

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Diseño del proceso de moldeo por fundición, en  
forma del volcán de Agua, de tapaderas de botellas  
de propileno y polietileno de desecho**

Trabajo de graduación presentado por Osmar Misael López  
Ochoa para optar al grado académico de Licenciado en  
Ingeniería Mecánica

Guatemala, 2024



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería

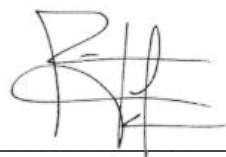


**Diseño del proceso de moldeo por fundición, en  
forma del volcán de Agua, de tapaderas de botellas  
de propileno y polietileno de desecho**

Trabajo de graduación presentado por Osmar Misael López  
Ochoa para optar al grado académico de Licenciado en  
Ingeniería Mecánica

Guatemala, 2024

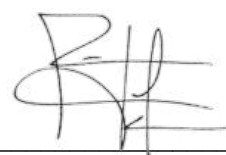
Vo.Bo. Asesor



---

Ing. Rony Jose Herrarte Estevez

Vo.Bo. Terna Examinadora



---

Ing. Rony Jose Herrarte Estevez



---

MBA Gustavo Adolfo Barrera Noriega



---

Inga. Laura María Roldan Reyes

Fecha de aprobación de examen de graduación: Guatemala, 06 de diciembre 2024.

<b>Lista de figuras</b>	<b>VIII</b>
<b>Lista de cuadros</b>	<b>IX</b>
<b>Resumen</b>	<b>XI</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Justificación</b>	<b>3</b>
<b>3. Objetivos</b>	<b>5</b>
3.1. Objetivo general . . . . .	5
3.2. Objetivos específicos . . . . .	5
<b>4. Marco teórico</b>	<b>7</b>
4.1. Polipropileno y polietileno . . . . .	7
4.2. Estufa de gas . . . . .	9
4.3. Gas propano como combustible . . . . .	10
4.4. Método de transferencia de calor más adecuado para fundir un plástico . . . . .	11
4.5. Material del molde . . . . .	12
4.6. Molde de aluminio . . . . .	13
4.7. Análisis del ángulo de desmoldeo . . . . .	16
<b>5. Metodología</b>	<b>17</b>
5.1. Descripción de metodología . . . . .	17
5.1.1. Etapas . . . . .	17
5.2. Requisitos . . . . .	19
5.3. Sistema de fundición . . . . .	20
5.3.1. Energía para fundir el plástico . . . . .	20
5.3.2. Tiempo para fundir plástico HDPE . . . . .	22
5.3.3. Procedimiento para la fundición . . . . .	25
5.4. Diseño de la cavidad del molde . . . . .	26
5.4.1. Primeros diseños de una figura de plástico . . . . .	26

5.4.2.	Selectividad del diseño de figura de plástico . . . . .	28
5.4.3.	Selección de herramienta . . . . .	30
5.4.4.	Diseño de pines extrusores y grabado de letras . . . . .	30
5.4.5.	Ángulo de desmoldeo . . . . .	34
5.4.6.	Velocidades del corte de avance . . . . .	35
5.4.7.	Maquinado CNC . . . . .	35
5.5.	Diseño de la tapa del molde . . . . .	38
5.5.1.	Esquema del molde por compresión . . . . .	39
5.5.2.	Tiempo necesario para precalentar y enfriar el molde de aluminio . . . .	41
<b>6.</b>	<b>Resultados</b>	<b>47</b>
6.1.	Requisitos . . . . .	47
6.2.	Tiempo de precalentamiento del molde . . . . .	48
6.3.	Temperatura del molde de aluminio . . . . .	48
6.4.	Tiempo de fundición del polimero . . . . .	49
6.5.	Tiempo de enfriamiento del molde con figura plástica . . . . .	50
6.6.	Inspección visual de figuras plástica . . . . .	50
6.6.1.	Inspección visual de acabado superficial de fugura plástica . . . . .	50
6.7.	Precios . . . . .	51
6.8.	Molde de aluminio . . . . .	51
6.8.1.	Material . . . . .	51
6.8.2.	Diseño . . . . .	52
6.8.3.	Maquinado . . . . .	53
<b>7.</b>	<b>Discusión de resultados</b>	<b>55</b>
<b>8.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>59</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>61</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>63</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos</b>	<b>65</b>

1.	Tipos de tapadera de botella plastica . . . . .	8
2.	Elementos de fundición . . . . .	22
3.	Pellets HDPE . . . . .	24
4.	Pellets triturados de tapas de botellas . . . . .	24
5.	Pellets de HDPE, colocación adecuada para fundición . . . . .	25
6.	Sistema de fundición, con tapas plásticas trituradas . . . . .	25
7.	Map2stl . . . . .	26
8.	Modelo volcán de Agua 3D . . . . .	27
9.	Operaciones de CAM . . . . .	27
10.	Trayectoria de corte . . . . .	28
11.	Diseño . . . . .	28
12.	Diseño . . . . .	29
13.	Diseño . . . . .	29
14.	Pines estrusores, vista frontal . . . . .	30
15.	Pines estrusores, vista lateral . . . . .	31
16.	Pines estrusores, vista trasera . . . . .	31
17.	Traza de letras, iteración 01 . . . . .	32
18.	Traza de letras, diseño final . . . . .	32
19.	Traza de letras, en cavidad . . . . .	33
20.	Traza de letras, modelo final . . . . .	33
21.	Molde de aluminio 6061 . . . . .	34
22.	Angulo de desmoldeo . . . . .	34
23.	Mesa de trabajo Haas VF-1 . . . . .	36
24.	Trayectoria de maquinado . . . . .	36
25.	Medición de la altura de la herramienta de corte utilizando una alsa de 20mm. . . . .	36
26.	Molde aluminio 6061 maquinado . . . . .	37
27.	Molde aluminio 6061 maquinado vista lateral . . . . .	37
28.	Tapadera del molde . . . . .	38
29.	Tapadera del molde con molde . . . . .	39
30.	Sistema de compresión . . . . .	40
31.	Sistema de compresión . . . . .	41
32.	Pre calentamiento . . . . .	42

33.	Pre calentamiento . . . . .	43
34.	Número de nodos y dirección del calor en nodos . . . . .	44
35.	Enfriamiento del molde de aluminio con los 27 nodos . . . . .	45
36.	Enfriamiento del molde de aluminio . . . . .	45
37.	Temperatura del molde de aluminio con cavidad . . . . .	48
38.	Temperatura del molde de aluminio sin cavidad . . . . .	49
39.	Presión ejercida en molde . . . . .	52
40.	Diseño final de figura plástica . . . . .	52
41.	Figura plástica . . . . .	53

---

## Lista de cuadros

---

1.	Tabla de propiedades polimeros . . . . .	7
2.	Identifiación de códigos . . . . .	19
3.	Identifiación de códigos . . . . .	19
4.	Tabla de herramientas de corte . . . . .	30
5.	Tabla de velocidad de corte y avance . . . . .	35
6.	Tabla de herramientas de corte, para careado en fresadora . . . . .	38
7.	Requisitos cumplidos . . . . .	47
8.	Tiempos de precalentamiento del molde con cavidad . . . . .	48
9.	Tiempos de precalentamiento del molde sin cavidad . . . . .	48
10.	Inspección de calentamiento del molde . . . . .	49
11.	Tiempos de fundición del polimero . . . . .	49
12.	Tiempos de fundición del polimero . . . . .	50
13.	Inspección de la figura plástica prueba 01 . . . . .	50
14.	Inspección de la figura plástica prueba 02 . . . . .	50
15.	Inspección de la figura plástica prueba 03 . . . . .	50
16.	Costo de adquisición de los materiales utilizados . . . . .	51
17.	Dimensiones del molde . . . . .	51
18.	Herramientas de corte . . . . .	53
19.	Costo de trabajo para la fabricación del molde de aluminio . . . . .	54

El trabajo de graduación tuvo como objetivo principal la creación de un sistema de reciclaje que aprovechará las tapaderas de botellas plásticas de desecho, especialmente aquellas de polipropileno y polietileno, para producir figuras con la silueta del volcán de Agua de Guatemala mediante un proceso de moldeo por fundición. El propósito de esta estrategia era utilizar el plástico para una nueva finalidad, lo que contribuiría a disminuir la contaminación en las orillas del volcán, donde en los últimos años ha habido un aumento alarmante en la cantidad de desechos plásticos, especialmente en áreas turísticas como Santa María de Jesús y la Antigua Guatemala.

El proyecto se enfocó en transformar estos residuos plásticos en un producto reutilizable, con un valor económico, lo cual podría haber promovido una cultura de reciclaje sostenible en la comunidad. Se seleccionaron polipropileno y polietileno debido a sus propiedades favorables, como resistencia al impacto y su capacidad de ser fundidos y moldeados en varias ocasiones antes de degradarse. Para llevar a cabo este proceso, se diseñó un molde de aluminio en material 6061, que permitía la creación de figuras tridimensionales representando el volcán de Agua. La elección del aluminio se debió a su alta conductividad térmica, ligereza y resistencia a la corrosión.

El sistema de fundición propuesto utilizó una estufa de gas propano, un sartén de aluminio y gas propano para fundir el plástico. Se realizaron simulaciones y cálculos para determinar la energía necesaria para fundir los polímeros con tiempos óptimos de fundición de 00:05:15. Tras la fabricación del molde con cavidad en dimensiones de 5x5x1 in y el de tapadera de 5.5x5.5x0.5 in en la frezadora Haas VF-1 con un tiempo de maquinado de 02:10:45 y la ejecución de pruebas, se validó que el sistema propuesto fue capaz de producir figuras plásticas de manera eficiente en un tiempo de espera de moldeo de la figura plástica en 00:12:08. Este proyecto no solo contribuyó a un uso del plástico seleccionado, sino a la reducción de la contaminación en el área del volcán de Agua, y que también ofreció una solución económica para el reciclaje de plásticos.

En los últimos años, el volcán de Agua ha experimentado un aumento considerable en la cantidad de desechos plásticos acumulados en sus faldas, particularmente en las rutas turísticas que conectan las localidades de Santa María de Jesús y la Antigua Guatemala. Este fenómeno se ha atribuido principalmente a la falta de programas adecuados de recolección de residuos, lo que ha llevado a una acumulación masiva de tapaderas de botellas de plástico, fabricadas principalmente con polipropileno y polietileno de alta densidad. Este tipo de contaminación no solo afecta el entorno natural del volcán, sino que también tiene un impacto negativo en la calidad de vida de las comunidades circundantes y en la experiencia de los turistas.

Este trabajo de graduación propone una solución innovadora para abordar este problema ambiental, mediante el diseño de un sistema de moldeo por fundición que transforma las tapaderas de plástico desechadas en figuras plásticas en forma del volcán de Agua. Esta iniciativa busca no solo reducir la cantidad de desechos plásticos, sino también generar un beneficio económico para las comunidades locales, al vender estas figuras como recuerdos para los turistas. El proyecto se basa en el principio de reciclaje, utilizando un material de desecho que hasta ahora no tenía valor alguno y que, con el proceso adecuado, puede ser transformado en un producto útil y comercializable.

El proceso involucra varias etapas clave, comenzando con la recolección de las tapaderas plásticas, su posterior fundición y moldeo en una figura que representa el volcán de Agua. Para esto, se diseñó un molde de aluminio 6061, material seleccionado por su alta capacidad de conducción térmica, resistencia y ligereza. Además, se utilizaron cálculos termodinámicos para definir los parámetros de fundición del polietileno y polipropileno, y el moldeo de este plástico para obtener la figura plástica. En resumen, el proyecto tiene un enfoque técnico y ecológico que promueve el reciclaje y la conservación del medio ambiente en una región vulnerable, mientras genera ingresos económicos para la comunidad.

---

### Justificación

---

La contaminación en el volcán de Agua ha incrementado en los últimos años debido a la ausencia de un programa de recolección de desechos. Entre los más comunes, se encuentran las botellas plásticas. Se ha registrado un avistamiento del aumento de desechos plásticos en las faldas del volcán, en las rutas turísticas de Santa María de Jesús y la Antigua Guatemala (Pedroboche, 2015).

Ayudar a disminuir la contaminación y darle un segundo uso al plástico desechado a beneficio de la comunidad, promovería un reciclaje perdurable, debido a que la venta de figuras plásticas generaría un ingreso económico para la comunidad, y la materia prima se encuentra en la recolección de desechos de tapas plásticas. El enfoque está en convertir un residuo plástico que actualmente no tiene ningún uso y que sólo promueve el aumento de basura en el volcán, a un residuo reutilizable reduciendo, así, la cantidad de desechos plásticos en el área. Enfocándose en las tapas de botellas de polipropileno y polietileno, se ve el potencial de convertirlas en moldes plásticos con la silueta del volcán, que pueden ser, luego, vendidos a los turistas para que el proceso sea sostenible económicamente.

Fomentar el reciclaje dentro de un área ecológica como la del volcán permite la conservación de los recursos naturales y reducción de la contaminación. Al reciclar estos desechos sólidos se evita que contaminen el área del volcán, reduciendo impactos negativos en las comunidades cercanas (A.L, 2022). Un sistema de fundición de las tapaderas de botellas de polipropileno y polietileno tiene como finalidad establecer la agilización del proceso de fabricación de figuras 3D del volcán de Agua por medio de moldes, con un diseño de construcción de bajo costo para ambas máquinas.

El diseño del molde del volcán de Agua y la elección de un método de fundición de las tapaderas de plástico para el proyecto de reciclaje de tapas busca facilitar la fundición de los materiales plásticos y dar un bajo costo de fabricación. El diseño de la máquina fundidora debe seguir lineamientos para un sistema viable estructural según la ubicación de trabajo, como de un enlace diseño y manufactura en la construcción del sistema de la maquinaria. El proceso de diseño puede variar según sean las dimensiones del molde del volcán, el cual debe cumplir con la capacidad de material a procesar y no ser mayor a los límites de producción

del plástico. Los costos de mantenimiento de la máquina deben ser bajos para que el sistema sea económicamente rentable de acuerdo con la inversión inicial y, a la vez, garantizar una vida útil prolongada.

### 3.1. Objetivo general

Diseñar y fabricar un sistema de fundición y moldeo de figuras plásticas en forma del volcán de Agua, utilizando, como materia prima, los desechos de tapas de polietileno y polipropileno.

### 3.2. Objetivos específicos

1. Definir un método de fundición para el plástico proveniente de las tapaderas de botellas.
2. Definir las dimensiones y geometría de la figura plástica a ser moldeada.
3. Especificar las dimensiones estructurales de la máquina de fundición y moldeo.
4. Fabricar la máquina diseñada para elaborar las figuras plásticas.
5. Validar que el sistema produzca figuras plásticas con la forma del volcán de Agua.
6. Elaborar los manuales de fabricación, ensamble, mantenimiento y uso de la máquina.

## 4.1. Polipropileno y polietileno

El polietileno y el polipropileno, ambos polímeros reciclables, se utilizan en una amplia gama de aplicaciones. Con la investigación del tipo de plástico utilizado en las tapaderas de botellas desechables se encontró que el polipropileno y el polietileno de alta densidad tienen una serie de ventajas para este uso, las cuales son ser reutilizable, resistente al impacto y a la humedad, y no tener reacciones con productos químicos o alimentos (Muñoz, 2023).

En las tapaderas de botellas, el polipropileno es un material ideal para bebidas calientes, como café o té, ya que es resistente al calor y no libera sustancias tóxicas a altas temperaturas, lo que lo hace seguro. A diferencia, el polietileno de alta densidad no es tan flexible como el polipropileno, esto lo hace adecuado para hacer tapas de botellas de bebidas carbonatadas porque ayuda a evitar que la presión del gas rompa las tapas (Gall, 2020).

Estos dos plásticos son los más usados en tapaderas de botellas; sin embargo, debido a que tienen diferentes propiedades que se utilizan en los cálculos de fundición, es necesario evaluar si se pueden fundir juntos o por separado. Las propiedades se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1: Tabla de propiedades polimeros

Tipo de plastico	Calor latente de fusión (kJ/kg)	Calor especifico (kJ/kg °C)
Polietileno de alta densidad de (HDPE)	178	1.93
Polipropileno (PP)	135	0.92

Fuente: Dem, 2023

Para determinar los polímeros presentes en las tapaderas de botellas, se usa el código de identificación de resina RIC, es la forma más fácil de identificar el plástico en las tapaderas de botellas desechadas. El RIC es un código en un número de 1 a 7 rodeado por un triángulo de flechas que apuntan hacia la derecha en la base de la mayoría de los empaques de plástico. El número RIC del polipropileno es 5. El RIC del polietileno de alta densidad es 2. Si el plástico no se puede identificar por el número RIC, se puede identificar por sus propiedades físicas. El polipropileno es un plástico que se caracteriza por un brillo metálico y en propiedad física es difícil de doblar porque es resistente y duro. El polietileno de alta densidad tiene una característica de brillo mate y en propiedades físicas más flexible que el polipropileno. Como se muestra en la figura 1, hay varios tipos de tapaderas de plástico (Dem, 2023).

Figura 1: Tipos de tapadera de botella plastica



Fuente: Muñoz (2023).

Estos polímeros se pueden fundir y moldear de 4 a 5 veces, antes de que se degrade el material. El punto de fusión del polipropileno es de 171 °C, mientras que el punto de fusión del polietileno de alta densidad es de 166 °C. Los factores de degradación del material dependen de la calidad del polímero inicial y el proceso de fundición.

El proceso de refundición comienza con la recolección de tapas plásticas desechadas. A este plástico se le pueden agregar aditivos para mejorar sus propiedades mecánicas como físicas. Para el proceso de fundición de tapas plásticas que sólo serán utilizados como adornos o que no requieren altas resistencias mecánicas no se le suele agregar ningún aditivo pues el no hacerlo ayuda a reducir costos y tiempos. El único caso en que el que se pueda querer un aditivo será el del pigmento deseado para la figura plástica final. Los pigmentos se pueden agregar al plástico en tres tipos diferentes de presentaciones. Los pigmentos orgánicos se utilizan en la presentación en polvo, mientras que los pigmentos inorgánicos y metales se pueden agregar en polvo, granulado y líquido (Dem, 2023).

La separación de estos dos polímeros al fundir es crucial. Sí, es factible fundirlos juntos, pero es importante tener en cuenta las características de fusión de cada uno. Si se funden juntos a una temperatura demasiado baja, el polietileno no se fundirá completamente y se fundirá en forma de grumos. Esto puede causar problemas con la calidad del producto final. Se tomó la decisión de fundirlos por separado para evitar cualquier problema. Debido a que es uno de los polímeros más utilizados en las botellas de desecho en el volcán de Agua, el polímero de polietileno de alta densidad se utilizará con mayor frecuencia.

## 4.2. Estufa de gas

El método más económico y práctico para fundir plástico es en una estufa de gas, donde se coloca el plástico a fundir en una sartén. El contenido energético no se obtiene a través de la suma de las eficiencias de las estufas de gas. Para obtener la eficiencia total se multiplican las eficiencias de cada etapa. La eficiencia total por el contenido energético del gas da el calor que puedan ganar las tapaderas plásticas de cada etapa del sistema energético. La flama del gas propano, la sartén y el polímero a fundir son los componentes. Se evaluó una estufa modificada a biogás para determinar el porcentaje de eficiencia energética, con el poder calorífico del biogás y el flujo de gas del quemador utilizado. Los resultados de eficiencia energética fueron del 48 % al 55 % (Joaquín, 2018). Con base en estos datos, se sabe que el gas propano tiene un poder calorífico menor que el biogás, y según los hallazgos de la investigación, la eficiencia de transferencia del gas propano es alrededor del 40 % (Matthews, 2024).

La potencia de un quemador de gas propano varía en función de la presión del gas y el modelo físico del quemador. Con la ecuación 1 se puede calcular la potencia del quemador conociendo el caudal de gas, que se puede medir con un medidor de flujo de gas, y el poder calorífico del gas propano. En algunos casos, el poder calorífico mínimo se encuentra en la etiqueta del cilindro o se puede tomar un valor promedio de 22,2 MJ/m<sup>3</sup> (Matthews, 2024).

$$P = Q * H \tag{1}$$

### Ecuación 1

**P** Es la potencia del quemador en kilowatt (kW)

**Q** Es el caudal de gas en metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s)

**H** Es el poder calorífico inferior del gas propano en kilojulios por metro cúbico (kJ/m<sup>3</sup>)

Como parte alternativa de no tener un medidor de flujo de gas. Además, conociendo el flujo másico de gas propano durante un período de tiempo determinado, se puede calcular la potencia del quemador de gas, con la ecuación 2. Antes de la prueba, se pesa el tanque de gas y se espera que se quemé el gas. Después, se para la flama y se pesa nuevamente el tanque. Debido al peso del gas liberado en la combustión y al tiempo establecido, obtenemos un flujo masico. Este flujo masico se multiplica con el poder calorífico del gas propano de 11,780 kcal/kg (CNGEurope, 2023) lo que da potencia.

$$P = \dot{m} * PCI \quad (2)$$

### Ecuación 2

**m** Es el flujo masico (Kg/s)

**PCI** Es el poder calorifico del gas propano en (kcal/kg) metro cúbico (kJ/m<sup>3</sup>)

## 4.3. Gas propano como combustible

El gas propano es uno de los gases más disponibles en la mayoría de las zonas por ser un combustible económico, fácil de almacenar y transportar. Tiene un característico color azul para indicar que la proporción de aire combustible es correcta. Por ende se alcanza su temperatura de flama máxima, obteniendo su mayor eficiencia. Si se presenta un color amarillento en la quema del combustible es porque hay una menor eficiencia en cuanto a la combustión con el oxígeno del alrededor. En condiciones de una combustión completa la temperatura de la llama del propano es de 1,400 °C (Arizadmin, 2021).

Usar el gas propano como combustible para la fundición de polímeros tiene ventajas como una eficiencia en poder calorífico, produciendo más calor por unidad de combustible que otros combustibles; presentaciones de su contenido, la presentación de este puede encontrarse en latas o cilindros de gas; accesibilidad en diferentes puntos de comercio, por ser muy utilizado en cocina (Arizadmin, 2021).

El tiempo que tomará fundir el material dependerá de la potencia del quemador de gas propano y de la cantidad de plástico que se quiere fundir. Si se utiliza un quemador de gas propano de alta potencia, se podrá fundir el plástico en pocos minutos. Sin embargo, el tiempo de fundición puede ser mayor si se usa un quemador de menor potencia. Además, depende de la cantidad de material utilizado y la estructura del material. La ecuación 3 se utiliza para calcular el tiempo requerido, con la eficiencia del quemador.

$$t = \frac{E}{P * 0.4} \quad (3)$$

### Ecuación 3

**t** Es el tiempo de fusión (s)

**E** Es la energía requerida para fundir el plástico (kJ)

**P** Es la potencia del quemador de gas propano multiplicada por eficiencia del gas (kW)

## 4.4. Método de transferencia de calor más adecuado para fundir un plástico

Procedimiento en transferencia de calor adecuado para fundir un plástico:

- Si se desea fundir plástico triturado, se debe estar familiarizado con los instrumentos que se utilizan en el proceso como: gas propano y un sartén. Con estos instrumentos para la fundición, usar la ecuación de Fourier. La ley de Fourier de conducción de calor describe cómo fluye el calor a través de un material sólido, logrando así fundir el polímero. Se tiene transferencia de energía por convección en el movimiento de fluidos como líquido o gas; conducción en la transferencia de calor a través de un material sólido por contacto directo. Estos dos tipos de transferencia de energía son una herramienta útil para estimar la tasa de calor a través del sistema, usando redes de resistencias térmicas, como medida de la capacidad de un material u objeto para resistir el calor (ROHMS, 2016). Para conocer la energía total del sistema, como primer paso es identificar cada parte del sistema que proporciona resistencia al flujo de calor, esto incluye la sartén y plástico (Douplik, 2014).

