo 1. Planos a detalle de la bomba hidráulica y el cilindro vástago.



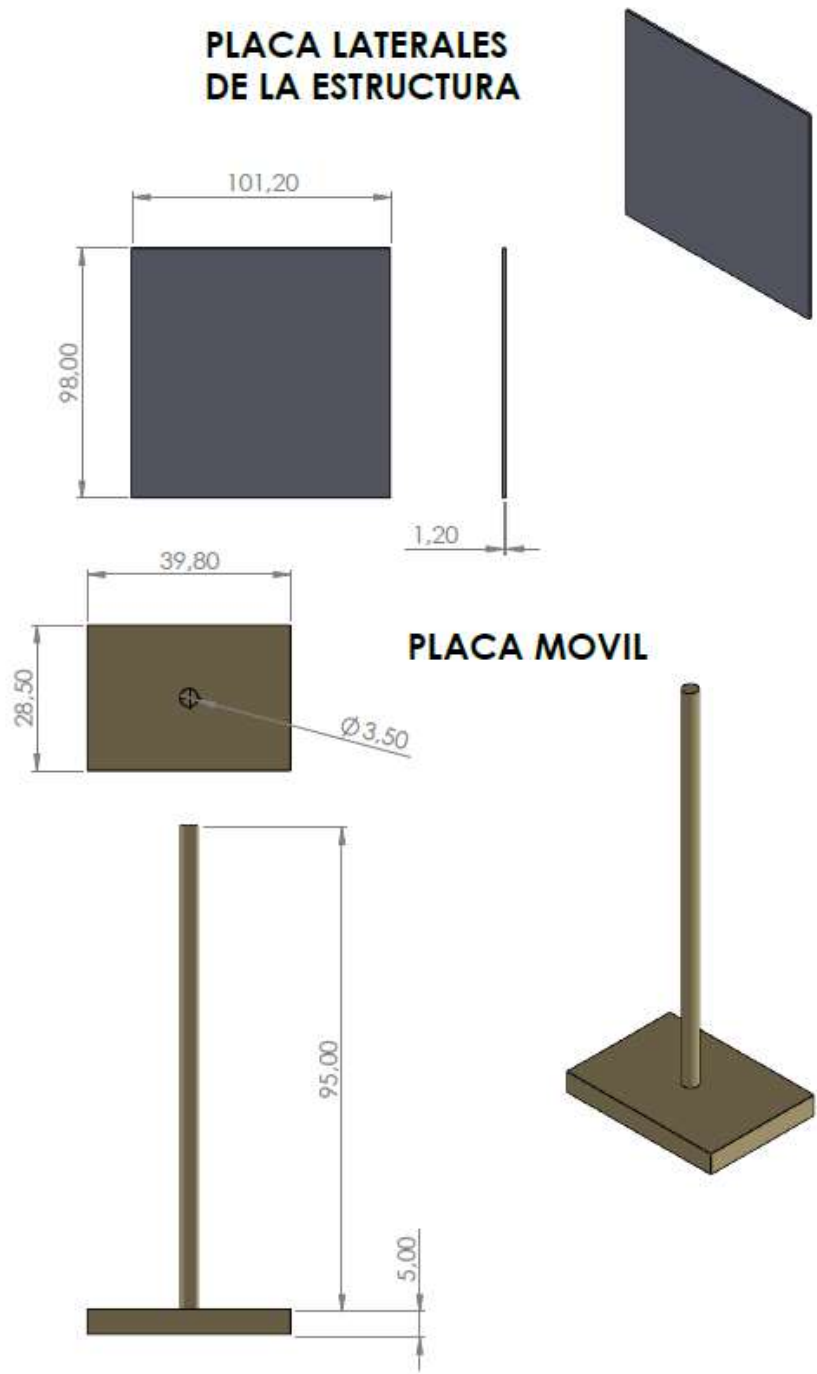
**Fuente:** autor del proyecto.

## Anexo 2. Planos a detalle de la estructura y la placa fija.



Fuente: autor del proyecto.