La suma de las energías térmicas de cada componente constituye la energía térmica total del sistema, como se muestra en la ecuación 4. Energía necesaria para fundir el polímero.

$$E_{total} = E_{sartén} + E_{plástico} \quad (4)$$

- Para verificar si el calor entregado en el sistema de fundición es lo suficiente para derretir el plástico, se debe conocer la energía necesaria para llevar el plástico de su temperatura inicial a la de fundición y la energía para fundición. Se puede utilizar las siguientes dos ecuaciones: energía necesaria para fundir el plástico, como se muestra en la ecuación 5, y la otra energía necesaria para calentar el plástico hasta el punto de fusión, como se muestra en la ecuación 6. La suma de estas dos energías indica la energía total requerida para lograr fundir el polímero (Douplik, 2014).

$$E_{plástico} = m * lf \quad (5)$$

### Ecuación 5

$E_1$  Es la cantidad de calor transferida (J)

$m$  Es la masa del plástico triturado en (kg)

$lf$  Es el calor latente de fusión del plástico (J/kg)

$$E_{sartén} = m * CP * (Tf - To) \quad (6)$$

### Ecuación 6

$E_2$  Es la cantidad de calor transferida (J)

$m$  Es la masa del plástico triturado en (kg)

$Cp$  Es el calor específico del plástico (J/kg\*°C)

**T<sub>f</sub>** Es la temperatura de fusión del plástico (°C)

**T<sub>o</sub>** Es la temperatura ambiente (°C)

La sartén, por ser un método de transferencia de calor necesario para fundir el polímero, también incluye la energía necesaria para aumentar la temperatura de la sartén, como se muestra en la ecuación 7.

$$E_{\text{sartén}} = m * C_{p_{\text{sartén}}} * \Delta T \quad (7)$$

#### Ecuación 7

**E<sub>sartén</sub>** Es la energía necesaria para calentar la sartén (kJ)

**m** Es la masa de la sartén (kg)

**ΔT** Diferencia de temperatura (°C)

## 4.5. Material del molde

La selección del material del molde depende de la selección del material plástico que se desea inyectar, el número de piezas a producir, presupuesto, tamaño y complejidad del molde. En la aplicación de moldes hay dos materiales que predominan en esta área siendo el aluminio y acero (Schawarts, 2021).

- Acero: Es uno de los más comunes por su variedad de presentaciones en el mercado, el cual representa características físicas como resistencia al desgaste y corrosión así como resistencia a altas temperaturas. Esto depende del tratamiento térmico que reciba el acero, que puede ser inoxidable, al carbono o aleado. Estas características pueden variar según el tratamiento térmico (Nickluvera, 2020).
- Aluminio: Es ligero y de alta conductividad térmica, lo que lo convierte en una buena opción para un molde porque es ligero, resistente a la corrosión y relativamente económico. Además, el maquinado de este tiene una producción más rápida en la industria. Pero tiene una vida útil menor que un molde de acero y es menos costoso, por lo que se puede evaluar la producción de otros moldes y considerar el precio beneficio con respecto a uno de acero (Nickluvera, 2020).

Debido a sus propiedades mecánicas, el aluminio es un material muy utilizado en la industria de moldeo por compresión. El aluminio mantiene una estructura consistente de alta precisión gracias a su capacidad de transferir el calor del molde y garantizar una formación rápida del producto (Matias, 2022).

En la gama de aluminio utilizados para moldes de inyección hay dos categorías que predominan la 6000 y 7000, los cuales son relativamente económicos y fáciles de utilizar, con buena resistencia a la corrosión y al desgaste, como también una buena resistencia mecánica y térmica (Martinez, 2018).

- 6061: Un aluminio de aleación media a alta, tiene una aleación dúctil del cual puede deformarse fácilmente sin romperse y una resistencia a la corrosión en condiciones atmosféricas normales (Jon, 2021).
- 6082: Esta aleación es muy similar a la del aluminio 6061, con la diferencia que tiene una mejor resistencia mecánica (Jon, 2021).
- 7075: Un aluminio de aleación de alta resistencia tiene una aleación dúctil que puede deformarse fácilmente sin romperse y una resistencia a la corrosión en condiciones atmosféricas normales. Sin embargo, el aluminio 7075 es menos dúctil que el 6061 y el molde puede fallar debido a su menor ductilidad (Jon, 2021).

El aluminio 6061 se eligió para el proceso de fabricación de molde por las razones antes descritas, por lo que es importante conocer su calor específico de  $0.91 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$  para cálculos posteriores.

## 4.6. Molde de aluminio

Los moldes son herramientas utilizadas para dar forma a un material en estado líquido o semisólido, tienen una cavidad donde el material que se vierte se solidifica y toma forma. Los moldes elaborados en máquina CNC se pueden fabricar con una amplia variedad de materiales, pero el aluminio tiene algunas ventajas sobre otros materiales, como que se puede mecanizar más fácilmente y tiene una mayor conductividad térmica, lo que hace que el plástico se enfríe más rápido (Covill, 2019).

La manipulación de un molde de aluminio se puede llevar a cabo a una temperatura ambiente o a una temperatura elevada; lo recomendable es elevar la temperatura del molde para obtener mejores resultados, llegando a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . El plástico se comprime en la cavidad a esta temperatura de moldeo por compresión y se solidifica al bajar la temperatura. Se utiliza un pequeño horno eléctrico para elevar la temperatura del molde o con una flama de gas propano. Para elevar la temperatura del molde se necesita de un horno eléctrico pequeño, del cual se conozca su potencia de calor y la cantidad de energía eléctrica que consume por unidad de tiempo (Mariano, 2011). O también de una estufa de gas propano conocida la potencia de entrega de la flama del gas.

Para determinar cuánto tiempo tarda un bloque de aluminio en elevar su temperatura ambiente a la temperatura requerida, en una estufa de gas propano, se debe conocer la energía necesaria para elevar la temperatura del molde, como se muestra en la ecuación 8. Se usan los datos del material del molde como la densidad, calor específico y la temperatura ambiente con la temperatura a la que se quiere llegar el molde  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$$E_{sartén} = m * Cp_{Al.6061} * \Delta T \quad (8)$$

### Ecuación 8

$E_{sartén}$  Energía para elevar temperatura del molde (kJ)

$m$  Masa del molde de aluminio (kg)

$Cp_{saluminio}$  Cp del aluminio 6061 (kJ/kg °C)

$\Delta T$  Cambio de temperatura (°C)

Conocida la energía del sartén, se puede conocer el tiempo que toma en elevar la temperatura del molde de aluminio a 100 °C, con la potencia del gas y eficiencia de este. Como se muestra en la ecuación 9.

$$Tiempo = \frac{E_{Tot.Al}}{0.4 * P} \quad (9)$$

### Ecuación 9

$T$  Tiempo para precalentar el molde (s)

$P$  Es la potencia del quemador de gas propano multiplicada por eficiencia del gas (kW)

Al elevar la temperatura de la pieza de aluminio y luego verter el polímero fundido en la cavidad, se comprime el material. Esto tendrá como resultado una buena calidad superficial, evitando la formación de burbujas dentro de la cavidad del molde. La cavidad del molde debe tener un desnivel que facilite el desmoldeo de la figura plástica, al igual que unos pines extrusores en el molde, expulsando restos del material fundido al momento de comprimir. Estos pines, aparte de ayudar a expulsar el material, ayudan a expulsar la pieza moldeada hacia afuera del mismo molde. El diseño de los pines expulsores es significativo para la calidad de la pieza y economía de producción. Uno de los canales elegidos para expulsión de material es de forma parabólica; este canal tiene el maquinado más simple. No es tarea sencilla calcular el diámetro del canal, ya que depende de la razón de flujo de material, características del material, viscosidad, temperatura y algunas constantes del material (Buchwald, 1996). La ecuación 10 ayuda a calcular el diámetro del canal del pin extrusor.

$$D = S_{max} + 1.5mm \quad (10)$$

### Ecuación 10

$D$  Diametro del canal (mm)

$S_{max}$  Máximo espesor de pared de la pieza, no considera información geométrica, su aplicación se limita a piezas pequeñas (mm)

En el proceso de compresión para figuras plásticas, la presión suele oscilar entre 150 y 1000 PSI, en moldes por compresión. La presión también debe ser suficiente para compactar el material y eliminar las burbujas de aire. Si la presión es demasiado baja, el material no se compactará en la cavidad correctamente y la pieza tendrá poros (Worgull, 2009). En general, la presión se aplica de forma uniforme sobre toda la superficie de la pieza móvil a la pieza fija. Esto se hace utilizando una prensa de sujeción en C, prensa hidráulica o prensa mecánica. Se llevarán a cabo pruebas para determinar si la figura de plástico se crea mediante la presión aplicada al molde. Para calcular la presión necesaria para moldear el polietileno de alta densidad en el molde de aluminio 6061, debe conocer la siguiente información como: volumen de la cavidad del molde, la densidad del polímero fundido a su temperatura de fusión, a 170 °C y densidad de 900 kg/m<sup>3</sup>. Una vez que se tenga esta información se puede usar la ecuación 11 para calcular la presión necesaria.

$$P = V * \rho * a \quad (11)$$

### Ecuación 11

**P** Es la presión en (Pa)

**V** El volumen de la cavidad del molde en (m<sup>3</sup>)

**$\rho$**  Densidad del polipropileno fundido (kg/m<sup>3</sup>)

**a** Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Luego del proceso de compresión, es importante conocer el tiempo de enfriamiento del molde con el material. Para calcular el tiempo de enfriamiento, se debe conocer la cantidad de calor que se necesita para bajar la temperatura del bloque de aluminio, así como la diferencia de temperatura entre él y la temperatura que se quiere enfriar, la temperatura ambiente. Y la cantidad de calor necesaria para bajar la temperatura del polímero fundido con el calor específico, la masa y la diferencia de temperatura con el molde, en este caso el punto de fusión del polímero es el inicial y la final, la temperatura ambiente como se muestra en la ecuación 12.

$$t = \frac{Q_1 + Q_2}{P} \quad (12)$$

### Ecuación 12

**t** Es el tiempo (s)

**$Q_1$**  Es la cantidad de calor necesaria para bajar la temperatura del bloque de aluminio (J)

**$Q_2$**  Es la cantidad de calor necesaria para bajar la temperatura del polímero fundido (J)

**P** Es la potencia del horno eléctrico (W)

La ecuación 12 es una herramienta útil para analizar el tiempo de enfriamiento del molde, pero existe una forma más efectiva de obtener información sobre el tiempo de enfriamiento del molde. Si se analiza el molde de aluminio como un régimen transitorio, en el que la temperatura de enfriamiento cambia con el tiempo y se calcula con métodos numéricos, que ayudan a describir el comportamiento del sistema en situaciones complejas, se obtendrá un mejor resultado de la temperatura del molde con el tiempo.

Para simplificar los datos, se tomará la conducción de calor en régimen transitorio sin los extremos del molde de aluminio. Las diferencias en el régimen transitorio de la conducción de calor unidimensional en una pared plana en el molde se explicarán utilizando puntos nodales y elementos de volumen. Los puntos nodales incluyen conducción de calor desde dos de sus lados, utilizando los números de nodos del molde. La ecuación 13 representa la formulación en diferencias finitas en régimen transitorio para un nodo interior general. Se aplicará para cada nodo implementado.

$$h_i(T_i - T_1^j) + k \frac{T_2^j - T_1^j}{\Delta x} = \rho \frac{\Delta x}{2} c \frac{T_1^{j+1} - T_1^j}{\Delta t} \quad (13)$$

En métodos numéricos, como el método explícito para resolver ecuaciones de conducción de calor, el criterio de estabilidad establece una condición sobre el tamaño del paso de tiempo  $\Delta t$  para garantizar que la solución numérica converja hacia la solución del problema correcta. Si se incumple este criterio, la solución numérica puede oscilar de manera no física y divergir, como se muestra en la ecuación 14.

$$\tau = \frac{\alpha \Delta t}{\Delta x^2} \leq \frac{1}{2} \quad (14)$$

El comportamiento del decaimiento de la temperatura del molde con el tiempo de cada uno de los nodos se evaluará al evaluar cada uno de los elementos de la ecuación.

## 4.7. Análisis del ángulo de desmoldeo

En el análisis del ángulo de desmoldeo del bloque de aluminio 6061, donde se encuentra la cavidad del alojamiento del plástico fundido para moldear la figura plástica. Esta cavidad debe tener un ángulo de desmoldeo en el que se deslice suavemente fuera del molde gracias a una especie de rampa creada por el ángulo de desmoldeo. Esto es crucial porque el plástico se contrae al enfriarse y la pieza puede quedar atrapada en el molde si no hay suficiente ángulo de desmoldeo. Los factores que influyen en la elección del ángulo de desmoldeo incluyen la profundidad de la pieza, donde los componentes más profundos requieren un ángulo mayor que los más superficiales; el material de la pieza, ya que algunos, como el polietileno, se contraen más y necesitan un ángulo más alto; la textura de la superficie, pues las superficies lisas requieren un ángulo más bajo que las rugosas; y la complejidad de la pieza, donde las formas más complejas necesitan un ángulo mayor que las simples. Estos factores determinan el ángulo de desmoldeo ideal, recomendándose en general un valor de 1 a 3 grados (GudMould, 2020).

## 5.1. Descripción de metodología

Las tareas se dividieron en cuatro etapas. La investigación de moldes por compresión es la primera etapa. Los moldes por compresión están diseñados para contener el material a moldear y aplicar la presión necesaria para producir el producto final. El proceso consiste en colocar el material maleable en un molde, cerrarlo y ejercer presión para que se distribuya uniformemente dentro del molde el material y tome su forma final. En la segunda etapa, el diseño y los cálculos de un molde de compresión implican identificar los requisitos del producto final, crear un diseño conceptual y un modelo detallado en CAD, realizar simulaciones para optimizar el diseño, seleccionar los materiales adecuados, realizar cálculos estructurales, diseñar sistemas auxiliares, prototipar y probar el molde. En la tercera etapa, se detallaron los pasos del proceso de fabricación de un molde de compresión incluyendo el diseño del molde según los requisitos del producto, la selección del material para este caso un DHPE, el mecanizado del bloque de aluminio 6061 para formar la cavidad y los detalles varios del molde, el acabado para crear superficies precisas como: ángulo de desmoldeo, ensamblaje de partes del molde, pruebas y ajustes para garantizar su funcionalidad y calidad. La cuarta etapa fue la validación e iteración del molde por compresión, esto implicó la creación del prototipo del molde; se probó su calidad, se modificó el diseño según fuera necesario y se repitió el proceso hasta que las piezas moldeadas alcanzaron la calidad deseada.

### 5.1.1. Etapas

#### **Etapa 1: investigación previa**

Los principios fundamentales de un molde por compresión en el proceso de fabricación y las aplicaciones de los moldes son objeto de esta investigación preliminar. El moldeo

por compresión es un proceso en el que un material de caucho o plástico se coloca en un molde abierto y luego se aplica presión y calor para dar forma al producto final. El proceso de compresión no requiere equipos costosos y complejos, lo que lo hace adecuado para la producción de lotes pequeños a medianos y productos de formas complejas.

## **Etapa 2: diseño y cálculos**

Para determinar si se cumplieron los objetivos y se logró crear un prototipo competitivo con las alternativas comerciales, se realizarán cálculos de fundición del polímero y compresión de este en el molde utilizando los datos recopilados. También se verificará que todos los requisitos físicos o de desempeño se cumplieron. Se repetirá el proceso desde la etapa 2 hasta que se cumplan todas las metas establecidas en el protocolo del proyecto si no se cumplen algunos objetivos o requisitos.

## **Etapa 3: fabricación**

La fabricación de un molde por compresión incluye el diseño detallado del molde, la selección de materiales adecuados, el mecanizado de bloques de aluminio para formar cavidades y detalles, las técnicas de acabado, el ensamblaje de componentes, las pruebas de calidad y funcionalidad, además de la aplicación de tratamientos térmicos y recubrimientos. La optimización del diseño para garantizar una distribución uniforme del material y la implementación de sistemas de enfriamiento eficientes para controlar la temperatura durante el proceso de compresión son aspectos importantes a tener en cuenta durante la fabricación.

## **Etapa 4: validación e iteración**

La validación de un molde por compresión implica pruebas iniciales para verificar la calidad de las piezas moldeadas, y luego, en respuesta a los resultados de las pruebas, se realizan ajustes iterativos en el diseño del molde. Hasta que se obtienen las piezas moldeadas de la calidad requerida, estas etapas se finalizan y el molde se considera listo. La complejidad del molde y los estándares de calidad requeridos determinan el número de iteraciones necesarias a aplicar. Para el caso en particular fue necesaria una iteración del molde físico.

## 5.2. Requisitos

Cuadro 2: Identificación de códigos

Código	Descripción
DM	Diseño Mecánico
SG	Seguridad
CS	Costos

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3: Identificación de códigos

Código	Descripción
DM01	El sistema de fundición debe alcanzar al menos 170 °C.
DM02	El sistema debe poder fundir polímero no mayor a 5 mm de ancho.
DM03	El flujo de gas en la estufa puede ser ajustado.
DM05	El molde de aluminio debe poder soportar un precalentamiento de 100 °C.
DM06	El molde de aluminio pueda soportar una carga por compresión de 14,500 PSI.
DM07	El proceso de desmoldear la figura plástica no debe pegarse al molde.
SG01	El molde debe estar sujeto a la base de madera.
SG02	El manual de operación explica cómo usar los elementos de seguridad.
SG03	El usuario no debe presentar molestias musculares con el moldeo por compresión.
CS01	Los materiales empleados no exceden Q1,500.
CS02	La fabricación del molde de aluminio no excede Q1,700.

Fuente: Elaboración propia

## 5.3. Sistema de fundición

### 5.3.1. Energía para fundir el plástico

Se realizó un análisis termodinámico de la fundición de polietileno de alta densidad utilizando un sartén como base de fundición y una estufa de camping alimentada por gas propano como combustible para determinar si el plástico puede fundirse.

Se buscó la energía necesaria para fundir el polímero, después de conocer la cantidad de calor transferida por el quemador al área del sartén para verificar que el calor transferido en este sistema sea suficiente para fundir el plástico.

El calor latente de fusión del plástico que se obtiene del cuadro 1 y la masa del plástico de 0.03 kg se utilizan para determinar la cantidad de calor necesario para fundir HDPE. Para determinar la masa a fundir se utilizó Autodesk® Inventor®. En este se le indicó la densidad del modelo 3D a fundir y este calcula la masa con base a este dato y el volumen del modelo. La energía necesaria para cambiar de estado sólido a líquido se obtuvo con la ecuación 15.

$$E = m * lf \tag{15}$$
$$E = (0.03 \text{ kg})(178 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})$$
$$E = 5.34 \text{ kJ}$$

Este calor latente es para 150 °C, que es la temperatura promedio de un rango de cambio de fase del polímero. Es importante tener en cuenta que la ecuación solo se aplica a materiales puros que funden a una temperatura dada, como lo es el caso del HDPE. Si el material está compuesto por diferentes sustancias o si hay impurezas, la ecuación puede no ser precisa. Este material es puro para el caso en cuestión porque se confirmó que es de polietileno de alta densidad, con pruebas de visualización en la parte interan de las tapaderas de las botellas con la numeración 2 de reciclaje en ellas y con un código el cual se ingresó para conocer de que empresa era la botella, conociendo así su numeración del código del plástico, validando que el material si es HDPE.

El cuadro 1 muestra el calor específico del plástico, que tiene una masa de 0.03 kg, y la diferencia de temperatura necesaria para que el plástico se caliente hasta su punto de fusión, donde alcanza su temperatura máxima. Como se puede observar en la ecuación 16.

$$E = m * C_p * (T_f - T_o) \tag{16}$$
$$E = (0.03 \text{ kg})(1.93 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * ^\circ \text{C}})(150 \text{ } ^\circ \text{C} - 20 \text{ } ^\circ \text{C})$$
$$E = 7.527 \text{ kJ}$$

La suma de estas dos energías indica la cantidad de energía necesaria para fundir 0,03 kg de polietileno de alta densidad HDPE partiendo en el punto de fusión del plástico, iniciando en 20 °C de temperatura ambiente a 130 °C temperatura de fusión.

$$E_{HDPE} = E_1 + E_2 \quad (17)$$

$$E_{HDPE} = 5.34 \text{ kJ} + 7.527 \text{ kJ}$$

$$E_{HDPE} = 12.86 \text{ kJ}$$

Una estufa a gas propano, sartén de aluminio y gas propano. Ya conocida la energía necesaria para fusionar el HDPE, es necesario conocer la energía necesaria para elevar la temperatura del sartén a la temperatura de fusión del HDPE, como se muestra en la ecuación 16. La masa del sartén fue pesada en una báscula y la temperatura de fusión del polímero es de 130 °C, mientras que la temperatura ambiente es de 20 °C, y ambas temperaturas se producen en un promedio de 77,5 °C. El Cp del aluminio 6001, sartén, es de 0,9 kJ/kg\*°C a esa temperatura, la promedio. Se utilizaría este valor de Cp (ASM, 2023).

$$E_{\text{sartén}} = m * C_{p\text{sartén}} * \Delta T \quad (18)$$

$$E_{\text{sartén}} = (0.41 \text{ kg})(0.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}})(150 ^\circ\text{C} - 20 ^\circ\text{C})$$

$$E_{\text{sartén}} = 47.97 \text{ kJ}$$

Las energías necesarias para la fundición del polímero en el sistema se conocen. Se suman estas energías, que son las del polímero y la del sartén, se muestran en la ecuación 19.

$$E_{\text{total}} = E_{HDPE} + E_{\text{SARTÉN}} \quad (19)$$

$$E_{\text{Total}} = 12.86 \text{ kJ} + 47.97 \text{ kJ}$$

$$E_{\text{Total}} = 60.83 \text{ kJ}$$

Figura 2: Elementos de fundición



### 5.3.2. Tiempo para fundir plástico HDPE

Es crucial tener una comprensión completa del material que se utilizará en su presentación. La estructura de pellets del polietileno de alta densidad (HDPE) se muestra en la Figura 3. La forma del polietileno en pellets hace que tenga un mejor contacto con el área de fundido, lo que evita que el material se sobrecaliente al fundirse y se debilite, perdiendo sus propiedades mecánicas por el sobrecalentamiento. Es importante tener en cuenta que los pellets de polietileno deben ser de tamaño pequeño y no deben tener un diámetro superior a 3 mm como primer paso. Esto ayudará a distribuir uniformemente el calor al fundir el plástico.

Para calcular la potencia, es necesario conocer el flujo másico del gas propano. Se encendió el gas dos veces a su máxima potencia durante 7 minutos. Después, se pesó el gas en una báscula y se calculó una pérdida promedio de 14 gramos de gas durante el tiempo establecido. Esto permitió descubrir el flujo másico del gas mientras la llama avanza hacia su punto máximo. Se utilizó la ecuación 20 para el flujo másico.

$$\begin{aligned}\dot{m} &= \frac{m}{\text{tiempo}} & (20) \\ \dot{m} &= \left(\frac{14.5 \text{ g}}{7 \text{ min}}\right)\left(\frac{1 \text{ kg}}{100 \text{ g}}\right)\left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}\right) \\ \dot{m} &= 3.45 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{seg}}\end{aligned}$$

La ecuación 20 muestra cómo multiplicar el flujo másico por el poder calorífico del gas propano, de 11,780 kcal/kg (CNGEurope, 2023), para conocer la potencia del quemador y para conocer el tiempo de fundición la ecuación 21. Pero no se utilizó el 100% de la llama del gas para fundir el polímero, se colocó la perilla del quemador de gas en el nivel dos. Se obtuvo un flujo masico de  $1.780 \times 10^{-5} \text{ kg/seg}$ .

$$P = \dot{m} * PCI \tag{21}$$

$$P = (1.725 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{seg}})(11,780 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}})(\frac{4.18 \text{ kJ}}{1 \text{ Kcal}})$$

$$P = 0.85 \text{ kW}$$

Conociendo estos datos, se procedió a calcular el tiempo de fundición del plástico, que se muestra en la ecuación 22. Donde se toma en cuenta la eficiencia de la hornilla de gas del 40% (Omega, 2023).

$$Tiempo = \frac{E_{Total}}{0.4 * P} \tag{22}$$

$$Tiempo = \frac{60.83 \text{ kJ}}{0.4 * 0.85 \text{ KW}}$$

$$Tiempo = 178.9 \text{ seg} = 2 \text{ min } 58 \text{ seg}$$

El sistema en fundición tiene un tiempo de 179 segundos para pellets de HDPE. Se deben tener en cuenta los siguientes factores: el tamaño del polímero debe ser inferior a 5 mm, ya que el área de contacto de la sartén con él es pequeña y su fundición sería prolongada si se presenta en una forma más grande de la establecida. Por esta razón, se utiliza con pellets, que son un material muy común en la industria del plástico. Los pellets de polietileno de alta densidad, son un material fantástico para moldear una amplia gama de figuras de plástico. Y es una excelente base para pruebas del material, ya que si se funde adecuadamente, es una buena base para comparar con el material triturado. Si este material cumple con la fundición y el moldeado, es mejor usar los pellets de DHPE como guía para el plástico triturado. Otro factor es la consideración de un ambiente controlado en el que no se toman en cuenta las ráfagas de viento y no se producen pérdidas por convección. La potencia de la estufa de gas propano es la única pérdida que se tiene en cuenta.

La figura 03 muestra el material en pellet, la figura 04 muestra el material de tapaderas de botellas de desecho y la figura 05 muestra la colocación del material a fundir.

Figura 3: Pellets HDPE



Figura 4: Pellets triturados de tapas de botellas



Figura 5: Pellets de HDPE, colocación adecuada para fundición



### 5.3.3. Procedimiento para la fundición

Los dispositivos mencionados anteriormente (sartén, estufa de gas y tanque de gas propano) se utilizan en el procedimiento de fundición. Para comenzar, pesar el tanque de gas propano en la báscula para asegurarse de que haya gas suficiente para iniciar la llama; el tanque vacío pesa 0.095 kg, si no pesa eso, cambiar de tanque de gas. Para su primer uso, la sartén se encuentra a temperatura ambiente. Se utilizaron guantes, lentes de protección transparentes y mascarilla para protegerse de los gases que se liberan al fundirse el polímero.

Figura 6: Sistema de fundición, con tapas plásticas trituradas



Se coloca un recipiente en una báscula y se tara la báscula; se agregan 0.031 kg de HDPE. El peso del material se calculó utilizando el apartado de Autodesk® Inventor®, se buscó este material en la librería de materiales del programa. Se agrega el polímero a la sartén y se espera a que llegue a su punto de fusión para que inicie el cambio de estado, siendo un material con unas propiedades maleables. Con ayuda de una espátula se retira el material del sartén y se vierte en el molde de aluminio, previamente calentado a una temperatura de 100 °C. El plástico se coloca en el molde y se tapa con una tapa de aluminio, cubriendo el área de la cavidad del molde.

## 5.4. Diseño de la cavidad del molde

### 5.4.1. Primeros diseños de una figura de plástico

El diseño de la cavidad del molde y la simulación del maquinado del bloque de aluminio se realizaron utilizando el software Autodesk® Inventor® en el apartado CAM. Se determinó inicialmente que la figura plástica sería una figura 3D a escala del volcán con una base circular que dijera volcán de Agua en el perímetro de la figura, ya sea como adorno o como llavero. Se utilizó la herramienta web Map2stl para crear modelos STL imprimibles en 3D a partir de cualquier lugar de la tierra para obtener la imagen 3D. Se eligió la ubicación, se configuraron los parámetros de escala, se creó el modelo y se descargó el archivo. El panel de herramientas para crear el STL se muestra en la figura 06. El modelo impreso en 3D se puede ver en la figura 07 para determinar si cumplía con las características físicas del volcán de Agua.

Figura 7: Map2stl

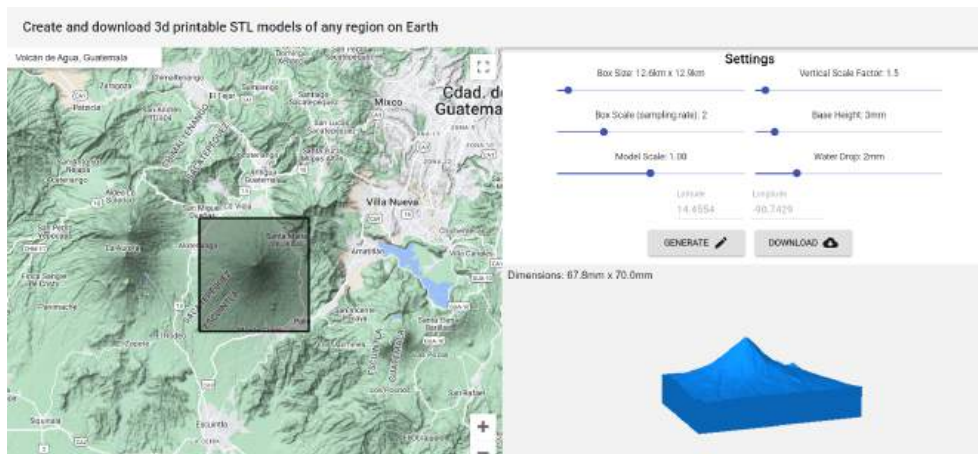
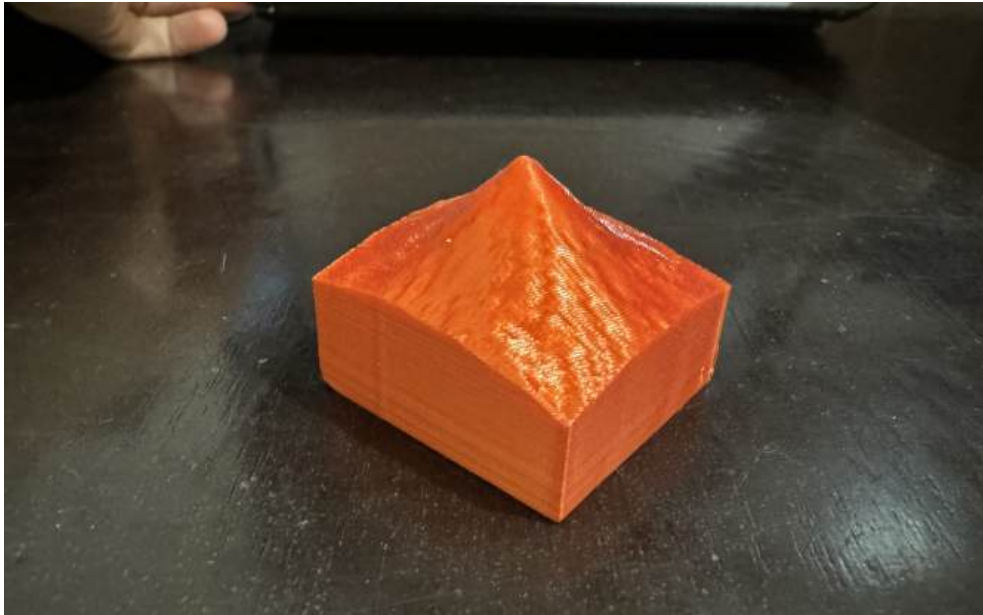
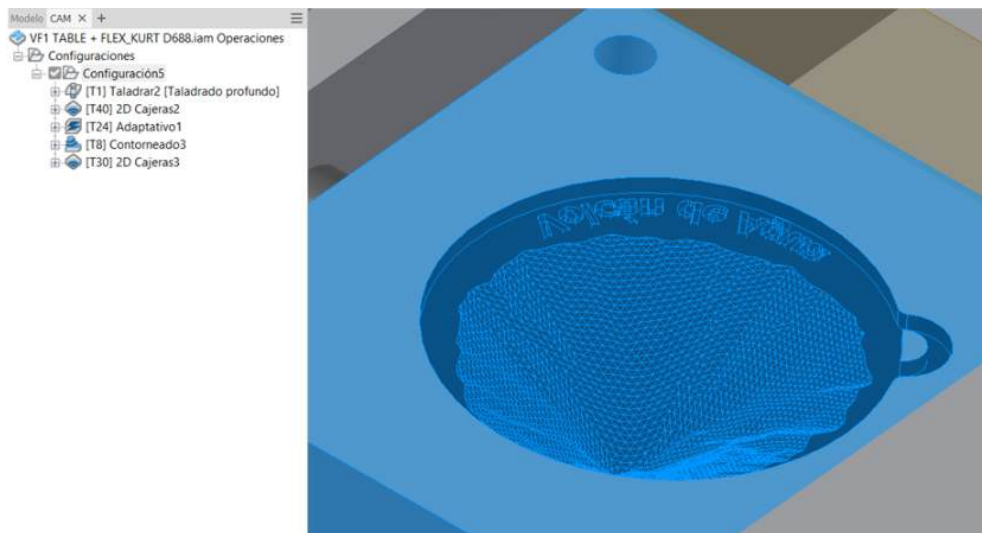


Figura 8: Modelo volcán de Agua 3D



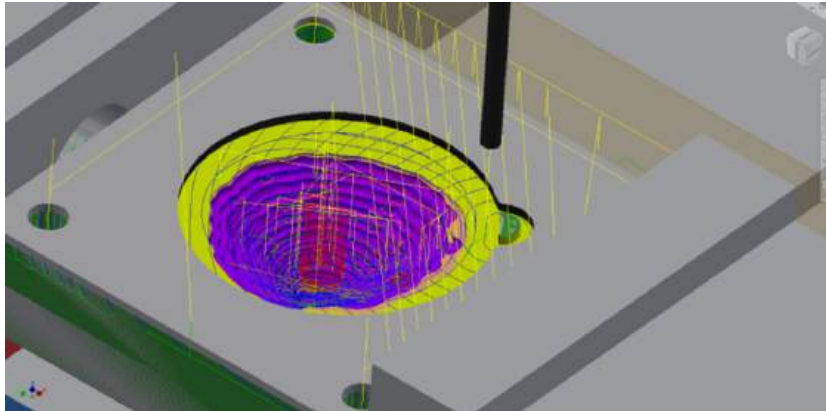
Se llevó a cabo una prueba de maquinado de un molde de aluminio con esta cavidad después de evaluar el modelo en 3D. El inicio del reconocimiento de la cavidad del molde se muestra en la figura 08. La simulación del maquinado de la cavidad del molde se muestra en la figura 09.

Figura 9: Operaciones de CAM



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Figura 10: Trayectoria de corte



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

#### 5.4.2. Selectividad del diseño de figura de plástico

Debido a que el reconocimiento del área del volcán de Agua con la herramienta Map2stl no muestra la forma cóncava de la cima del volcán, se descartó este modelo de figura plástica en 3D. Y al ser la figura tan pequeña no se podían ver los detalles del volcán y determinar que este si era el volcán de agua y no cualquier volcán. El modelo CAM cuenta problemas con el archivo STL porque no reconoce componentes de maquinado esenciales.

Se buscó una representación en dos dimensiones del volcán de Agua de un espesor de 4.5 mm como segunda etapa. Se optó por un porta vasos que representara el volcán con una base circular que indicara Volcán de Agua en el perímetro de la figura. Para el diseño de la figura, se utilizaron dos dibujos diseñados por una persona externa, a la cual se le indicó el diseño que se deseaba para el portavasos. Los modelos se muestran en las imágenes 10 y 11.

Figura 11: Diseño



Diseñado por Pablo R. Tezó. Arquitectura, USAC

Figura 12: Diseño

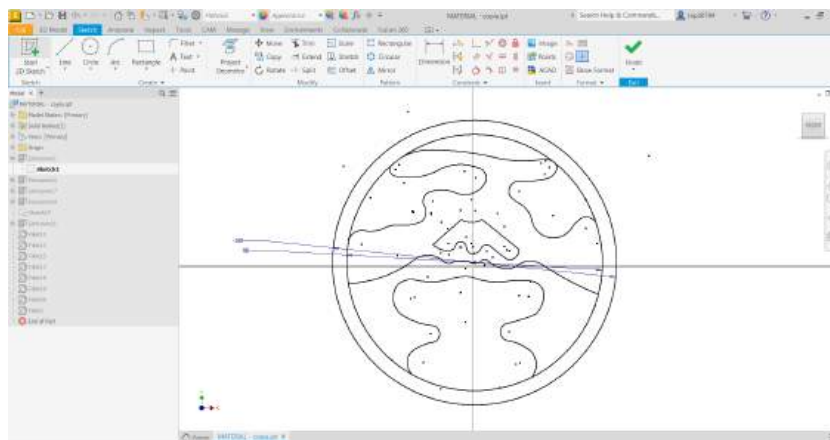


*Diseñado por Pablo R. Tezó. Arquitectura, USAC*

Se optó por el porta vasos de la Figura 11 entre los dos modelos disponibles. El enlace manufactura, un proceso que se utiliza para optimizar el diseño de un producto para que sea más fácil y económico de fabricar, fue la razón por la que se eligió este diseño.

Cuando se eligió este modelo, se tuvo que eliminar algunos elementos que ya estaban en este diseño y agregar otros, con el fin de facilitar la manufacturación del modelo final y al mismo tiempo capturar los detalles característicos de la figura. Modelo dibujado en Autodesk® Inventor® como se muestra en la figura 12.

Figura 13: Diseño



*Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.*

### 5.4.3. Selección de herramienta

Con el diseño ya establecido, se necesita capturar los detalles del dibujo y primordialmente el de las letras. En este se usó un tipo de maquinado en el apartado de CAM que sigue la trayectoria de las letras; esto con el fin de crear una simulación que permitiera visualizar el tipo de grabado que dejaría la fresa sobre el material. Con ello se eligió la herramienta para la serigrafía de las letras. Se tomó en cuenta lo que se podría lograr con las fresas de corte utilizadas en el torno HASS VF-1. El cuadro número 04 muestra las herramientas de corte utilizadas. La serigrafía de las letras se realizó con la herramienta de fresa de bola de 1/16", que tenía como desafío que podría dañarse durante el maquinado. Las demás herramientas fueron seleccionadas debido al espacio disponible donde trabajaría. Si el espacio es muy amplio, es recomendable utilizar una herramienta de fresa de mayor diámetro, lo que implica una mayor remoción de material. Se emplea una herramienta de fresa de menor diámetro si el espacio es limitado; esto aumenta el tiempo de maquinado, pero permite trabajar en áreas con poco espacio.

Cuadro 4: Tabla de herramientas de corte

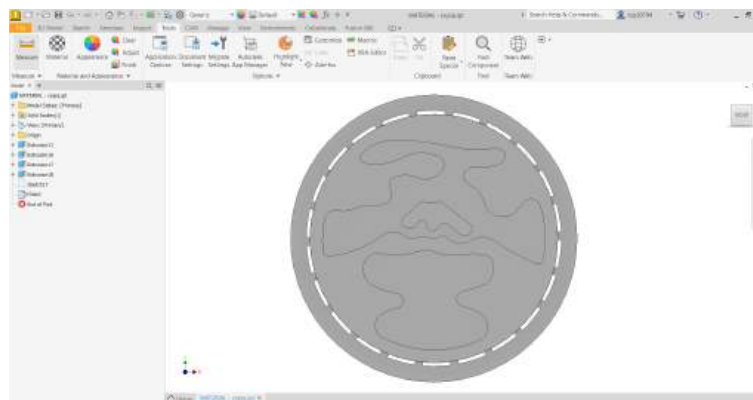
Tipo de fresa	Diámetro de fresa (in)
Fresa plana	3/4"
Fresa plana	3/16"
Fresa plana	1/8"
Fresa de bola	1/16"

Fuente: Elaboración propia

### 5.4.4. Diseño de pines extrusores y grabado de letras

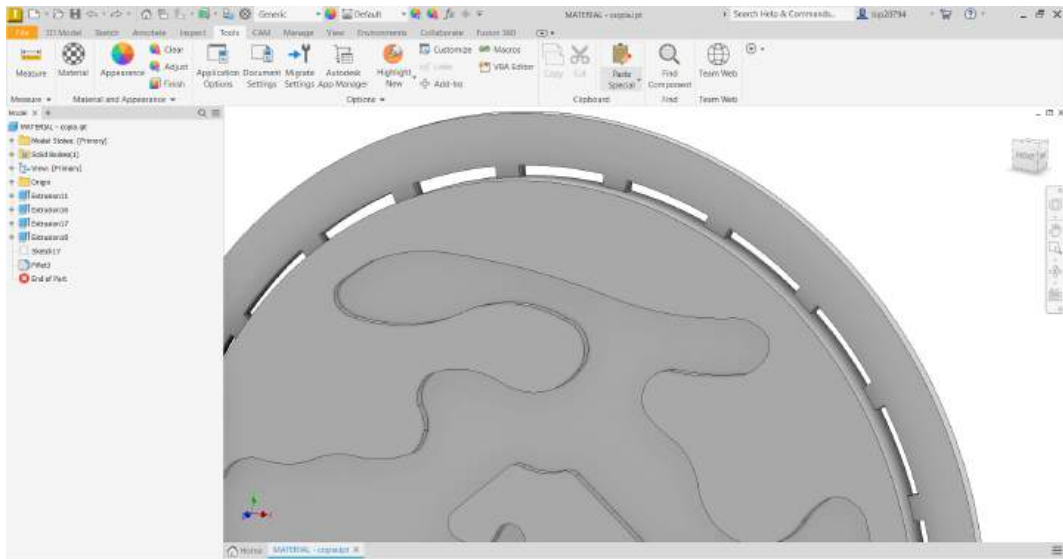
El portavasos tiene un diámetro de 10 cm y un espesor de 0.4 cm. Pero cuando la figura se plasma en la cavidad del molde, el polímero debe expandirse por toda la cavidad. La solución fue usar pines extrusores laterales de 1/8" de ancho, colocados en el perímetro mayor que el diámetro del portavasos. De esta manera, el material se esparce en toda la cavidad y el restante se extrae para ser utilizado de nuevo. Los pines extrusores se muestran en la figura 13 y en la figura 14, respectivamente a detalle. En la figura 15, la parte posterior.

Figura 14: Pines estrusores, vista frontal



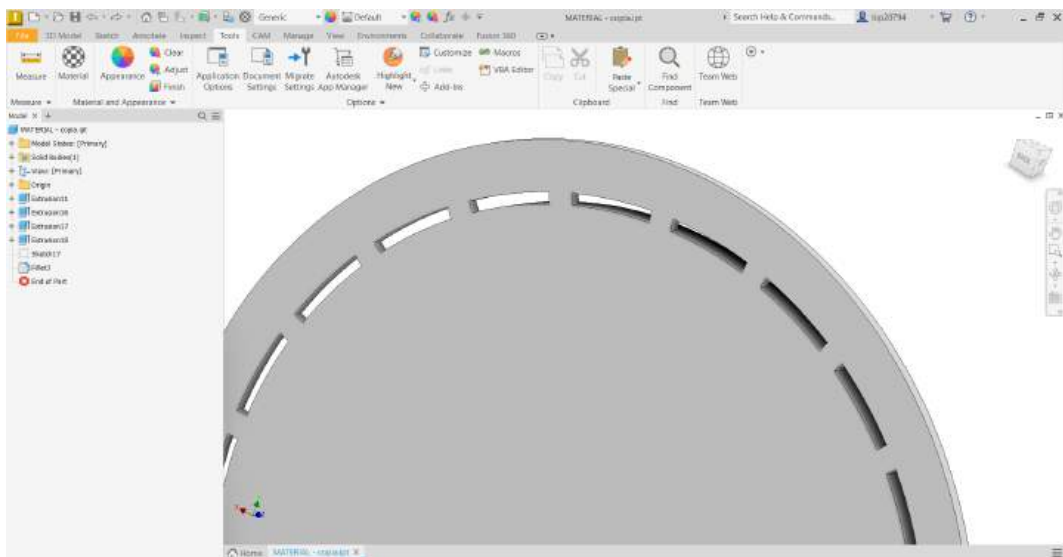
Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Figura 15: Pines estrusores, vista lateral



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

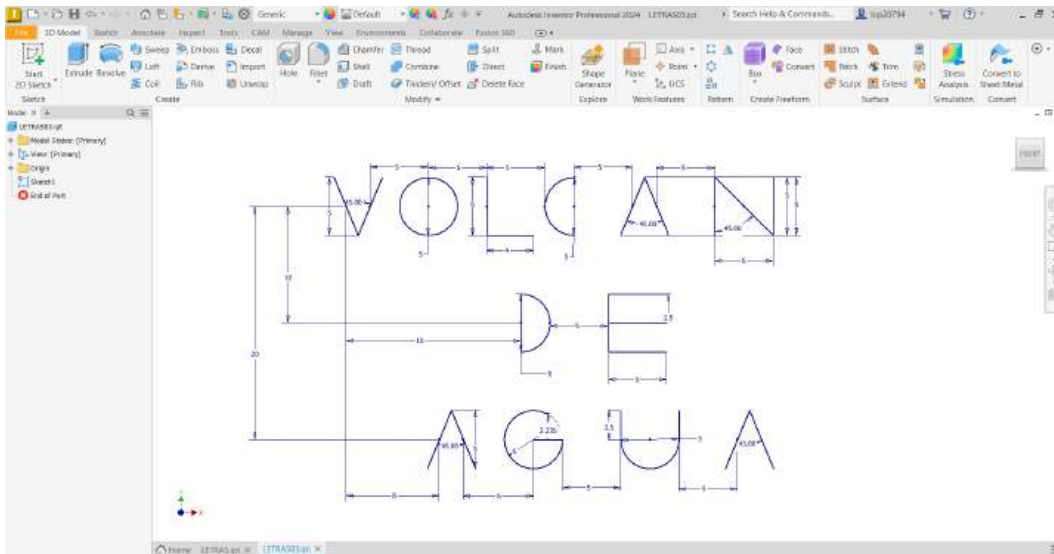
Figura 16: Pines estrusores, vista trasera



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

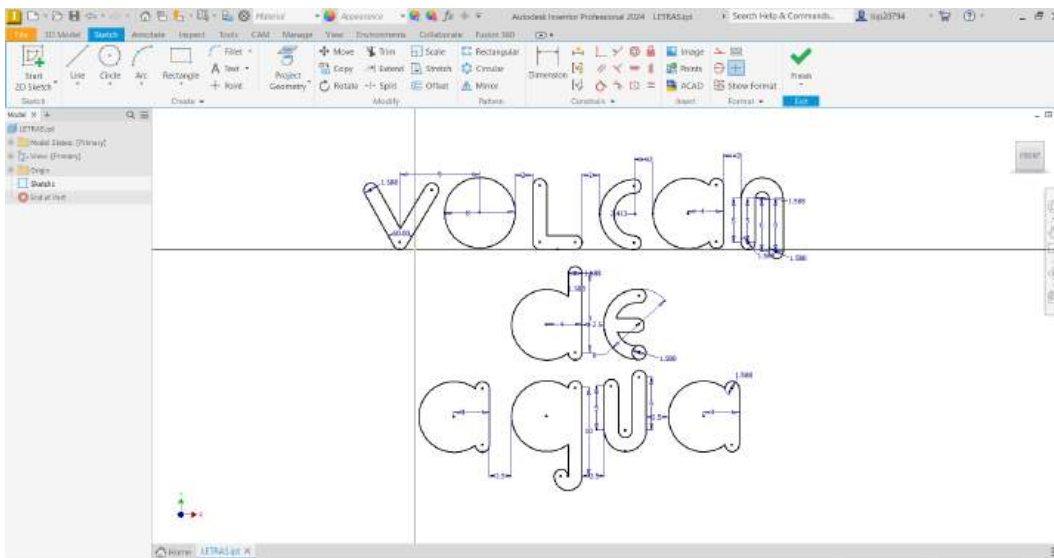
La figura 12 muestra el espacio disponible para colocar una serigrafía mediante un maquinado de una fresa de bola de un diámetro de  $1/16''$ . La figura 16 muestra un trazo de las letras del volcán de Agua. Estas letras ayudaron a plasmar en el apartado CAM y mostrar un ejemplo de cómo se uniría el modelo con la fresa de bola mencionada anteriormente. Después de repetir el trazo de las letras, se descubrió que con el diámetro de la fresa de bola a una profundidad específica, las letras tendrían su diseño final en el molde, como se muestra en la Figura 17.