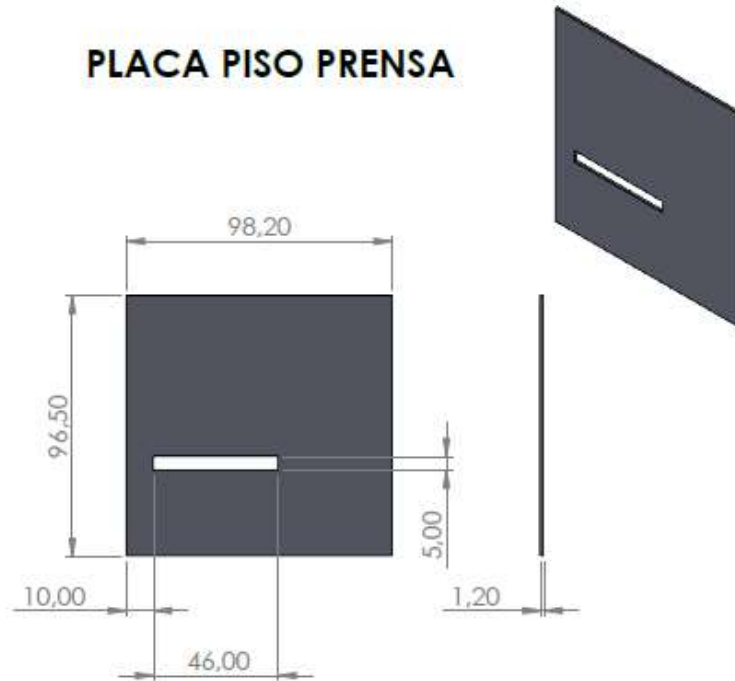
**Anexo 3. Planos a detalle de la placa laterales de la estructura y de la placa móvil.**



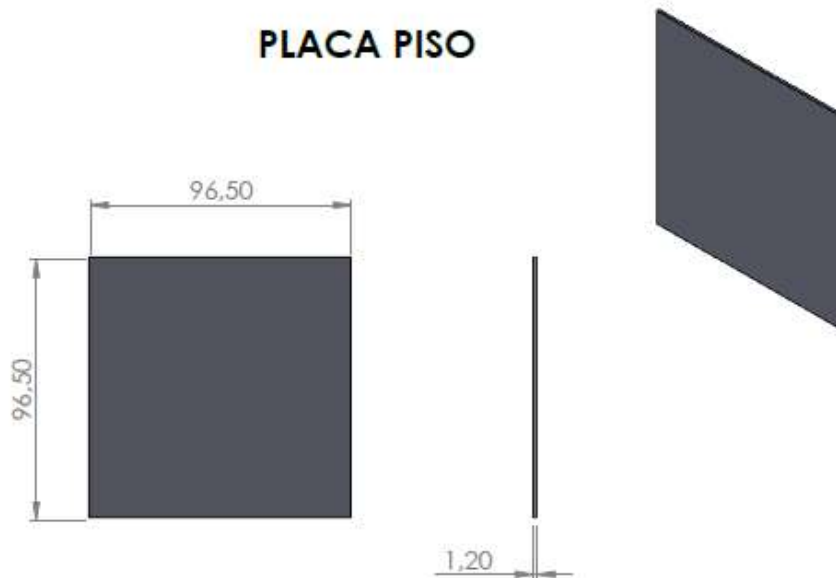
**Fuente:** autor del proyecto.