Figura 17: Trazo de letras, iteración 01



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

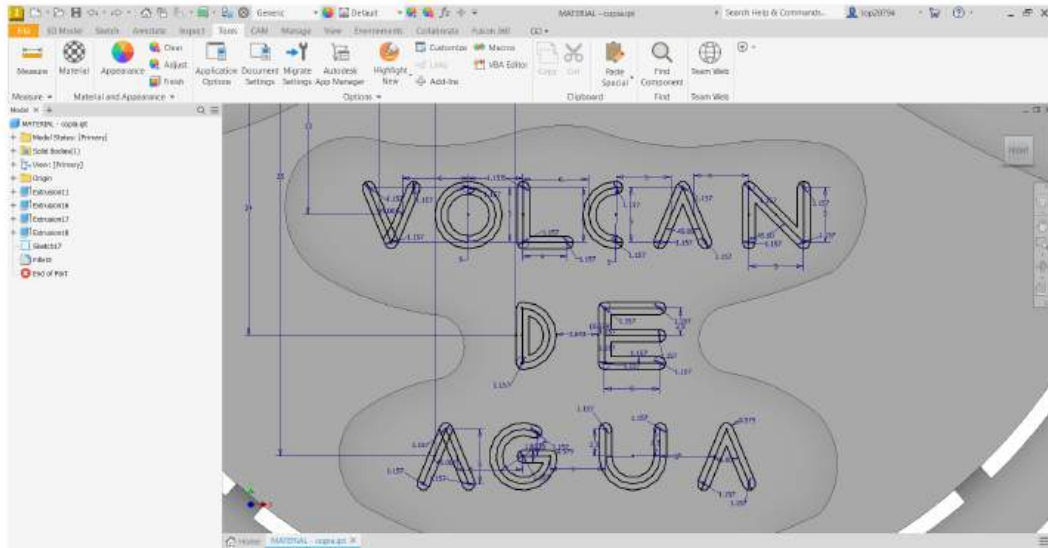
Figura 18: Trazo de letras, diseño final



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

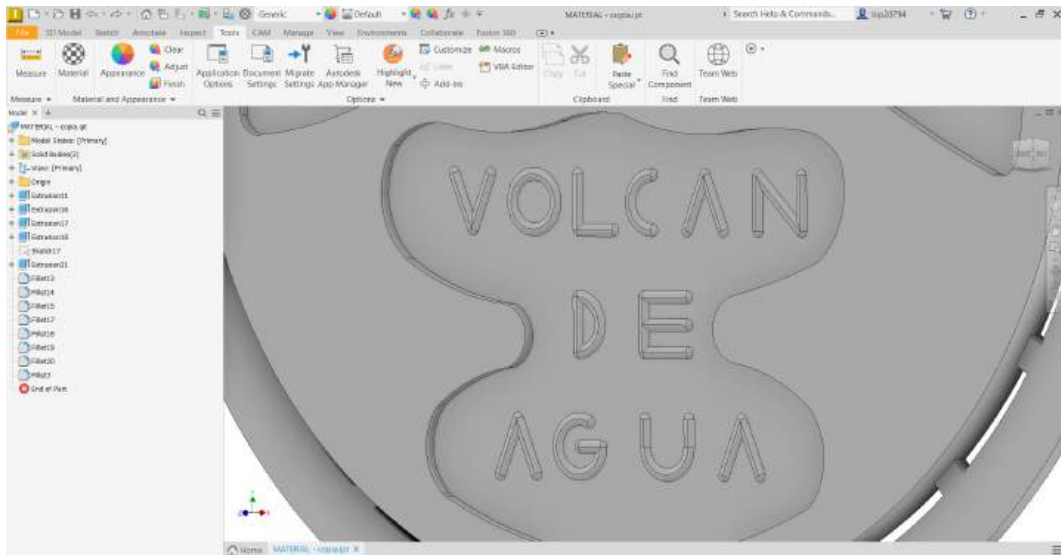
Al tener el diseño final, las letras se colocan en la cavidad del molde, como se muestra en la figura 18, y se realiza una extrusión similar a la de un domo. Esto se debe a que cuando la fresa de bola retire material a una cierta distancia, la cavidad tendrá esa forma, como la de un domo. La figura 19 muestra esto.

Figura 19: Trazo de letras, en cavidad



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

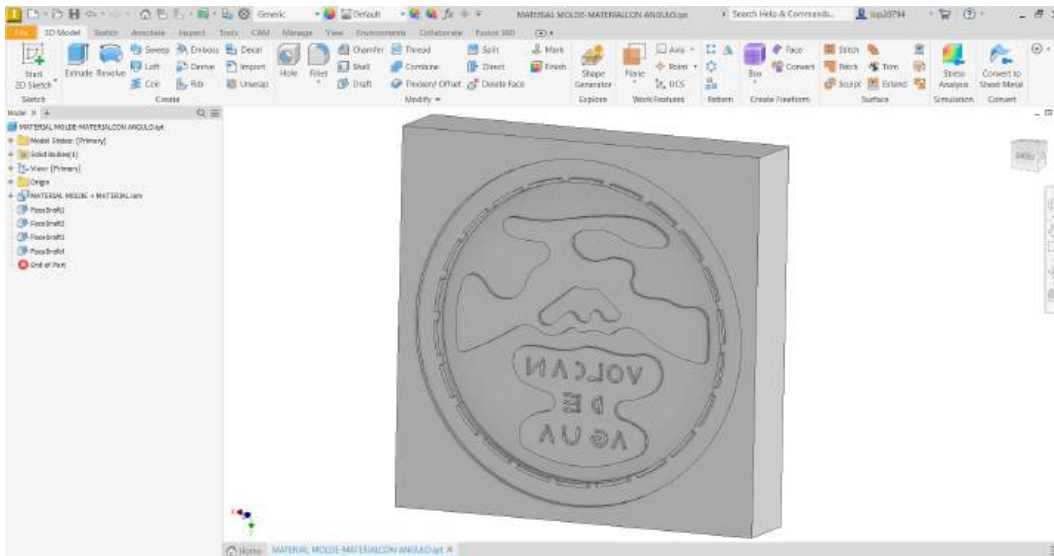
Figura 20: Trazo de letras, modelo final



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Después de completar el diseño, como se visualiza en la figura 19 y colocados los ángulos de desmoldeo adecuados para la extracción de la figura, se llevó a cabo una operación en Autodesk® Inventor® para crear la cavidad del molde con un bloque de aluminio 6061 de 5x5x1", como se muestra en la figura 20.

Figura 21: Molde de aluminio 6061

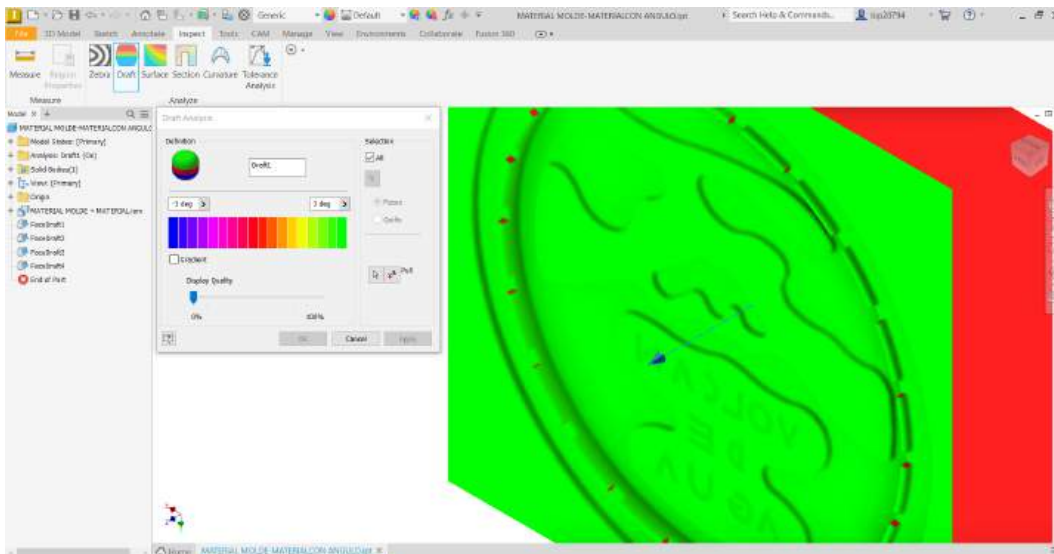


Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

#### 5.4.5. Ángulo de desmoldeo

Se utiliza un ángulo de desmoldeo de 3 grados, para materiales como HDPE y PP, para retirar el molde en la cavidad. Este ángulo permite que la figura plástica pueda salir de la cavidad del molde cuando se solidifica. El color verde indica el ángulo de desmoldeo aplicado, mientras que el color rojo indica dónde no hay ángulo, como se puede ver en la figura 21.

Figura 22: Ángulo de desmoldeo



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

#### 5.4.6. Velocidades del corte de avance

Las velocidades de corte y avance de cada fresa son importantes para que no se dañe el material ni la fresa pierda sus propiedades de corte. En el cuadro 05 se visualizan las velocidades de corte y de mesa para cada fresa.

Para estas fórmulas se utilizaron los datos tabulados por el fabricante en el tipo de herramienta usada, en este caso de Garr Tool.

Formula de velocidad de corte

$$RPM = \frac{V_c * 12}{\pi * Diamhta} \quad (23)$$

Formula de velocidad de avance

$$Avance(f) = RPM * Fz * Z \quad (24)$$

Cuadro 5: Tabla de velocidad de corte y avance

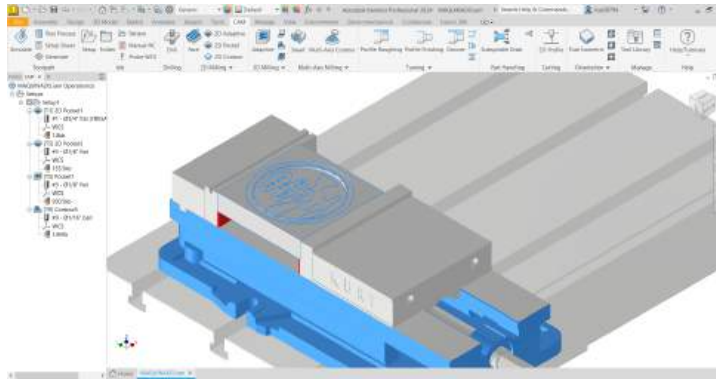
Tipo de fresa	Velocidad de corte RPM	Velocidad de avance (mm/min)
Fresa plana 3/4"	2550	950
Fresa plana 3/16"	7500	600.2
Fresa plana 1/8"	7500	355
Fresa de bola 1/16"	7500	180

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.7. Maquinado CNC

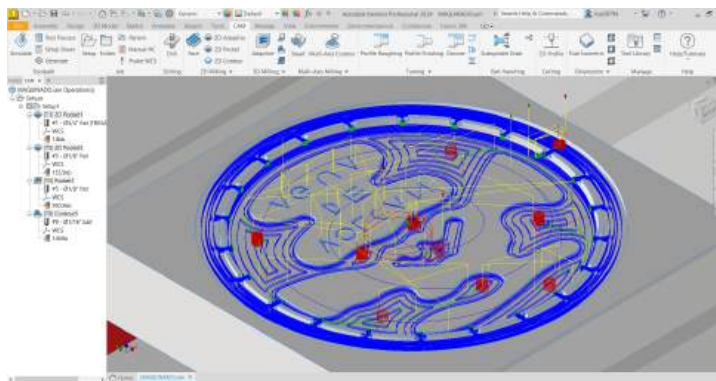
En el apartado CAM se coloca el molde en una prensa de sujeción, en este caso la del torno CNC Haas VF-1. Se hace la simulación de cada una de las herramientas de trabajo, como ilustra la Figura 22. Durante la simulación del modelo CAD del molde, se realizaron cinco operaciones de corte con las fresas mencionadas anteriormente. Esto ayudó a determinar la factibilidad del maquinado, en este caso el molde de aluminio, como ilustra la figura 23. Los trazos azules significan que la fresa está en contacto con el material y lo elimina, mientras que los trazos amarillos significan que no está en contacto con el material; se traslada la herramienta. Se cumplió con un enlace manufactura que garantiza que la herramienta funcione correctamente, ya que hay más trazos azules que amarillos en la simulación de corte. Esto nos brinda un tiempo de maquinado de 02:10:45.

Figura 23: Mesa de trabajo Haas VF-1



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Figura 24: Trayectoria de maquinado



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Figura 25: Medición de la altura de la herramienta de corte utilizando una alsa de 20mm.



A continuación se muestran el molde final manufacturado en el torno HAAS VF-1.

Figura 26: Molde aluminio 6061 maquinado



Figura 27: Molde aluminio 6061 maquinado vista lateral



## 5.5. Diseño de la tapa del molde

Se emplea el mismo aluminio 6061 para crear la tapa del molde, que tiene un espesor del material de 1/2 pulgadas, largo y ancho de 5 1/2 pulgadas. El material se trabaja en el careado de cada una de las caras inicialmente, para tener un mejor acabado de la pieza. Una silueta cuadrada en el centro del material, con una profundidad de 4 mm y la medida del cuadrado interno es de 5.011 pulgadas en cada uno de sus lados; este se trabaja en el interior de la tapadera para representar la parte exterior del molde centrado, ya que la tapadera tiene como función alojar el molde dentro y evitar que se mueva.

El cuadro 06 muestra una lista de las herramientas de corte utilizadas. Aunque se llevó a cabo con estas herramientas, que estaban disponibles en la máquina de trabajo, es posible que se utilicen otras medidas de herramientas de corte para este propósito, porque no es CNC.

Cuadro 6: Tabla de herramientas de corte, para careado en fresadora

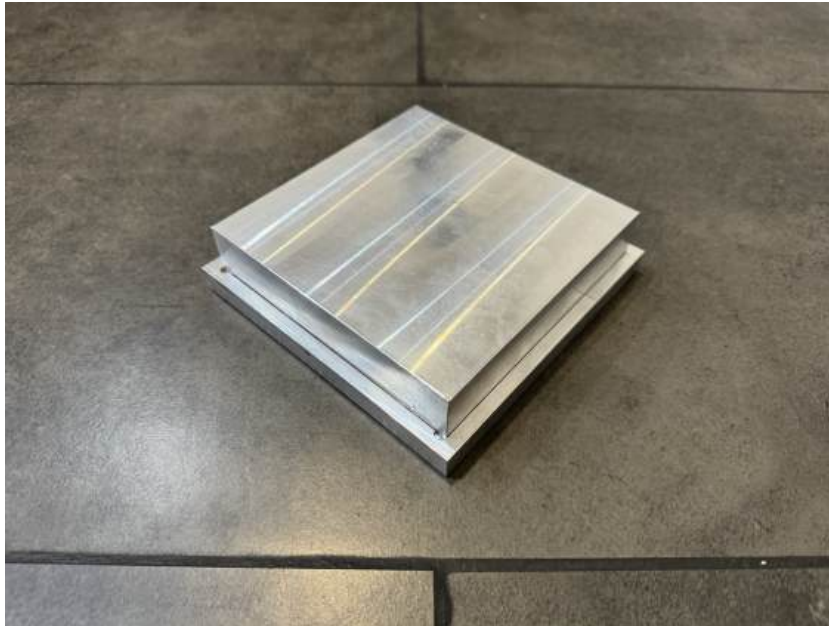
Tipo de fresa	Diametro de fresa (in)
Fresa plana	3/4"
Fresa plana	3/16"
Fresa plana	1/8"

Fuente: Elaboración propia

Figura 28: Tapadera del molde



Figura 29: Tapadera del molde con molde



Al molde se le elevara su temperatura a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Se debe de tomar en cuenta expansión del molde al calentarse a esa temperatura, siendo un aluminio 6061 con un coeficiente de expansion alpha de  $23.9 \times 10^{-6} \text{ m/m } ^{\circ}\text{C}$  (Fremont, 2022).

Se determinó la tolerancia en cada lado en el que se introduzca el molde en la tapa, para asegurar que, al ser introducido con la tapa, no se atore. Se utilizó la fórmula de expansión térmica lineal; la tolerancia de la tapadera de aluminio debe ser mayor que la expansión térmica del molde caliente para que pueda entrar sin problemas. Se utilizó el coeficiente de expansión alpha, longitud inicial de cubo y la diferencia de temperatura ambiente a la temperatura que se quiere lograr elevar el cubo.

$$\Delta L_{exp.lin} = \alpha * L * \Delta T_{Dif}. \quad (25)$$

$$\Delta L_{exp.lin} = (23.9 \times 10^{-6} \text{ m/m}^{\circ}\text{C}) * (0.14\text{m}) * (75^{\circ}\text{C})$$

$$\Delta L_{exp.lin} = 0.26\text{mm}$$

Para que el cubo de aluminio caliente pueda ingresar sin problemas en el otro cubo, la tolerancia de este último debe ser mayor que la expansión térmica del cubo caliente. En este caso, la tolerancia mínima recomendada sería de 0.26 mm.

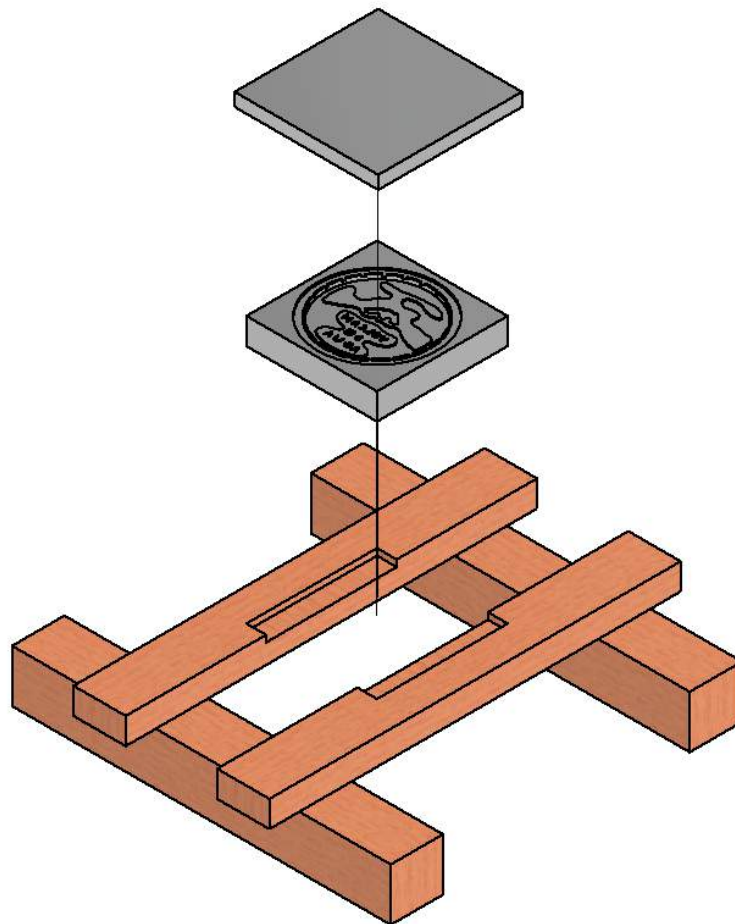
### 5.5.1. Esquema del molde por compresión

El perímetro del molde tiene pines extrusores que liberan material cuando se aplica carga por compresión en la cavidad del molde. Esto permite que el material se esparza bien allí.

Para calcular la presión ejercida en la mordaza tipo C se utilizó la ecuación 24. Donde los datos obtenidos se mide el diámetro de paso de la mordaza tipo C usada y una fuerza promedio de 32.15 kg para apretar los sargentos. Este valor se obtiene de capacidad que, en promedio, un hombre puede aplicar con su mano derecha (Muños, 2016).

$$Avance(f) = \frac{F * d_m}{2} * \frac{l + \pi * d_m}{\pi * d_m - lf} \quad (26)$$

Figura 30: Sistema de compresión



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Figura 31: Sistema de compresión



Una prensa de sujeción en C aplica presión al molde mediante una placa fija del mismo material que el molde. Esta prensa puede producir una presión de 200 PSI. Los componentes de plástico suelen tener presiones de moldeo por compresión de 150 a 1000 PSI. (Formlabs, 2021) Como resultado, se aplica la presión adecuada al molde y se crea la figura plástica.

### 5.5.2. Tiempo necesario para precalentar y enfriar el molde de aluminio

Para el calentamiento del molde de aluminio es necesario conocer la potencia del gas a su flama máxima, iteración ya antes obtenida. Se utilizó la fórmula 27 para calcular la nueva potencia al calentar el molde.

$$P = \dot{m} * PCI \quad (27)$$

$$P = (3.45 \times 10^{-5} \frac{kg}{seg})(11,780 \frac{kcal}{Kg})(\frac{4.18 KJ}{1 Kcal})$$

$$P = 1.7 kW$$

Se calcula la energía necesaria para elevar la temperatura del molde a 100 °C. La masa del molde se pesó en una balanza y el Cp del molde de aluminio 6061 a una temperatura de 100 °C es de 0,9 kJ/kg\* °C (ASM, 2023). Se utilizo la ecuación 28.

$$E_{Al} = m * Cp_{Aluminio6061} * \Delta T \quad (28)$$

$$E_{Al} = (0.997 \text{ kg})(0.902 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ \text{C}})(100 \text{ } ^\circ \text{C})$$

$$E_{sarten} = 89.93 \text{ kJ}$$

En la ecuación 29, se calcula la energía necesaria para aumentar la temperatura de la tapadera del molde.

$$E_{Al} = m * Cp_{Aluminio6061TAPA} * \Delta T \quad (29)$$

$$E_{Al} = (0.528 \text{ kg})(0.902 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ \text{C}})(100 \text{ } ^\circ \text{C})$$

$$E_{sarten} = 47.63 \text{ kJ}$$

Se cálculo el tiempo necesario para el pre-calentamiento del molde de aluminio 6061, se utilizo la ecuación 30.

$$Tiempo = \frac{E_{Total}}{0.4 * P} \quad (30)$$

$$Tiempo = \frac{89.93 \text{ kJ}}{0.4 * 1.7 \text{ kW}}$$

$$Tiempo = 132.25 \text{ seg} = 2 \text{ min } 12 \text{ seg}$$

Se cálculo el tiempo necesario para el pre-calentamiento de la tapa del molde de aluminio 6061, se utilizo la ecuación 31.

$$Tiempo = \frac{E_{Total}}{0.4 * P} \quad (31)$$

$$Tiempo = \frac{47.63 \text{ kJ}}{0.4 * 1.7 \text{ kW}}$$

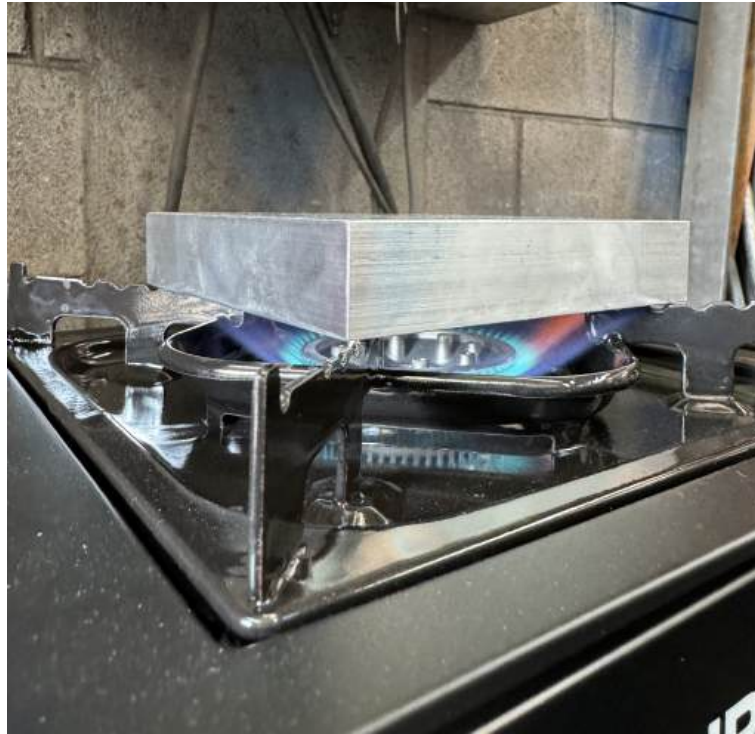
$$Tiempo = 70.04 \text{ seg} = 1 \text{ min } 10 \text{ seg}$$

Figura 32: Pre calentamiento



*Nota: Posición de la cavidad del molde de aluminio sobre la estufa de gas propano donde sale la llama del gas*

Figura 33: Pre calentamiento



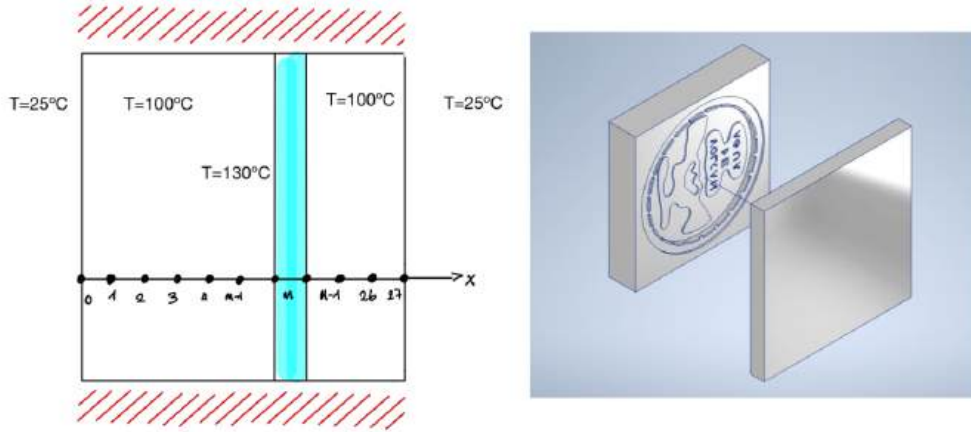
*Nota: Posición de la cavidad del molde de aluminio sobre la estufa de gas propano donde sale la llama del gas, vista 02*

El tiempo de espera para que el molde de aluminio se enfríe con el polímero vertido en la cavidad a una temperatura ambiente es aproximadamente de 02:51:02. No se puede esperar demasiado tiempo para realizar otra prueba de moldeo; sin embargo, el HDPE comienza a ablandarse y volverse más maleable a temperaturas ligeramente inferiores a su punto de fusión. Es decir, entre los 90 °C y los 110 °C. El tiempo establecido de enfriamiento es de 00:12:00, aunque este no es el período de tiempo en el que la pieza de aluminio con el polímero interno se enfría completamente a una temperatura ambiente, es el momento en el que la temperatura del polímero baja a los 97 °C. Una temperatura a la que el polímero se encuentra en un estado en el que ya se puede tocar, es maleable porque no es líquido, sino más bien una consistencia más viscosa y moldeable, similar a la de la goma de mascar. Para calcular

el tiempo de enfriamiento se analizó el sistema como un régimen transitorio, en el que varía la temperatura de enfriamiento del molde con el tiempo y se calculó utilizando métodos numéricos, que describen el comportamiento del sistema en situaciones complicadas. La

conducción de calor en régimen transitorio se tomó sin los extremos del molde de aluminio, para simplificar los datos y visto en dirección horizontal como se muestra en la figura 35. Los puntos nodales y los elementos de volumen se utilizarán para formular las diferencias en el régimen transitorio de la conducción de calor unidimensional en una pared plana en el molde. Con un total de 27 nodos, se evaluaron los nodos 12 y 13 donde se encuentra la cavidad del molde y está situado el HDPE.

Figura 34: Número de nodos y dirección del calor en nodos



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

La formulación en diferencias finitas en régimen transitorio para un nodo interior general, que comprende conducción de calor desde dos de sus lados, se puede expresar como se muestra en la ecuación 30. Donde  $\alpha = \frac{k}{\rho c_p}$  es la difusividad térmica del material de la pared, en este caso el material del aluminio.

Describe la dirección del calor para el comportamiento del enfriamiento del molde de aluminio y cómo este se comporta con la temperatura exterior con los números de nodos evaluados en el molde.

$$h_i(T_i - T_1^j) + k \frac{T_2^j - T_1^j}{\Delta x} = \rho \frac{\Delta x}{2} c \frac{T_1^{j+1} - T_1^j}{\Delta t} \quad (32)$$

Con esta ecuación se hizo para cada uno de los nodos, en este caso 27, comprendiendo cada uno de ellos en el enfriamiento del molde. Pero también con un criterio de estabilidad en métodos numéricos, como el método explícito para resolver ecuaciones de conducción de calor, el criterio de estabilidad establece una condición sobre el tamaño del paso de tiempo  $\Delta t$  para garantizar que la solución numérica converja hacia la solución del problema exacta. La solución numérica puede oscilar de manera no física y divergir si se incumple este criterio, como se muestra en la ecuación 31.

$$\tau = \frac{\alpha \Delta t}{\Delta x^2} \leq \frac{1}{2} \quad (33)$$

Evaluado cada uno de los aspectos dentro de la ecuación para la conducción de calor, en la figura 36 vemos el comportamiento del decaimiento de la temperatura del molde con el tiempo, de cada uno de los nodos.

Figura 35: Enfriamiento del molde de aluminio con los 27 nodos

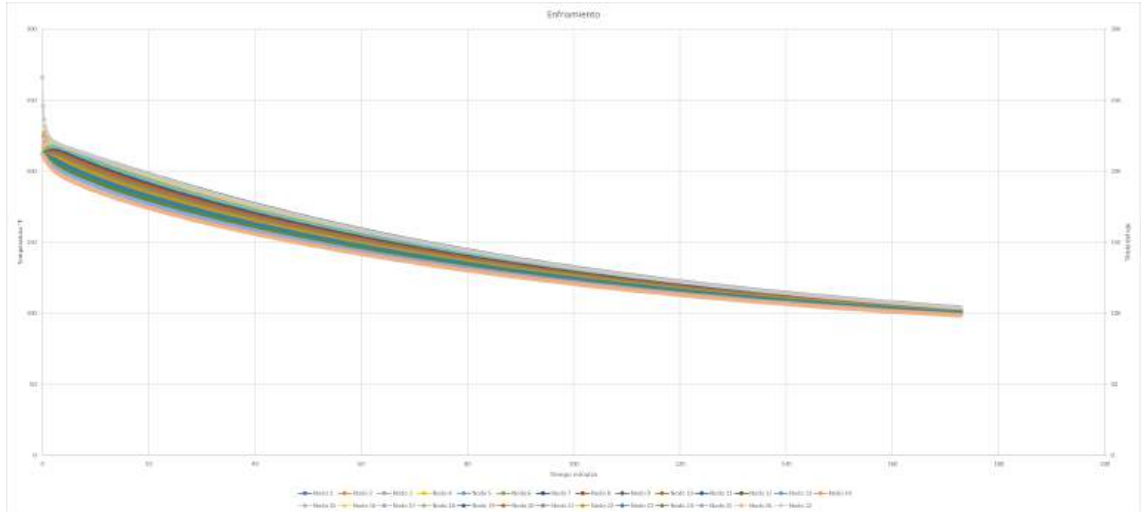


Figura 36: Enfriamiento del molde de aluminio



*Nota: Posición de la cavidad del molde de aluminio sobre la base de madera*

## 6.1. Requisitos

Se visualizan los requisitos que se cumplieron durante el proceso de creación de la figura de plástico, en el cuadro 6, desde los componentes principales a usar hasta los mínimos a considerar en la sección de requisitos de este proyecto.

Cuadro 7: Requisitos cumplidos

Código	Requisitos	Cumplido
DM01	El sistema de fundición debe alcanzar al menos 170 °C.	SI
DM02	El sistema debe poder fundir polímero no mayor a 5 mm de ancho.	SI
DM03	El flujo de gas en la estufa de gas debe poder ser ajustado.	SI
DM05	El molde de aluminio debe poder soportar un precalentamiento de 100 °C.	SI
DM06	El molde de aluminio pueda soportar una carga por compresión de 14,500 PSI.	SI
DM07	El proceso de desmoldear una figura plástica no debe pegarse al molde.	SI
SG01	El molde debe estar situado a la base de madera.	SI
SG02	El manual de operación explica cómo usar los elementos de seguridad.	SI
SG03	El usuario no debe presentar molestias musculares con el moldeo por compresión.	SI
CS01	Los materiales empleados no exceden Q1500.	SI
CS02	La fabricación del molde de aluminio no excede Q1700.	SI

Fuente: Elaboración propia

## 6.2. Tiempo de precalentamiento del molde

El cuadro 8 molde con cavidad y el cuadro 9 molde sin cavidad presentan el tiempo de precalentamiento, donde la prueba 3 es el tiempo para precalentar el molde inmediatamente después de la prueba 2.

Cuadro 8: Tiempos de precalentamiento del molde con cavidad

Pruebas	Tpo.(Exptl) mm:ss	Tpo.(Teórico) mm:ss	Error %
Prueba no.1 (Una figura plastica)	01:46	02:12	31.1 %
Prueba no.2 (Dos figuras plasticas)	01:46	02:12	31.1 %
Prueba no.3 (Dos figuras plastica)	00:20	00:17	17.6 %

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 9: Tiempos de precalentamiento del molde sin cavidad

Pruebas	Tpo.(Exptl) mm:ss	Tpo.(Teórico) mm:ss	Error %
Prueba no.1 (Una figura plastica)	1:03	01:10	6.3 %
Prueba no.2 (Dos figuras plasticas)	1:03	01:10	6.3 %
Prueba no.3 (Dos figuras plastica)	00:12	0:13	7.6 %

Fuente: Elaboración propia

## 6.3. Temperatura del molde de aluminio

Las figuras 36 y 37 muestran la temperatura alcanzada por los moldes con y sin cavidad. La cámara termográfica FLUKE-PTi120 se utilizó para realizar la prueba pintando una de las caras de los moldes y registrando la temperatura.

Figura 37: Temperatura del molde de aluminio con cavidad

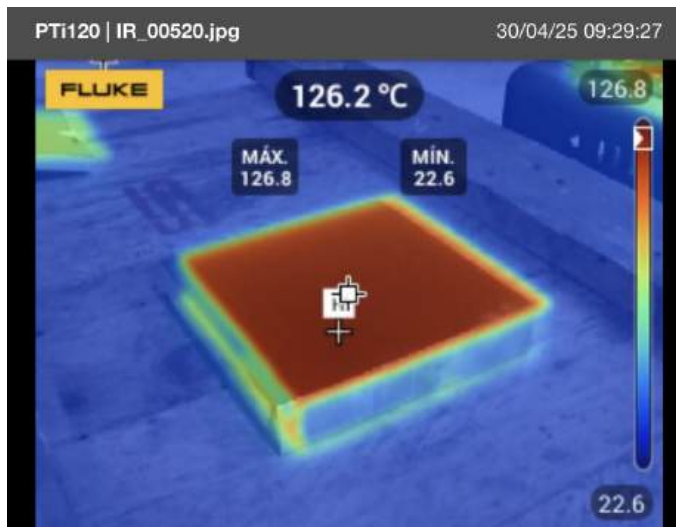
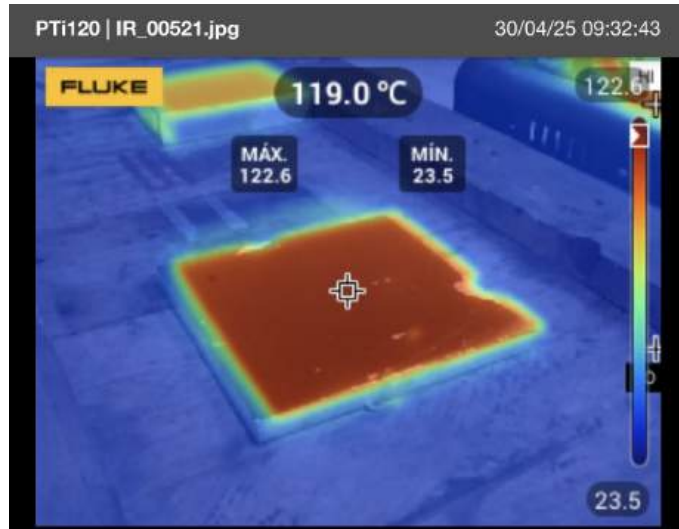


Figura 38: Temperatura del molde de aluminio sin cavidad



Evaluación visual del precalentamiento del molde de aluminio, con prueba de gota de agua sobre el molde calentado previamente. Se verificó que este haya alcanzado la temperatura de 100 °C. Si una gota de agua se evapora en menos de 7 segundos sobre el molde, se establece que ha alcanzado una temperatura de 100 °C. En la prueba de dos iteraciones se finaliza una y sigue posteriormente la segunda prueba, como resultado dos figuras plásticas.

Cuadro 10: Inspección de calentamiento del molde

Pruebas	Se evaporo o no
Prueba no.1 (Una figura plastica)	Sí
Prueba no.2 (Dos figuras plasticas)	Sí
Prueba no.3 (Dos figuras plastica)	Sí

Fuente: Elaboración propia

## 6.4. Tiempo de fundición del polimero

Datos sobre los tiempos de fundido de polietileno de alta densidad para las pruebas de una y dos iteraciones.

Cuadro 11: Tiempos de fundición del polimero

Pruebas	Tpo.(Exptl) mm:ss	Tpo.(Teórico) mm:ss	Error %
Prueba no.1 (Una figura plastica)	4:48	2:58	73.54 %
Prueba no.2 (Dos figuras plasticas)	4:41	2:58	77.82 %
Prueba no.3 (Dos figuras plastica)	5:31	3:07	72.96 %

Fuente: Elaboración propia

## 6.5. Tiempo de enfriamiento del molde con figura plástica

El tiempo de enfriamiento del molde es de 03:02:15 a una temperatura ambiente de 25 °C. En el cuadro 12 se tomó el tiempo de espera para poder retirar la figura de plástico a una temperatura de 97 °C.

Cuadro 12: Tiempos de fundición del polimero

Pruebas	Tpo.(Exptl) mm:ss	Tpo.(Teórico) mm:ss	Error %
Prueba no.1 (Una figura plastica)	10:56	12:00	12 %
Prueba no.2 (Dos figuras plasticas)	11:39	12:00	5.83 %
Prueba no.3 (Dos figuras plastica)	11:19	12:00	6.7 %

Fuente: Elaboración propia

## 6.6. Inspección visual de figuras plástica

### 6.6.1. Inspección visual de acabado superficial de fugura plástica

Esta sección analiza la calidad final de la figura de plástico. Esta muestra los mismos detalles de la cavidad del molde.

Cuadro 13: Inspección de la figura plástica prueba 01

Pruebas	(SI/NO)
La figura de plástico tiene burbujas superficiales	NO
La figura de plástico captó la cavidad completa de la cavidad del molde	Sí
La figura de plástico tiene un acabado liso en su superficie	Sí

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 14: Inspección de la figura plástica prueba 02

Pruebas	(SI/NO)
La figura de plástico tiene burbujas superficiales	NO
La figura de plástico captó la cavidad completa de la cavidad del molde	Sí
La figura de plástico tiene un acabado liso en su superficie	Sí

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 15: Inspección de la figura plástica prueba 03

Pruebas	(SI/NO)
La figura de plástico tiene burbujas superficiales	NO
La figura de plástico captó la cavidad completa de la cavidad del molde	Sí
La figura de plástico tiene un acabado liso en su superficie	Sí

Fuente: Elaboración propia

## 6.7. Precios

Cuadro 16: Costo de adquisición de los materiales utilizados

Descripción	Precio (Q)
Bloque de aluminio 6061 6x6x1 pulgadas	Q 250.00
Bloque de aluminio 6061 6x6x0.5 pulgadas	Q 175.00
Estufa de gas propano	Q 179.99
Dos sargentos tipo C de 3 pulgadas	Q 56.00
Sarten de aluminio 18 cm	Q 79.00
Guantes de cuero	Q 23.20
Gas butano 8 Oz	Q 14.95
Lentes de seguridad EN 166	Q 17.49
Bascula digital para cocina	Q 100.00
Mascarilla con cartucho, filtro AKEB	Q 79.00
Espatula 2 pulgadas	Q 22.99
Ocho tornillos busca rosca zinc 5/16X3 pulgadas	Q 7.45
Madera tratada 2"x2"8'	Q 43.50
Pinza de punta y corte 7 pulgadas	Q 39.99
Tijera tipo costurero	Q 36.99
Lija, numero de grano 80	Q 4.89
Gotero	Q 22.00
Precio Total	Q 1,152.44

Fuente: Elaboración propia

## 6.8. Molde de aluminio

### 6.8.1. Material

El molde por compresión está dividido en dos partes: una para la cavidad de la figura de plástico y otra para la tapa que cierra la cavidad.

Cuadro 17: Dimensiones del molde

Descripción	Material	Dimensiones (in.)
Molde con cavidad	Aluminio 6061	5x5x1
Molde sin cavidad, cierre	Aluminio 6061	5.5x5.5x0.5

Fuente: Elaboración propia

La cavidad del molde de aluminio tiene un volumen de 31362.732 mm<sup>3</sup> o 0.03 kg.  
Presión ejercida en el molde con prensa hidráulica de 10 toneladas.

Figura 39: Presión ejercida en molde



### 6.8.2. Diseño

El área de diseño de la cavidad del molde tiene un diámetro de 3.9 in y una altura de 0.16 in. El diseño final de la figura en la cavidad se muestra en la imagen 40.

Figura 40: Diseño final de figura plástica



*Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.*

### 6.8.3. Maquinado

Las herramientas de trabajo que se presentan a continuación se utilizaron para remover material de la cavidad del molde, con el diseño elegido.

Cuadro 18: Herramientas de corte

Tipo de fresa	Diametro de fresa (in.)
Fresa plana	3/4"
Fresa plana	3/16"
Fresa plana	1/8"
Fresa de bola	1/16"

Fuente: Elaboración propia

La cavidad del molde se maquina con el listado de herramientas anterior, tubo un tiempo de maquinado de 02:10:45 en el torno NCN Haas VF-1.

Figura plastica final en la imagen 41

Figura 41: Figura plástica



El cuadro 19 presenta los costos de producción del molde de aluminio con cavidad y el molde de aluminio sin cavidad (tapadera). Los gastos asociados al trabajo del molde con cavidad incluyen el desbaste de sus caras para ajustar el molde a las dimensiones finales de 5x5x1 in, así como el mecanizado de la cavidad utilizando los instrumentos detallados en el cuadro 18. Este proceso se lleva a cabo en una fresadora CNC Haas VF-1, con un tiempo de maquinado de 02:10:00.

Y los costos asociados al trabajo del molde sin cavidad (tapadera) incluyen el careado de cada una de sus superficies, con el objetivo de ajustar el molde a las dimensiones finales de 5.5x5.5x0.5 in. Además, se contempla el mecanizado de la cavidad utilizando las herramientas especificadas en el cuadro 18; todo ello realizado en una fresadora convencional.

Cuadro 19: Costo de trabajo para la fabricación del molde de aluminio

Descripción	Precio (Q)
Bloque de aluminio con cavidad	Q 1,500.00
Bloque de aluminio sin cavidad (tapadera)	Q 175.00
Precio Total	Q 1,675.00

Fuente: Elaboración propia

---

### Discusión de resultados

---

Desde el cuadro de requisitos, se pudo observar que se cumplió a cabalidad cada uno, mostrando cómo el diseño del sistema de moldeo de figuras plásticas del volcán de Agua logró lo que se buscaba en cuanto a lo mecánico, económico y de seguridad.