**Anexo 4. Planos a detalle de las placas piso y piso prensa.**

**PLACA PISO PRENSA**

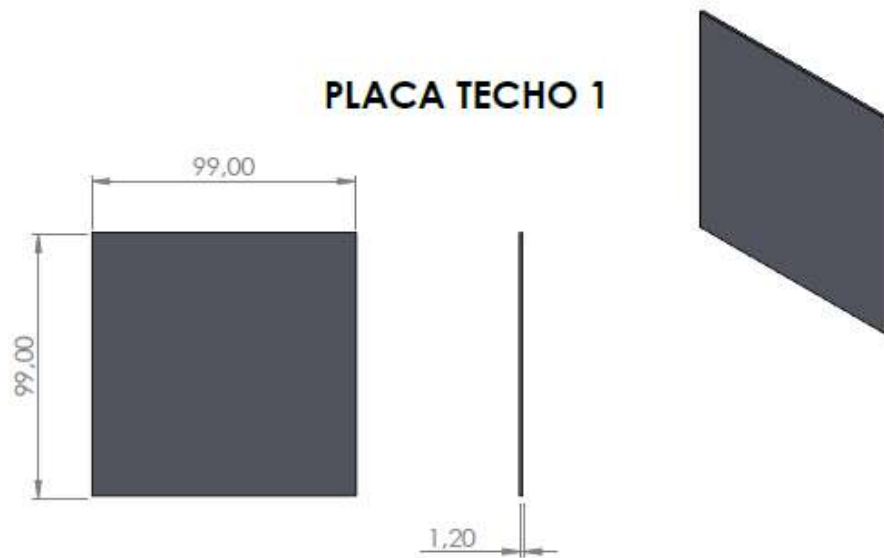
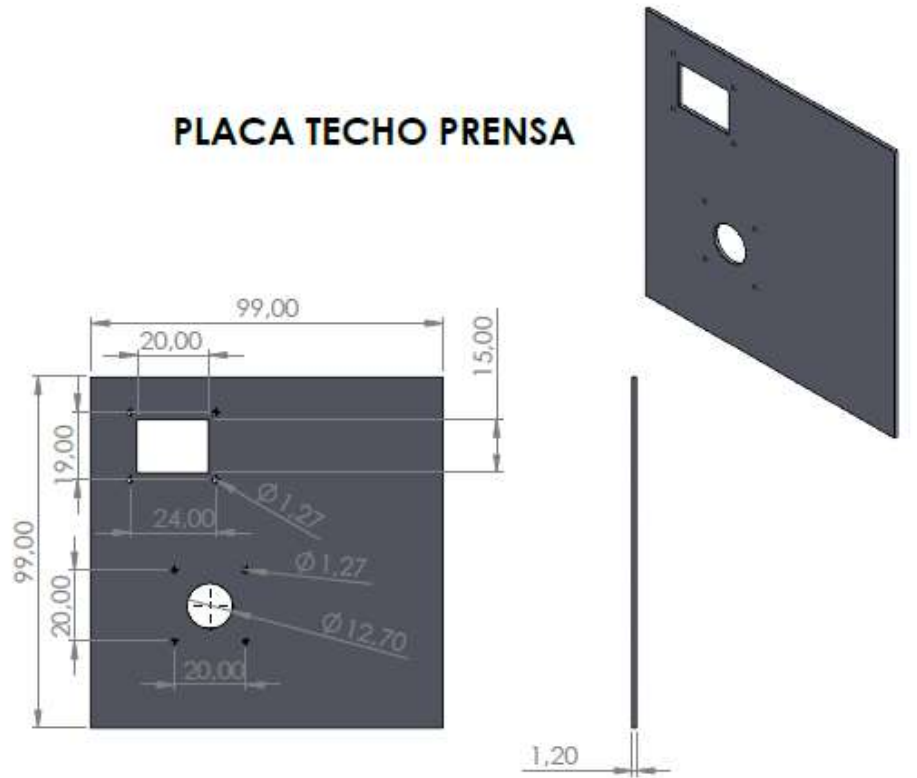