Para un sistema de fundición por gas, como se ha definido, se logró el requisito DM01 al alcanzar la temperatura de 170 °C, comprobada con un pirómetro, que puede registrar cifras hasta los 200 °C, diferente a la de la cámara termográfica utilizada, con un rango final de 150 °C. Es beneficioso para el sistema, ya que el sistema necesitaba esta temperatura requerida, pues si no se consigue llegar a esa temperatura, se complicaría la fundición del material. El material tiene un punto de fusión de 130 °C; sin embargo, se pretendía encontrar algo que excediera esa temperatura.

"Las pruebas tuvieron diferentes tiempos de precalentamiento del molde con y sin cavidad. Teóricamente, se requería un tiempo de espera mayor para precalentar el molde a 100 °C, pero se obtuvo un tiempo menor. Ya que con los tiempos teóricos la temperatura de precalentamiento estuvo en los 127 °C y en algunos casos mayor a 150 °C, límite de la cámara termográfica Fluke PTi120. Esto se comprobó con la cámara termográfica, pero de igual forma se quería conocer el tiempo experimental al cual el molde elevaba su temperatura a los 100 °C. Al momento de hacer la captura de imagen con la cámara termográfica hubo un percance, ya que el material estaba careado en todas sus caras; la cámara termográfica no captaba una temperatura exacta, ya que por el brillo del material no era posible para la cámara captar una imagen clara de la temperatura. Se procedió a pintar una de las caras del material en color negro mate. Las temperaturas tomadas a los 100 °C y tiempo cronometrado dieron un tiempo de espera menor para precalentar el molde a 100 °C. Esto demostró un menor tiempo para el control térmico de la pieza, en este caso para piezas de aluminio 6061 no mayores a una pulgada de espesor y áreas de 25 pulgadas cuadradas. Y es beneficioso disponer de un mejor tiempo para precalentar el molde de aluminio, pues contribuye a optimizar los tiempos en el proceso de producción de las figuras de plástico y

satisfaciendo el requisito DM05 para el precalentamiento del molde de aluminio, que soporta esta temperatura de acuerdo a pruebas previas.

Los tiempos de fundición experimental no coincidieron con los valores teóricos, con un error promedio del 72.8 %. Esto demuestra que los cálculos teóricos del sistema de fundición fallan en precisión. La diferencia entre los tiempos teóricos y experimentales es que las pruebas se realizaron en un entorno lo menos posible libre de corrientes de viento para evitar pérdidas por convección. Sin embargo, hay otras pérdidas en el sistema porque solo se consideró la eficiencia de la estufa de gas como pérdida. Otro valor a tener en cuenta es el área de calentamiento de la sartén porque no es la misma que la cavidad del molde y se pierde calor al calentar la sartén en su totalidad. Otro aspecto por considerar, y el más significativo, fue que el tamaño del material a fundir inicialmente no era lo suficientemente, lo que hizo que, durante las pruebas experimentales, se necesitara más tiempo del calculado para que todo el material se fundiera ya que el calor tardaba más en llegar al centro del material triturado. Se realizaron pruebas iniciales con el material seleccionado sin previa trituración; las tapas de las botellas se cortaron, pero en una escala de trituración más grande, en hojuelas de alrededor de 15 mm. Los resultados de la prueba fueron inútiles porque el material no se fundió y las propiedades del polímero se desgastaron, debido a que el material al atravesar su punto de fusión emitió humo en gran cantidad y posteriormente empezó a consumirse a través de fuego. Sin embargo, los pellets de polietileno de alta densidad, que son de tamaño pequeño de 5 mm, se utilizaron como base para una prueba más confiable. Además, los resultados son satisfactorios para los métodos de moldeo como el de inyección utilizando estos pellets, y se utilizaron como base por su apariencia física del material. Las pruebas con pellets fueron bastante buenas, con un porcentaje de error del 21 %. Debido a su geometría, los pellets funcionan del todo bien para el modelo teórico del tiempo. Como se mencionó anteriormente se obtuvo un error del 72.8 % en las tapas de botellas desechadas utilizando el material de hojuelas de 5 mm, se cumplió con el requisito DM02 al contar con un ancho de este componente. Y para lograr que el material si se fundiera en su totalidad se corrigió el tiempo variando el flujo de gas, lo que indica que se logro el requisito DM03 al variar este, alargando la duración del proceso de fundición para mejorar la totalidad de la fundición del material.

El tiempo de enfriamiento del molde fue analizado a la prueba utilizando ecuaciones de transferencia de calor y métodos numéricos para garantizar que las piezas moldeadas pudieran ser sacadas del molde a una temperatura segura de 97 °C en un tiempo de 00:12:01 ya que, si se dejara que enfriara a la temperatura ambiente, la cual inicio la prueba, el tiempo se extendería hasta 03:20:00 de enfriamiento. Un tiempo demasiado alto para retirar una figura plástica. Se encontraron oportunidades para la extracción de esta figura a esta temperatura, pero se encontró un margen de error entre los tiempos teóricos y experimentales de un 11 %, lo que se consideró aceptable. Debido a que el molde no tiene ningún método externo que lo ayude a enfriar más rápidamente, a pesar de estas consideraciones del sistema, si se obtuvieron resultados satisfactorios al remover la figura de plástico del molde a esa temperatura y tiempo. Cuando se extrae la figura se logro el requisito DM07, dado que el molde posee un ángulo de desmoldeo este facilita una fácil extracción de la figura plastica y su consistencia chiclosa lo hace más manejable para colocarlo en un lugar donde tome rigidez y tenga el acabado final. La consistencia chiclosa se debe a que el material no ha alcanzado una temperatura estable como la del entorno, donde ya estaría rígida, lo que implica que a la temperatura de 97 °C, este presentará una apariencia chiclosa pero controlable con el

equipo de seguridad.

El molde se coloca sobre una base firme de madera para añadir el plástico fundido en su cavidad. Posteriormente, se realiza la compresión del material utilizando sargentos sobre el molde, este procedimiento cumple con el requisito SG01. Y no es necesario aplicar una carga alta de presión como la que requiere el requisito DM06 para el proceso de moldeo de la figura plástica. No obstante, este requisito se valida mediante una prensa hidráulica de 10 toneladas, como se muestra en la figura 39, donde el molde se ubica en la sección del cilindro de compresión. Sobre el molde se coloca una placa de acero que reparte de manera equitativa en el área de la cara del molde la presión, la cual ejerce 14,500 PSI. A pesar de esta alta presión, el molde no sufrió daños, lo que garantiza que futuros procesos de compresión con mordaza tipo C operen correctamente sin comprometer la integridad del molde. Dado que el plástico, al alcanzar su temperatura de fusión, adquiere un estado chicoso, no es necesaria una mayor fuerza para que el material adopte la forma de la cavidad. Esto es ventajoso, ya que permite moldear figuras de plástico sin deteriorar el molde. No es imprescindible aplicar más presión que la que se logra manualmente con los sargentos, ya que un exceso de fuerza dispersaría el material hacia los costados, creando una capa fina de desperdicio y generando un derroche de material.

Las figuras plásticas moldeadas mostraron una excelente calidad superficial, sin defectos visibles como burbujas o imperfecciones. Y la cavidad del molde si fue llena completamente con la cantidad del material a verter. El que se halla replicado con éxito la cavidad del molde es por los resultados mediante el seguimiento de los manuales de producción y ensamble, al igual que el manual de manejo y mantenimiento de la máquina, fue al logro de los requisitos SG02 y SG03. Que detalla correctamente cada paso a seguir, garantizando una buena calidad en los productos finales, no excediendo los costos de material y mano de obra en la manufactura del molde. Logrando los requisitos CS01 y CS02, dado que los fondos de adquisición no excedieron Q1,500, estos costaron Q1,152.44, mientras que el costo laboral para la fabricación del molde de aluminio no excede Q1,700, estos costaron Q1,675. Ambos datos representados en los cuadros 16 y 17.

1. Se diseñó y fabricó un sistema para la creación de figuras plásticas que representan el volcán de Agua, utilizando polietileno de alta densidad triturado como materia prima. Este sistema ha cumplido con las características de diseño y desempeño requeridas, garantizando la calidad y precisión en la elaboración de las figuras a recrear.
2. Se definió como método de fundición de polímero el uso de una estufa de gas propano, lo que facilita su manejo y permite su aplicación en áreas que no dependen de una red eléctrica, en comparación con una estufa eléctrica.
3. Se estableció una figura plástica definida como un portavasos con la silueta del volcán de Agua de Guatemala, con un diámetro de 10 cm y un espesor de 4 mm.
4. La especificación de las dimensiones estructurales de la máquina de fundición y moldeo, con un molde con cavidad de 5x5x1 in y una tapa de 5.5x5.5x0.5 in, junto con un sistema de fundición de 34x11 cm, permitió asegurar un diseño compacto y funcional. Estas medidas fueron fundamentales para garantizar una operación eficiente de la máquina, logrando una distribución óptima del material y una producción precisa de las figuras plásticas.
5. La fabricación de la máquina diseñada permitió validar el proyecto, cumpliendo con las especificaciones y garantizando un proceso eficiente para la elaboración de las figuras plásticas. Su operación demostró ser precisa, confiable y repetitiva, validando el diseño. La validación del sistema demostró que tiene la capacidad de crear figuras plásticas con la forma del volcán de Agua de manera precisa y eficiente. Las pruebas demostraron que el molde y el proceso de fundición funcionan correctamente, cumpliendo con las especificaciones del diseño y asegurando la calidad de las figuras producidas.
6. Los manuales de fabricación, ensamble, mantenimiento y uso de la máquina ofrecieron instrucciones claras y detalladas para su correcta operación y mantenimiento. Estos documentos garantizan que el proceso de construcción y funcionamiento sea replicable y accesible, lo que facilita la comprensión y el uso efectivo de la máquina. Además, el mantenimiento adecuado prolonga su vida útil.

---

### Recomendaciones

---

1. Se recomienda analizar la posibilidad de un sistema de precalentamiento que cuente con más control de la temperatura y posiblemente con más fuentes de calor para mejorar la distribución del calor en los moldes. Una opción puede ser un calentador por medio de resistencias eléctricas tipo horno con resistencias arriba y abajo.
2. Se recomienda la implementación de un sistema de monitoreo y control de temperatura, como sensores y monitores, para optimizar las condiciones de enfriamiento, precalentamiento y fundición. Esta actualización aumentará la precisión del control térmico, la estabilidad del proceso y la consistencia del producto final.
3. Se recomienda utilizar un sistema de compresión hidráulico o mecánico computarizado que aplique una presión controlada y precisa para el tipo de molde utilizado. Esto mejorará la consistencia y la calidad del trabajo al permitir una manipulación más eficiente del molde y reducir las posibles complicaciones derivadas del proceso manual.
4. Se recomienda ampliar la escala del proyecto para evaluar su viabilidad a nivel industrial, explorando la producción de nuevas figuras utilizando una variedad de tipos de desechos plásticos. Esta expansión garantizará la sostenibilidad del proceso y su posible impacto en la industria al validar su eficiencia en un entorno de mayor capacidad y diversificación de materiales.

- A.L, A. (2022). Protección a las fuentes de agua a partir de la gestión integral de desechos sólidos, Ecosistemas Proyectos Ambientales, S.A.
- Arizadmin. (2021). What the color of your propane flame means. *Propane Arizona*, 9(3), 157.
- ASM. (2023). 6001 Series Aluminum Allo, Aluminum Alloys, 39.
- Buchwald, N. (1996). *Metodología para el diseño de moldes*. Tecnologías.
- CNGEurope. (2023). Fuel Calorific Value. *Eatam Ltd.*, 9(1), 14.
- Covill, D. (2019). Making a mould tool using a CNC machine. *Digital Fabrication Module*, 71.
- Dem, K. (2023). Polyethylene and Polypropylene. *Omnexus, The material selection platform*, 9(1), 947.
- Douplik, A. (2014). Fourier's law of thermal diffusion is frequently used to describe the conduction of heat. *Science Direct*, 9(3), 433.
- Formlabs. (2021). Guía para el moldeo por compresión: desde la creación de prototipos hasta la producción en cadena.
- Fremont. (2022). Aluminium 6061 Machining Manufacturing.
- Gall, B. L., Schweighuber. (2020). Plastic bottle cap recycling characterization of recycle composition and opportunities for design for circularity. *MDPI*, 4(2), 468.
- GudMould. (2020). *Demolding process*. Demolding Techniques in Manufacturing.
- Joaquín, P. A. O., Mukhtaar Caydiid. (2018). *Evaluación de la eficiencia térmica en estufas fabricadas y modificadas a biogás*.
- Jon. (2021). Different grades of aluminum and their applications - thin metal sales. *hin Metal Sales*, 221.
- Mariano. (2011). Moldeo por compresión. *Tecnología del plástico, blogspot*, 71.
- Martinez, R. (2018). Different Types of Aluminum Grades. 1(6), 89.
- Matias. (2022). *Aluminum Injection Molding in Product Manufacturing*. Fedela Mogul.
- Matthews, L. (2024). Which is the More Energy Efficient Stovetop – Gas, Electric, or Induction? *LeafScore*, 7(4), 589.
- Muños, G. A. D. (2016). Estudio de validez diagnóstico: consistencia del dinamómetro de mano digital Camry en una población de adultos sanos en Bogotá. *Universidad Na-*

*cional de Colombia Facultad de Medicina Maestría en Epidemiología Clínica Bogotá D.C., Colombia.*

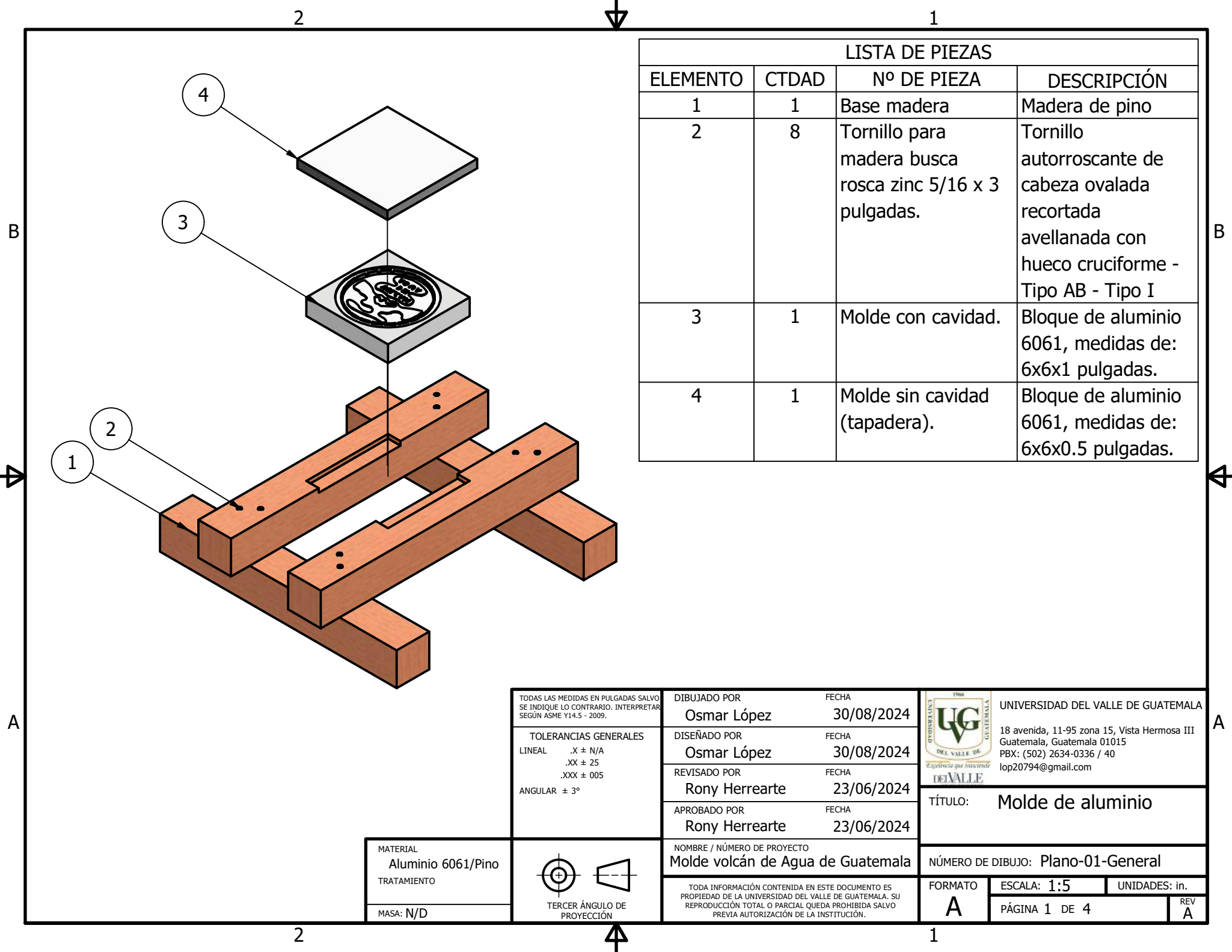
- Muñoz, D. R. (2023). Polipropileno: que es y sus características. *Tecnología del plástico*, 1(3), 39.
- Nickluvera. (2020). Aluminum vs. steel Injection molds. *SEA-LECT Plastics*, 7(3), 128.
- Omega, A. (2023). Comprehensive Review on Thermal Performance Enhancement of Domestic Gas Stoves, 112.
- Pedroboche. (2015). Amenaza ambiental crece a orillas del volcán de Agua. Seremos Soles., 114.
- ROHMS. (2016). Basics of Thermal Resistance and Heat Dissipation. *Thermal Design (Basic)*, 421.
- Schawarts. (2021). Factors Influencing Mold Material Choice in Plastic Injection Molding. *The Influence of Mold Material on the Quality and Efficiency of Plastic Injection Molding*.
- Worgull, M. (2009). *Hot Embossing*. Tecnologías.

# CAPÍTULO 11

---

Anexos

---



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Base madera	Madera de pino
2	8	Tornillo para madera busca rosca zinc 5/16 x 3 pulgadas.	Tornillo autorroscante de cabeza ovalada recortada avellanada con hueco cruciforme - Tipo AB - Tipo I
3	1	Molde con cavidad.	Bloque de aluminio 6061, medidas de: 6x6x1 pulgadas.
4	1	Molde sin cavidad (tapadera).	Bloque de aluminio 6061, medidas de: 6x6x0.5 pulgadas.

TODAS LAS MEDIDAS EN PULGADAS SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO. INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009.

TOLERANCIAS GENERALES	
LINEAL	.X ± N/A
	.XX ± 25
	.XXX ± 005
ANGULAR	± 3°

DIBUJADO POR	FECHA
Osmar López	30/08/2024
DISEÑADO POR	FECHA
Osmar López	30/08/2024
REVISADO POR	FECHA
Rony Herrearte	23/06/2024
APROBADO POR	FECHA
Rony Herrearte	23/06/2024

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
 18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III  
 Guatemala, Guatemala 01015  
 PBX: (502) 2634-0336 / 40  
 lop20794@gmail.com

TÍTULO: **Molde de aluminio**

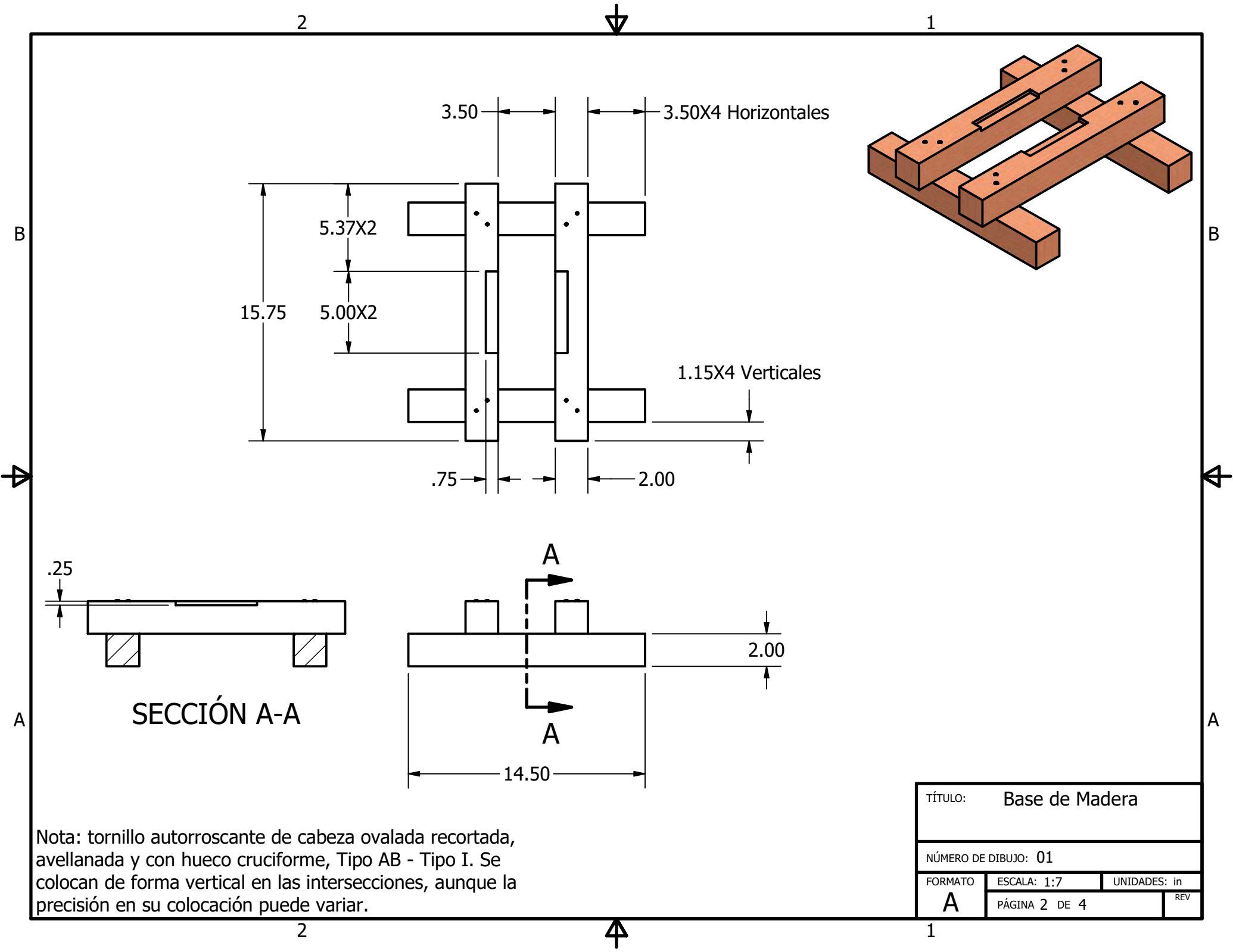
MATERIAL	Aluminio 6061/Pino
TRATAMIENTO	
MASA: N/D	



NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO  
**Molde volcán de Agua de Guatemala**

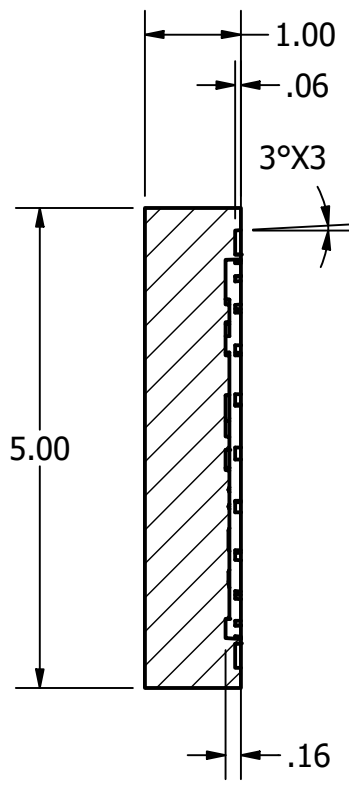
TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.

NÚMERO DE DIBUJO: Plano-01-General	FORMATO	ESCALA: 1:5	UNIDADES: in.
	<b>A</b>	PÁGINA 1 DE 4	REV <b>A</b>

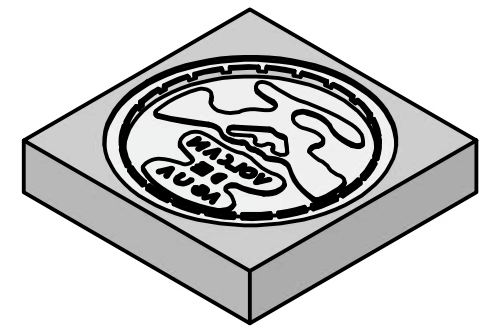
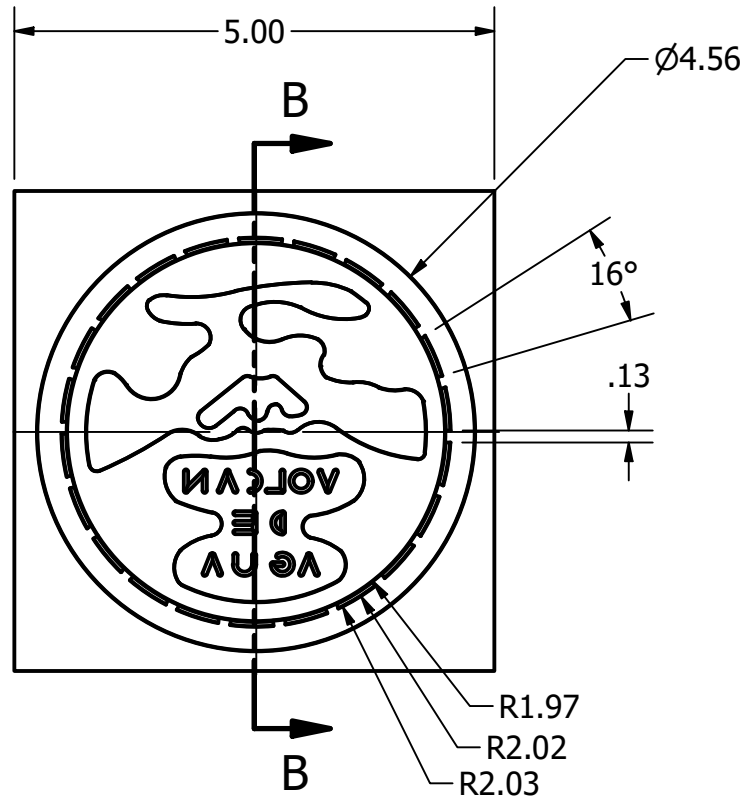


Nota: tornillo autorroscante de cabeza ovalada recortada, avellanada y con hueco cruciforme, Tipo AB - Tipo I. Se colocan de forma vertical en las intersecciones, aunque la precisión en su colocación puede variar.

TÍTULO: Base de Madera		
NÚMERO DE DIBUJO: 01		
FORMATO	ESCALA: 1:7	UNIDADES: in
<b>A</b>	PÁGINA 2 DE 4	REV

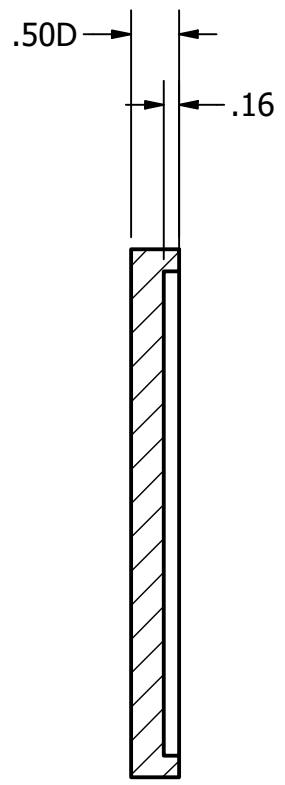
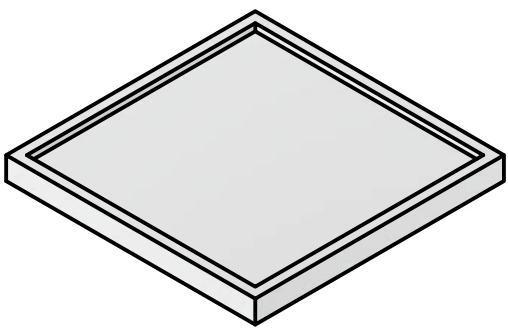
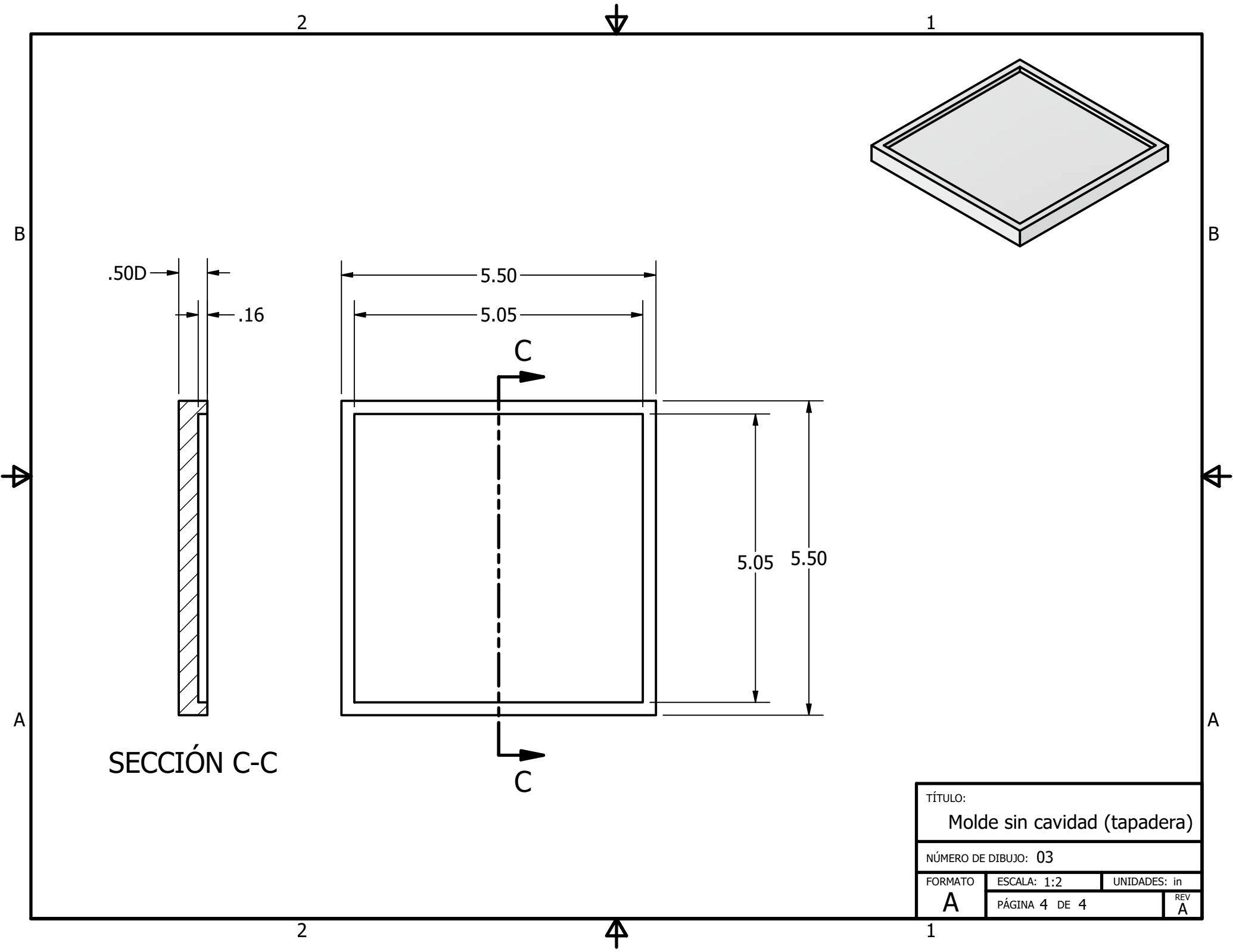


SECCIÓN B-B

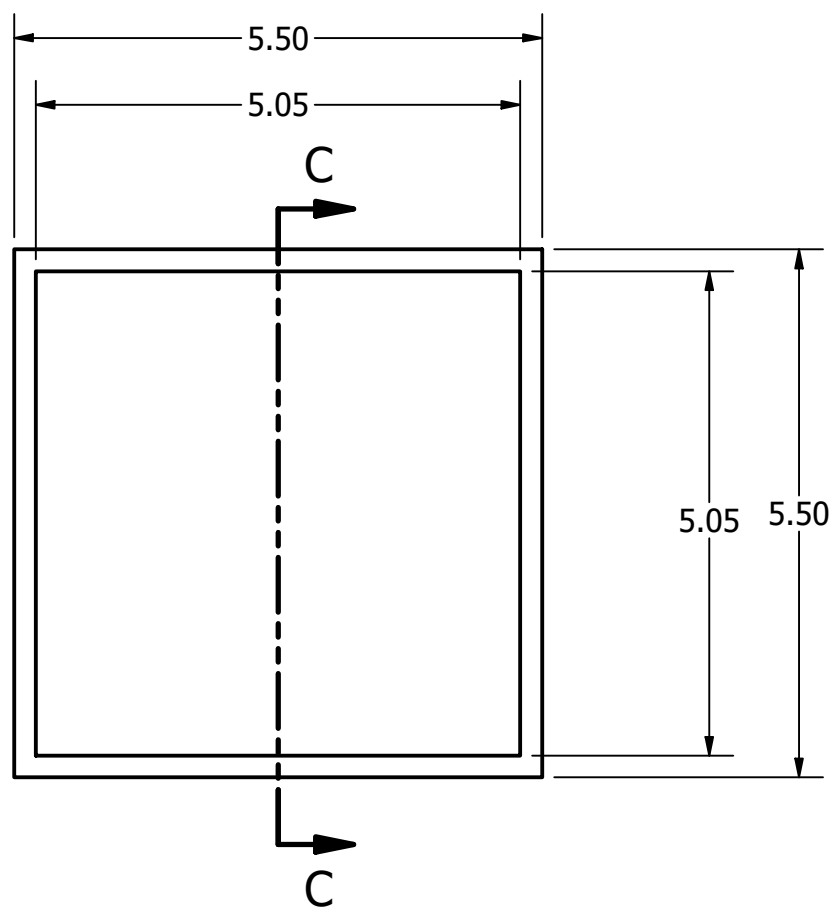


NOTA: En la cavidad interna del molde, en cada de las paredes hay un ángulo de desmoldeo de 3°. Diseño de cavidad interna varia, diseñado por Pablo R.Tezó. Arquitectura, USAC.

TÍTULO: Molde con cavidad		
NÚMERO DE DIBUJO: 02		
FORMATO	ESCALA: 1:2	UNIDADES: in
A	PÁGINA 3 DE 4	REV A



SECCIÓN C-C



TÍTULO:			
Molde sin cavidad (tapadera)			
NÚMERO DE DIBUJO: 03			
FORMATO	ESCALA: 1:2	UNIDADES: in	
<b>A</b>	PÁGINA 4 DE 4		REV A

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



## Protocolo de pruebas

Diseño del proceso de moldeo por fundición, en forma del volcán de Agua, de tapaderas de botellas de propileno y polietileno de desecho

Elaborado por:  
Osmar Misael López Ochoa  
20794

Departamento de Ingeniería Mecánica

Guatemala, Octubre 2024

## 1. Introducción

Se busca realizar pruebas del sistema de fundición, este debe fundir 0.03 kg de polietileno de alta densidad (HDPE) triturado. El sistema de fundición consta de un sartén, una estufa a gas y un tanque de gas propano. El polímero triturado se deposita en la sartén para que alcance su punto de fundición de 130 °C, lo que da como resultado la viscosidad del material, permitiendo su moldeado por compresión en la cavidad del molde de aluminio, precalentado a una temperatura de 100 °C.

Se busca comprobar el moldeo del material HDPE fundido vertido en la cavidad del molde. La compresión del molde se logrará con dos sargentos tipo C. Los resultados de las pruebas ayudarán a determinar si los tiempos de fundición del material y el calentamiento del molde; las temperaturas de fundición del polímero y del molde; y la presión de compresión del molde son los adecuados para generar la figura plástica deseada.

## 2. Equipo de medición

Equipo de medición				
No.	Descripción	Especificaciones	Certificado/Estándar	Observaciones
1	Temporizador	App del teléfono móvil		Poder medir tiempo en segundos, tener posibilidad de medir intervalos.
2	Bascula	Bascula digital 11 Lb-Nodika	Kg/onz/lb. +/- 2 gramos	Poder tener el peso del tanque de gas y el material a fundir.
3	Cámara termográfica	Fluke PTi120	IEC 61326-1: Entorno electromagnético básico CISPR 11: Grupo 1, clase A	Poder obtener la temperatura del molde, para ser verificado.

### 3. Identificación de peligros

Identificación de peligros				
No.	Tipo	Descripción	Control(es)	Instrumento/equipo
1	Físico	Al fundir el plástico, se espera una cantidad de humo liberado.	Administrativo	Procedimiento definido de prevención.
			EPP	Protectores respiratorios y careta.
2	De seguridad	Riesgo a quemaduras por contacto con sistema de fundición y molde de aluminio caliente	Administrativo	Procedimiento definido de manipulación.
			EPP	Guantes de cuero
3	Físico	Fuga de gas	Administrativo	Procedimiento definido de prevención
4	Físico	Incendio	Administrativo	Procedimiento de emergencia

### 4. Equipo de protección personal (EPP) y equipo de mitigación

Equipo de protección personal (EPP) y de mitigación		
Cant.	Descripción	Verificado
2	Guantes de cuero de protección	X
1	Gafas de seguridad certificación norma EN 166	X
1	Botas nivel industrial con punta de acero y suela antideslizante	X
1	Pantalón de Lona sin rasgaduras	X
1	Mascarilla con cartuchos que se pueden cambiar. Tipo de cartucho con filtro AKEB y eficiencia de filtración P100	X

### 5. Especificaciones técnicas

#### Sistema de fundición

- Dimensiones de estufa:
  - Longitud estufa: 34cm
  - Ancho estufa: 28 cm
  - Profundidad estufa: 11cm
- Dimensiones de gas butano:
  - Longitud del tanque de gas: 18 cm
  - Diámetro del tanque: 9cm

- Dimensiones de sartén:
  - Diámetro sartén: 32cm
  - Peso del sartén: 0.601 kg
- Materiales estufa: Aluminio 3003 con recubrimiento de pintura de alta temperatura.
- Material del tanque de gas: acero inoxidable tipo 304
- Material sartén: aluminio 1100
- Fuente de energía: Gas butano
- Capacidad de almacenamiento del gas del tanque: 227 gr / o 8z

#### Molde de aluminio

- Dimensiones de molde de aluminio 6061 con cavidad:
  - Largo: 5 pulgadas
  - Ancho: 1 pulgadas
  - Profundidad: 5 pulgadas
- Dimensiones de molde de aluminio 6061 tapadera:
  - Largo: 5.5 pulgadas
  - Ancho: 0.5 pulgadas
  - Profundidad: 5.5 pulgadas
- Dimensiones de Sargento tipo C:
  - Largo: 3 pulgadas, en mordaza
- Material molde: Aluminio 6061
- Material sargento tipo C: Hierro fundido
- Capacidad de compresión por sargento: 600 lb

## 6. Documentación requerida previo a iniciar una prueba

La documentación listada en esta sección debe estar disponible en formato impreso en todo momento durante la realización de toda prueba y las verificaciones y firmas requeridas se deberán llenar a mano previo al inicio de dichas pruebas.

Es importante hacer notar que esta documentación tiene validez solo durante el día en que se llena, por lo que si la prueba toma más de un día entonces la misma deberá volver a llenarse ya que implica el reconocimiento y compromiso de cumplimiento de los procedimientos de seguridad que dicha documentación contiene. Esto deberá ser realizado por todas las personas que participen en las pruebas sin excepción; y a la vez implica que ninguna persona que no firme los compromisos podrá participar de dichas pruebas.

Esta documentación incluye:

1. Compromiso de conocimiento y cumplimiento del protocolo de seguridad. Se llena un documento con formato de lista para todos los participantes.
2. Reconocimiento de estado y disponibilidad para poder realizar la prueba. Se llena una copia por cada participante.
3. Verificación de EPP y del de equipo de mitigación necesario. Se llena una copia por parte del estudiante a cargo y la misma debe contar con el visto bueno de todos los participantes.

4. Protocolo de emergencia presentando todos los números telefónicos de emergencia.  
Se llena una copia con formato de lista para todos los participantes.
5. Procedimiento de pruebas y mediciones.


# ANEXO 1

## CONOCIMIENTO Y CUMPLIMIENTO DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS

Instrucciones:

El presente documento deberá ser llenado por todas las personas que participarán de las pruebas del prototipo elaborado en el trabajo de graduación o proyecto “Nombre del trabajo/proyecto” y su firma implica su conformidad con el siguiente enunciado:

*“Como firmante del presente documento declaro que he tenido a la vista el protocolo de pruebas del trabajo arriba nombrado; que soy consciente de los peligros identificados y plenamente detallados en el protocolo en cuestión, asociados a las pruebas a realizarse en la fecha indicada en este documento y que conozco los procedimientos y acciones a tomar para mitigar dichos peligros. Así mismo declaro tener conocimiento del procedimiento de pruebas y medición, y del protocolo de emergencia en caso de incidentes, anexo 2 y que los mismos se encuentra en formato impreso en el lugar de las pruebas. Declaro también que la información proporcionada por mi parte en los anexos 1 y 2 son verídicos y que he tomado el tiempo de verificar la información contenida en el anexo 2 por lo que he firmado los mismos. Habiendo declarado lo anterior, asumo la responsabilidad de mis actos y cualquier consecuencia o implicación que se desprenda de ellos.”*

Listado de personas		
Carné	Nombre	Firma
20794	Osmar Misael López Ochoa	

Guatemala, 17 de Junio de 2024



## ANEXO 2

### VERIFICACIÓN DE EPP Y EQUIPO DE MITIGACIÓN REQUERIDO


Instrucciones:

El estudiante a cargo de las pruebas marcará con una X la casilla de verificación para cada uno de los equipos listados. La necesidad de la disponibilidad de este equipo fue determinada durante el proceso de identificación de peligros por lo que es de carácter obligatorio. No se permite el uso de equipo que no cumpla con las especificaciones declaradas en el listado.

Los demás participantes deberán declarar su visto bueno mediante su firma en el listado mostrado abajo.

Equipo de protección personal (EPP)		
Cant.	Descripción	Verificado (✓/X)
2	Guantes de protección de cuero	✓
1	Gafas de seguridad certificación norma EN 166	✓
1	Botas nivel industrial con punta de acero y suela antideslizante	✓
1	Pantalón de Lona sin rasgaduras	✓
1	Mascarilla con cartuchos que se pueden cambiar. Tipo de cartucho con filtro AKEB y eficiencia de filtración P100	✓

Fecha: 17/06/2024

Estudiante a cargo: Osmar Misael López Ochoa Firma: 

## PROTOCOLO DE EMERGENCIA

### 1. En caso de un accidente:


- i. Conservar la calma en todo momento.
- ii. Apague la máquina si la misma aún se encuentra encendida.
- iii. Asegure que las necesidades físicas y emocionales de la persona son atendidas.
- iv. No intente brindar primeros auxilios para los que no cuenta con formación previa.
- v. Coordine con los demás participantes de las pruebas la atención médica necesaria para la persona accidentada contactando a las instituciones correspondientes.
- vi. Si las pruebas se están realizando dentro de las instalaciones de la universidad comuníquese a los números y personas indicadas en la siguiente sección.
- vii. Informe al contacto proporcionado para casos de emergencia.
- viii. Informe al asesor del trabajo de graduación o proyecto una vez la situación se encuentre controlada.

### 2. Contactos de emergencia.

- i. Bomberos voluntarios: 122
- ii. Bomberos municipales (ciudad capital): 123
- iii. Bomberos municipales departamentales: 1554

#### Dentro de la UVG tome en cuenta los siguientes contactos:



- i. Alerta Médica: 1711
- ii. Clínica Médica UVG: extensión 21312, edificio F, oficina F119-F120 (debajo de la plaza Paiz Riera)
- iii. Jefe de seguridad UVG, Lic. Nelson Aldana: 59781736, Sótano 1 CIT, oficina 8S1, según lo amerite el accidente.
- iv. Secretaría General: 2369-8333, oficina F-205, según lo amerite el accidente.