**PLACA PISO**



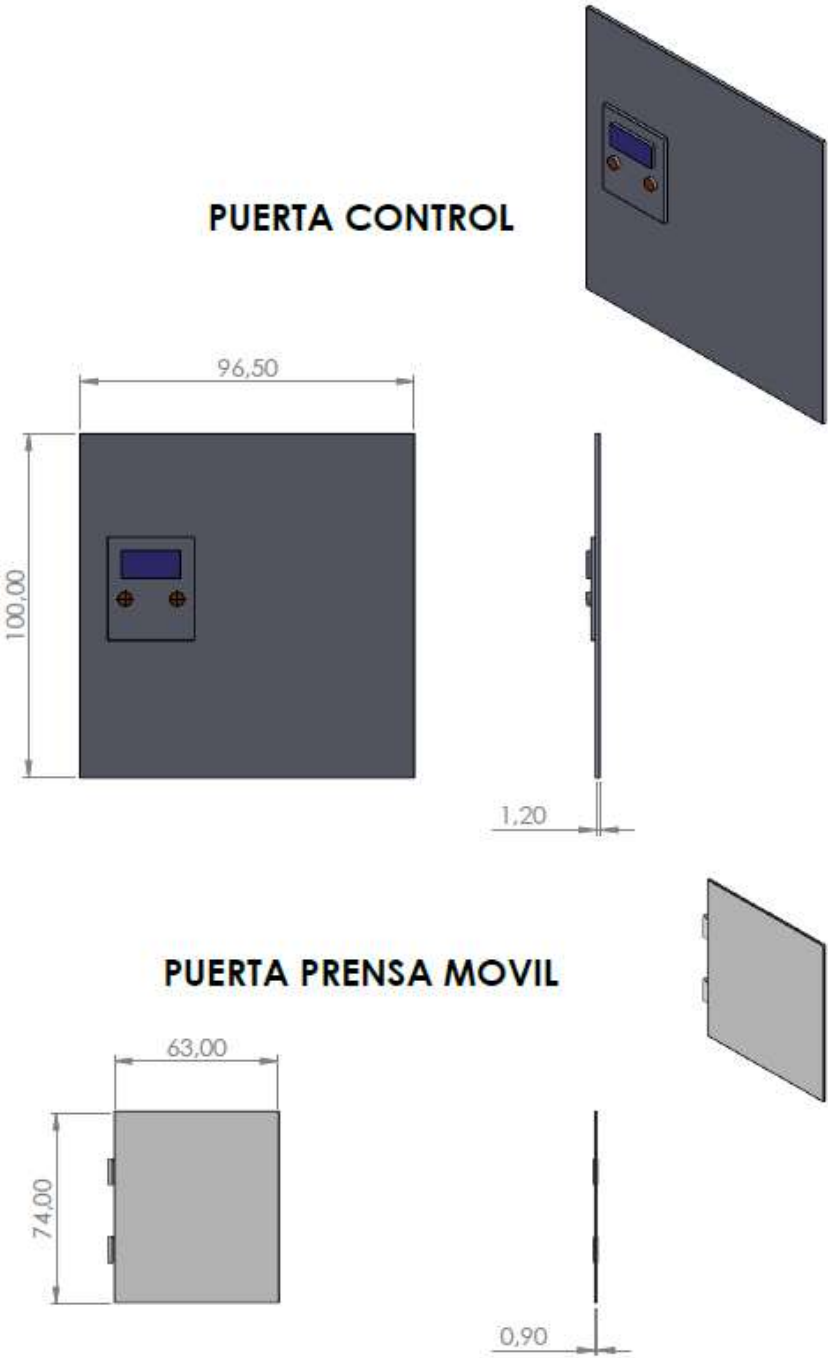
**Fuente:** autor del proyecto.

Anexo 5. Planos a detalle de las placas techo prensa y techo 1.



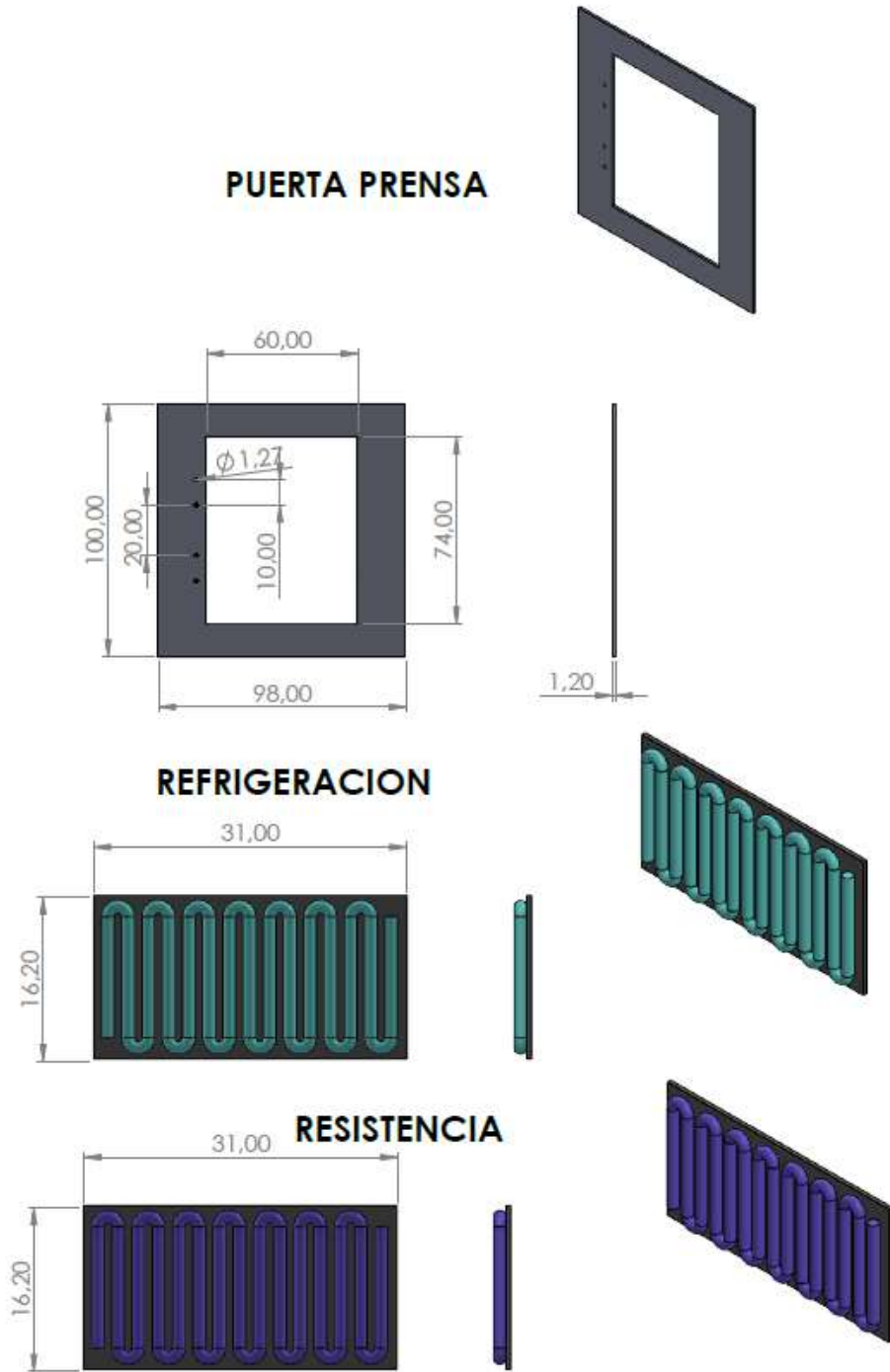
**Fuente:** autor del proyecto.

**Anexo 6. Planos a detalle de la puerta control y la puerta prensa móvil.**



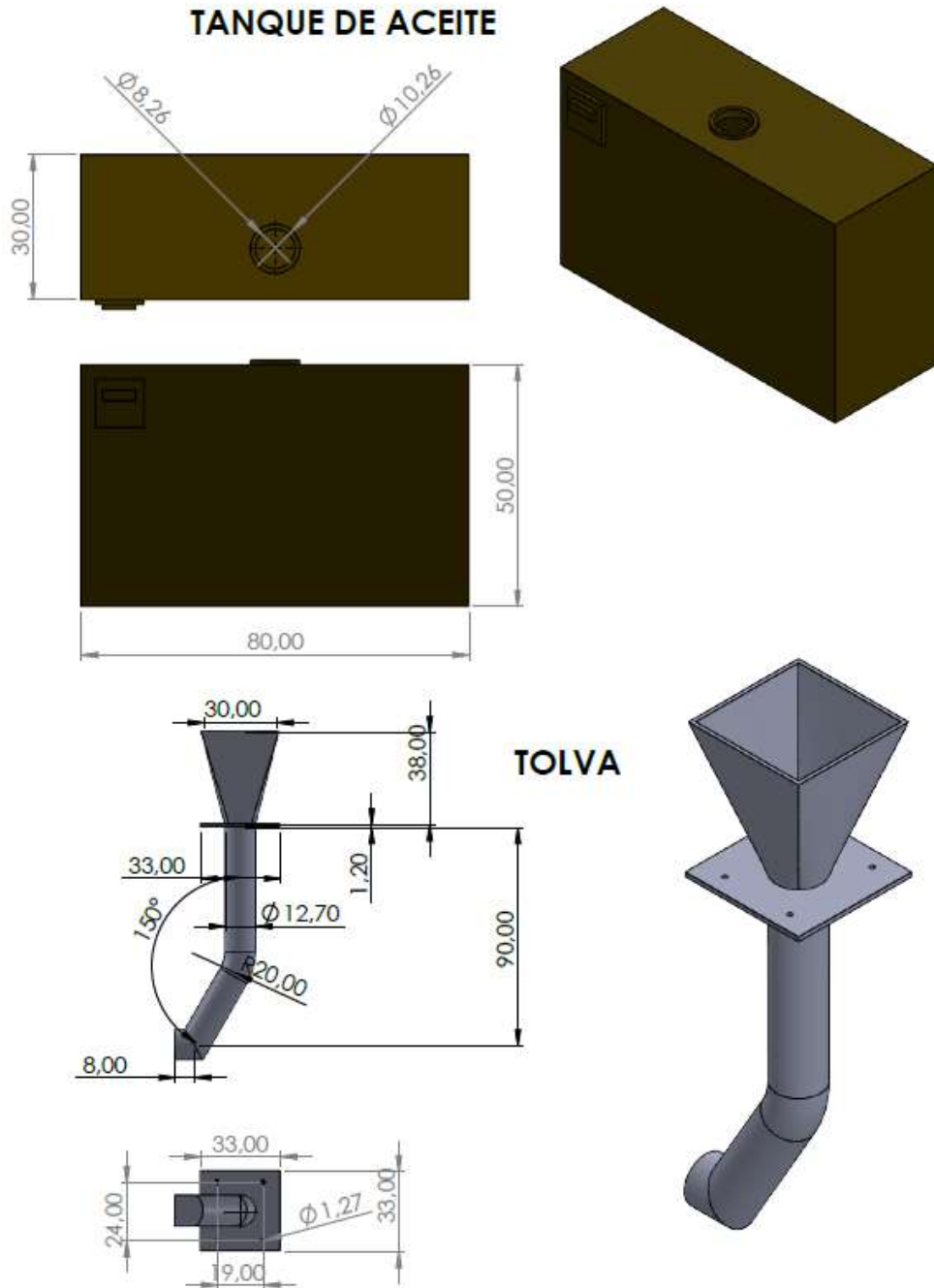
**Fuente:** autor del proyecto.

**Anexo 7. Planos a detalle de la puerta prensa, la refrigeración y la resistencia.**



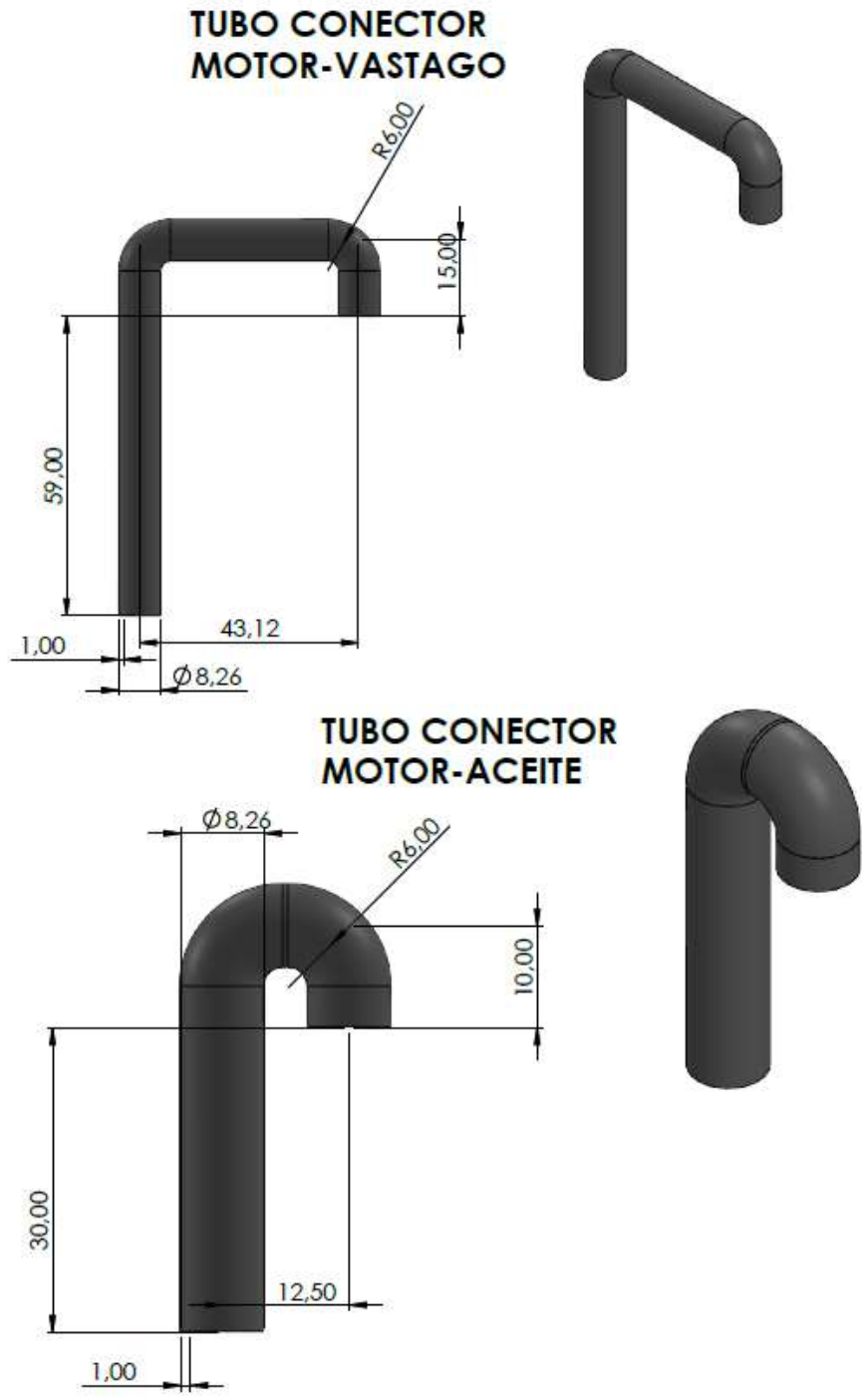
**Fuente:** autor del proyecto.

Anexo 8. Planos a detalle del tanque de aceite y la tolva.



Fuente: autor del proyecto.

**Anexo 9. Planos a detalle del tubo conector motor-vástago y el tubo conector motor-aceite.**



**Fuente:** autor del proyecto.