Visto bueno de participantes		
Carné	Nombre	Firma
20794	Osmar Misael López Ochoa	




**PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS Y MEDICIONES**


**Procedimiento de pruebas de calentamiento del molde de aluminio con cavidad y sin cavidad**



Paso	Descripción	Verificado (✓/X)
1.	Verificar que se cuente con el equipo listado:	✓
	Estufa de gas	✓
	Cilindro de gas	✓
	Sartén	✓
	Polietileno de alta densidad, triturado	✓
	Balanza	✓
	Espátula	✓
	2 sargentos	✓
	Tijeras	✓
	Lija 80	✓
	Molde de aluminio (cavidad)	✓
	Tapadera del molde de aluminio	✓
	Gotero	✓
	Guantes de cuero	✓
	Lentes de seguridad	✓
	Mascarilla	✓
	Recipiente (donde ira el plástico triturado)	✓
Circunferencia metálica	✓	
Pinza	✓	
Desviación del procedimiento:		

2.	El área de fundición está libre de objetos que no se usan al fundir el polímero. Área mínima de 1.6 x 1 metros cuadrados.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
3.	Pesar tanque de gas con bascula, en kilogramos.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
4.	Si el tanque pesa al menos de 0.095 kg, continuar, sino cambiar el tanque	✓
Desviación del procedimiento:		

5.	Peso del tanque inicial			✓		
	PESOS: kg	1.	0.217 kg		3.	kg
		2.	kg		4.	kg
Desviación del procedimiento:						
6.	El tanque de gas butano se sitúa en el compartimiento con tapa a la derecha, visto de frente donde está la perilla de control.			✓		
						
Desviación del procedimiento:						
7.	Colocar el tanque de gas butano en el compartimiento de la estufa, este se ingresa horizontal con un grado de inclinación de la salida del tanque de gas hacia la válvula de conexión de la estufa.			✓		
						
Desviación del procedimiento:						
8.	Se da ¼ de vuelta al tanque de gas para un buen ensamblaje, haga coincidir la ranura de la lata con la de la válvula de conexión.			✓		
						
Desviación del procedimiento:						



9.	Se baja la palanca de cierre del gas del circuito de gas, asegurando el flujo en el sistema.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
10.	Si la palanca de cierre no cierra, es posible que la perilla de control esté abierta. Se regresa la perilla de control a su posición de menos flama.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
11.	Coloque la cavidad del molde frente al quemador de gas.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
12.	Encender la estufa, gire la perilla de control del gas hacia la izquierda, hasta escuchar un clic; se ajusta la flama del gas en el nivel 3 (para precalentar el molde).	✓
		
Desviación del procedimiento:		



13.	Inicia tiempo cronometrado de precalentamiento del molde.		✓	
	Tiempo (mm:ss)			
Desviación del procedimiento:				
14.	Se toma tiempo de precalentamiento, el tiempo teórico estimado es de 00:02:12. Se tomará este de referencia, cronometrar este tiempo.		✓	
	Tiempo (mm:ss)	1.		02:08
		2.		01:46
Desviación del procedimiento:				
15.	Después de completar el ciclo de cronometrado de precalentamiento del molde, se apaga la flama, girando la perilla a la posición de cierre.		✓	
Desviación del procedimiento:				
16.	Se colocan los guantes de protección de cuero y lentes de protección. Se mantienen durante el resto de la prueba.		✓	
Desviación del procedimiento:				
17.	Se sujeta el molde y se coloca en la mesa de trabajo con la cavidad del molde viendo hacia arriba.		✓	
				
Desviación del procedimiento:				



18.	Se verifica que el molde alcanzo la temperatura de 100°C, para ver si ya ha alcanzado esa temperatura; la prueba consiste en dejar caer una gota de agua por encima del molde, con un gotero. Si el agua se evapora rápidamente sin dejar rastro en un tiempo de 00:00:07 es probable, que el molde este en una temperatura de 100°C. Se continua el proceso	✓
		
Desviación del procedimiento: La gota de agua se evaporo en el tiempo establecido, no fue necesario un precalentamiento, pero se verifico los siguientes pasos en caso de que no se halla evaporado la gota.		
19.	De no evaporarse la gota coloque la cavidad del molde frente al quemador de gas.	✓
Desviación del procedimiento:		
20.	Encender la estufa, gire la perilla de control del gas hacia la izquierda, hasta escuchar un clic; se ajusta la flama del gas en el nivel 3 (para precalentar el molde).	✓
		
Desviación del procedimiento:		
21.	Inicia tiempo cronometrado de 27 segundos.	✓
Desviación del procedimiento:		


22.	Después de cronometrado 27 segundos de precalentamiento del molde, se apaga la flama, girando la perilla a la posición de cierre.	✓
Desviación del procedimiento:		
23.	Se sujeta el molde y se coloca en la mesa de trabajo con la cavidad del molde viendo hacia arriba.	✓
Desviación del procedimiento:		
24.	Se verifica que el molde alcanzo la temperatura de 100°C, para ver si ya ha alcanzado esa temperatura; la prueba consiste en dejar caer una gota de agua por encima del molde, con un gotero. Si el agua se evapora rápidamente sin dejar rastro en un tiempo de 00:00:07 es probable, que el molde este en una temperatura de 100°C. Se continua el proceso	✓
Desviación del procedimiento:		
25.	Se continua con la prueba, precalentando el molde sin cavidad	✓
Desviación del procedimiento:		



26.	Coloque la cavidad del molde frente al quemador de gas.		✓
			
Desviación del procedimiento:			
27.	Encender la estufa, gire la perilla de control del gas hacia la izquierda, hasta escuchar un clic; se ajusta la flama del gas en el nivel 3 (para precalentar el molde).		✓
			
Desviación del procedimiento:			
28.	Inicia tiempo cronometrado de precalentamiento del molde.		✓
Tiempo (mm:ss)			
Desviación del procedimiento:			
29.	Se toma tiempo de precalentamiento, el tiempo teórico estimado es de 00:01:10. Se tomará este de referencia, cronometrar este tiempo.		✓
Tiempo (mm:ss)		1. 01:14	
		2. 1:03	
Desviación del procedimiento:			
30.	Después de completar el ciclo de cronometrado de precalentamiento del molde, se apaga la flama, girando la perilla a la posición de cierre.		✓
Desviación del procedimiento:			



31.	Se sujeta el molde y se coloca en la mesa de trabajo con la cavidad del molde viendo hacia arriba.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
32.	Se verifica que el molde alcanzo la temperatura de 100°C, para ver si ya ha alcanzado esa temperatura; la prueba consiste en dejar caer una gota de agua por encima del molde, con un gotero. Si el agua se evapora rápidamente sin dejar rastro en un tiempo de 00:00:07 es probable, que el molde este en una temperatura de 100°C. Se continua el proceso	✓
		
Desviación del procedimiento:		
33.	De no evaporarse la gota coloque la cavidad del molde frente al quemador de gas.	✓
Desviación del procedimiento:		



34.	Encender la estufa, gire la perilla de control del gas hacia la izquierda, hasta escuchar un clic; se ajusta la flama del gas en el nivel 3 (para precalentar el molde).	✓
		
Desviación del procedimiento:		
35.	Inicia tiempo cronometrado de 17 segundos.	✓
Desviación del procedimiento:		
36.	Después de cronometrado 17 segundos de precalentamiento del molde, se apaga la flama, girando la perilla a la posición de cierre.	✓
Desviación del procedimiento:		
37.	Se sujeta el molde y se coloca en la mesa de trabajo con la cavidad del molde viendo hacia arriba.	✓
		
Desviación del procedimiento:		

38.	Se verifica que el molde alcanzo la temperatura de 100°C, para ver si ya ah alcanzado esa temperatura; la prueba consiste en dejar caer una gota de agua por encima del molde, con un gotero. Si el agua se evapora rápidamente sin dejar rastro en un tiempo de 00:00:07 es probable, que el molde este en una temperatura de 100°C. Se continua el proceso.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
39.	Si la gota se evapora en el tiempo establecido, se continua con la prueba	✓
Desviación del procedimiento:		

## Procedimiento de pruebas para la fundición de 1 figura plástica

Paso	Descripción	Verificado (✓/X)
1.	Verificar que se cuente con el equipo listado:	✓
	Estufa de gas	✓
	Cilindro de gas	✓
	Sartén	✓
	Polietileno de alta densidad, triturado	✓
	Balanza	✓
	Espátula	✓
	2 sargentos	✓
	Tijeras	✓
	Lija 80	✓
	Molde de aluminio (cavidad)	✓
	Tapadera del molde de aluminio	✓
	Gotero	✓
	Guantes de cuero	✓
	Lentes de seguridad	✓
	Mascarilla	✓
	Recipiente (donde ira el plástico triturado)	✓
	Circunferencia metálica	✓
	Pinza	✓
	Desviación del procedimiento:	

2.	El área de fundición está libre de objetos que no se usan al fundir el polímero. Área mínima de 1.6 x 1 metros cuadrados.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
3.	Pesar tanque de gas con bascula, en kilogramos.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
4.	Si el tanque pesa al menos de 0.095 kg, continuar, sino cambiar el tanque	✓
Desviación del procedimiento:		

5.	Peso del tanque inicial				✓		
	PESOS: kg	1.	0.217	kg		3.	kg
		2.		kg		4.	kg
Desviación del procedimiento:							
6.	Seguido, se retira el gas y se coloca un vaso o recipiente sobre la báscula y se tara la pesa. Unidades de peso en Kilogramos.				✓		
Desviación del procedimiento:							
7.	Colocar 0.03 kg de DPE triturado, dentro del vaso o recipiente.				✓		
							
Desviación del procedimiento:							
8.	El tanque de gas butano se sitúa en el compartimiento con tapa a la derecha, visto de frente donde está la perilla de control.				✓		
							
Desviación del procedimiento:							

9.	Colocar el tanque de gas butano en el compartimiento de la estufa, este se ingresa horizontal con un grado de inclinación de la salida del tanque de gas hacia la válvula de conexión de la estufa.	✓
		

Desviación del procedimiento:



10.	Se da $\frac{1}{4}$ de vuelta al tanque de gas para un buen ensamblaje, haga coincidir la ranura de la lata con la de la válvula de conexión.	✓
		



Desviación del procedimiento:




11.	Se baja la palanca de cierre del gas del circuito de gas, asegurando el flujo en el sistema.	✓
		



Desviación del procedimiento:

12.	Si la palanca de cierre no cierra, es posible que la perilla de control esté abierta. Se regresa la perilla de control a su posición de menos flama.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
13.	Coloque la cavidad del molde frente al quemador de gas.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
14.	Encender la estufa, gire la perilla de control del gas hacia la izquierda, hasta escuchar un clic; se ajusta la flama del gas en el nivel 3 (para precalentar el molde).	✓
		
Desviación del procedimiento:		
15.	Inicia tiempo cronometrado de precalentamiento del molde. Tiempo (mm:ss)	✓
Desviación del procedimiento:		

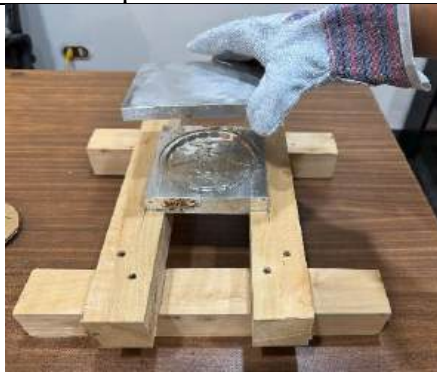
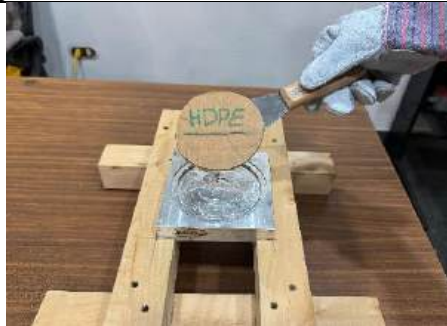
16.	Se toma tiempo de precalentamiento, el tiempo teórico estimado es de 00:02:12. Se tomará este de referencia, cronometrar este tiempo.		✓
	Tiempo (mm:ss)	1.	
		2.	
Desviación del procedimiento:			
17.	Después de completar el ciclo de cronometrado de precalentamiento del molde, se apaga la flama, girando la perilla a la posición de cierre.		✓
Desviación del procedimiento:			
18.	Se colocan los guantes de protección de cuero y lentes de protección. Se mantienen durante el resto de la prueba.		✓
Desviación del procedimiento:			
19.	Se sujeta el molde y se coloca en la mesa de trabajo con la cavidad del molde viendo hacia arriba.		✓
			
Desviación del procedimiento:			
20.	Se verifica que el molde alcanzo la temperatura de 100 °C, para ver si ya ha alcanzado esa temperatura; la prueba consiste en dejar caer una gota de agua por encima del molde, con un gotero. Si el agua se evapora rápidamente sin dejar rastro, es probable que el molde esté cerca de la temperatura de 100°C. Se continua el proceso.		✓
			
Desviación del procedimiento:			



21.	Se continua la prueba, precalentando el molde sin cavidad. Colocar la cavidad del molde frente al quemador de gas.		✓
			
Desviación del procedimiento:			
22.	Encender la estufa, gire la perilla de control del gas hacia la izquierda, hasta escuchar un clic; se ajusta la flama del gas en el nivel 3 (para precalentar el molde)		✓
			
Desviación del procedimiento:			
23.	Inicia el tiempo de precalentamiento del molde.	✓	
Tiempo (mm:ss)			
Desviación del procedimiento:			
24.	Se toma el tiempo de precalentamiento, el tiempo teórico estimado es de 00:01:10. Se tomará este de referencia, cronometrar este tiempo.		✓
Tiempo (mm:ss)		1. 01:14	
		2.	
Desviación del procedimiento:			
25.	Después de completar el ciclo de cronometrado de precalentamiento del molde, se apaga la flama, girando la perilla a la posición de cierre.		✓
Desviación del procedimiento:			


26.	Se sujeta el molde y se coloca en la meda de trabajo con la cavidad del molde viendo hacia arriba.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
27.	Se verifica que el molde alcanzo la temperatura de 100°C, para ver si ya ah alcanzado esa temperatura; la prueba consiste en dejar caer una gota de agua por encima del molde, con un gotero. Si el agua se evapora rápidamente sin dejar rastro en un tiempo de 00:00:07 es probable, que el molde este en una temperatura de 100°C. Se continua el proceso	✓
		
Desviación del procedimiento:		
28.	El sartén se colocará sobre la estufa y se colocará sobre él una circunferencia de metal, que es la medida de la cavidad del molde.	✓
		
Desviación del procedimiento:		




29.	Colocar el material de HDPE triturado sobre el sartén dentro de la circunferencia de metal.		✓					
								
Desviación del procedimiento:								
30.	Colocarse mascarilla. Se mantienen durante el resto de la prueba.		✓					
Desviación del procedimiento:								
31.	Encender la estufa, gire la perilla de control del gas hacia la izquierda, hasta escuchar un clic; se ajusta la flama del gas en el nivel 2 (para fundir el polímero)		✓					
								
Desviación del procedimiento:								
32.	Inicia tiempo cronometrado de fundición del polímero		✓					
Tiempo (mm:ss)								
Desviación del procedimiento:								
33.	Se toman tiempo de fundición, el tiempo teórico estimado es de 00:02:58. Se tomará este de referencia.		✓					
Tiempo (mm:ss)								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;">1.</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 80%;">04:48</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2.</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				1.		04:48	2.	
1.		04:48						
2.								
Desviación del procedimiento:								

34.	Después de completar el ciclo de fundición, se apaga la flama, girando la perilla a la posición de cierre.	✓
Desviación del procedimiento:		
35.	Se retira el material del sartén con ayuda de una espátula	✓
Desviación del procedimiento:		
36.	Se vierte el material en la cavidad del molde de aluminio, situado en la mesa de trabajo.	✓
Desviación del procedimiento:		
37.	Colocar la tapadera por encima del material fundido colocado en la cavidad del molde. Para que no se derrame el material	✓
Desviación del procedimiento:		





38.	Sujete el molde y coloque un sargento en una de las ranuras circulares de la tapadera.		✓
			
Desviación del procedimiento:			
39.	Girar con la mano el tornillo del sargento, hasta sentir que este no pueda girarse más.		✓
			
Desviación del procedimiento:			
40.	Girar con la mano el tornillo del sargento, hasta sentir que este no pueda girarse más.		✓
Desviación del procedimiento:			
41.	Inicia tiempo cronometrado de enfriamiento del molde		✓
TIEMPO (mm:ss)			
Desviación del procedimiento:			
42.	Se toman tiempo de enfriamiento del molde, el tiempo teórico estimado es de 00:12:08. Se tomará este de referencia.		✓
TIEMPO			
(mm:ss)			
Desviación del procedimiento:			



43.	Finalizado el tiempo de enfriamiento del molde, se aflojan con la mano los tornillos de los sargentos.	✓
Desviación del procedimiento:		
44.	Se abre el molde, retirando la tapadera.	✓
Desviación del procedimiento:		
45.	Con ayuda de una pinza se retira la figura plástica de la cavidad del molde.	✓
Desviación del procedimiento:		
46.	Se coloca la figura plástica en la mesa de trabajo y coloca un libro sobre ella.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
47.	Inicia tiempo cronometrado del enfriamiento de la figura plástica TIEMPO (mm:ss)	✓
Desviación del procedimiento:		
48.	Se toman tiempo de enfriamiento del molde, el tiempo de espera es de 00:01:30 a 00:02:00.	✓
	TIEMPO (mm:ss)	
	1.	01:42
	2.	
Desviación del procedimiento:		

49.	El exceso de material en el perímetro de la figura se trata de fracturarlo con la mano haciendo palanca o recortando con una tijera.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
50.	Se lija la superficie del perímetro con lija 80, para dejar superficie lisa.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
51.	Presentación final	✓
		
Desviación del procedimiento:		

## Procedimiento de pruebas para la fundición de 2 figuras plásticas

Paso	Descripción	Verificado (✓/X)
1.	Verificar que se cuente con el equipo listado:	✓
	Estufa de gas	✓
	Cilindro de gas	✓
	Sartén	✓
	Polietileno de alta densidad, triturado	✓
	Balanza	✓
	Espátula	✓
	2 sargentos	✓
	Tijeras	✓
	Lija 80	✓
	Molde de aluminio (cavidad)	✓
	Tapadera del molde de aluminio	✓
	Gotero	✓
	Guantes de cuero	✓
	Lentes de seguridad	✓
	Mascarilla	✓
	Recipiente (donde ira el plástico triturado)	✓
	Circunferencia metálica	✓
	Pinza	✓
	Desviación del procedimiento:	

2.	El área de fundición está libre de objetos que no se usan al fundir el polímero. Área mínima de 1.6 x 1 metros cuadrados.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
3.	Pesar tanque de gas con bascula, en kilogramos.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
4.	Si el tanque pesa al menos de 0.095 kg, continuar, sino cambiar el tanque	✓
Desviación del procedimiento:		

5.	Peso del tanque inicial			✓	
	PESOS: kg	1. 0.198	kg		3. kg
		2.	kg		4. kg
Desviación del procedimiento:					
6.	Seguido, se retira el gas y se coloca un vaso o recipiente sobre la báscula y se tara la pesa. Unidades de peso en Kilogramos.			✓	
Desviación del procedimiento:					
7.	Colocar 0.03 kg de DPE triturado, dentro del vaso o recipiente.			✓	
					
Desviación del procedimiento:					
8.	El tanque de gas butano se sitúa en el compartimiento con tapa a la derecha, visto de frente donde está la perilla de control.			✓	
					
Desviación del procedimiento:					

9.	Colocar el tanque de gas butano en el compartimiento de la estufa, este se ingresa horizontal con un grado de inclinación de la salida del tanque de gas hacia la válvula de conexión de la estufa.	✓
		




Desviación del procedimiento:



10.	Se da $\frac{1}{4}$ de vuelta al tanque de gas para un buen ensamblaje, haga coincidir la ranura de la lata con la de la válvula de conexión.	✓
		



Desviación del procedimiento:





11.	Se baja la palanca de cierre del gas del circuito de gas, asegurando el flujo en el sistema.	✓
		


Desviación del procedimiento:





12.	Si la palanca de cierre no cierra, es posible que la perilla de control esté abierta. Se regresa la perilla de control a su posición de menos flama.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
13.	Coloque la cavidad del molde frente al quemador de gas.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
14.	Encender la estufa, gire la perilla de control del gas hacia la izquierda, hasta escuchar un clic; se ajusta la flama del gas en el nivel 3 (para precalentar el molde).	✓
		
Desviación del procedimiento:		
15.	Inicia tiempo cronometrado de precalentamiento del molde.	✓
Tiempo (mm:ss)		
Desviación del procedimiento:		


16.	Se toma tiempo de precalentamiento, el tiempo teórico estimado es de 00:02:12. Se tomará este de referencia, cronometrar este tiempo.		✓
	Tiempo (mm:ss)	1. 02:14	
		2.	
Desviación del procedimiento:			
17.	Después de completar el ciclo de cronometrado de precalentamiento del molde, se apaga la flama, girando la perilla a la posición de cierre.		✓
Desviación del procedimiento:			
18.	Se colocan los guantes de protección de cuero y lentes de protección. Se mantienen durante el resto de la prueba.		✓
Desviación del procedimiento:			
19.	Se sujeta el molde y se coloca en la mesa de trabajo con la cavidad del molde viendo hacia arriba.		✓
			
Desviación del procedimiento:			
20.	Se verifica que el molde alcanzo la temperatura de 100 °C, para ver si ya ha alcanzado esa temperatura; la prueba consiste en dejar caer una gota de agua por encima del molde, con un gotero. Si el agua se evapora rápidamente sin dejar rastro, es probable que el molde esté cerca de la temperatura de 100°C. Se continua el proceso.		✓
			
Desviación del procedimiento:			


21.	Se continua la prueba, precalentando el molde sin cavidad. Colocar la cavidad del molde frente al quemador de gas.		✓
			
Desviación del procedimiento:			
22.	Encender la estufa, gire la perilla de control del gas hacia la izquierda, hasta escuchar un clic; se ajusta la flama del gas en el nivel 3 (para precalentar el molde)		✓
			
Desviación del procedimiento:			
23.	Inicia el tiempo de precalentamiento del molde.	✓	
Tiempo (mm:ss)			
Desviación del procedimiento:			
24.	Se toma el tiempo de precalentamiento, el tiempo teórico estimado es de 00:01:10. Se tomará este de referencia, cronometrar este tiempo.		✓
Tiempo (mm:ss)		1. 01:14	
		2.	
Desviación del procedimiento:			
25.	Después de completar el ciclo de cronometrado de precalentamiento del molde, se apaga la flama, girando la perilla a la posición de cierre.		✓
Desviación del procedimiento:			

26.	Se sujeta el molde y se coloca en la meda de trabajo con la cavidad del molde viendo hacia arriba.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
27.	Se verifica que el molde alcanzo la temperatura de 100°C, para ver si ya ha alcanzado esa temperatura; la prueba consiste en dejar caer una gota de agua por encima del molde, con un gotero. Si el agua se evapora rápidamente sin dejar rastro en un tiempo de 00:00:07 es probable, que el molde este en una temperatura de 100°C. Se continua el proceso	✓
		
Desviación del procedimiento:		
28.	El sartén se colocará sobre la estufa y se colocará sobre él una circunferencia de metal, que es la medida de la cavidad del molde.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
29.	Colocar el material de HDPE triturado sobre el sartén dentro de la circunferencia de metal.	✓
		
Desviación del procedimiento:		

30.	Colocarse mascarilla. Se mantienen durante el resto de la prueba.		✓
Desviación del procedimiento:			
31.	Encender la estufa, gire la perilla de control del gas hacia la izquierda, hasta escuchar un clic; se ajusta la flama del gas en el nivel 2 (para fundir el polímero)		✓
			
Desviación del procedimiento:			
32.	Inicia tiempo cronometrado de fundición del polímero		✓
	Tiempo (mm:ss)		
Desviación del procedimiento:			
33.	Se toman tiempo de fundición, el tiempo teórico estimado es de 00:02:58. Se tomará este de referencia.		✓
	Tiempo (mm:ss)	1. 04:48	
		2.	
Desviación del procedimiento:			
34.	Después de completar el ciclo de fundición, se apaga la flama, girando la perilla a la posición de cierre.		✓
Desviación del procedimiento:			

35.	Se retira el material del sartén con ayuda de una espátula	✓
		
Desviación del procedimiento:		
36.	Se vierte el material en la cavidad del molde de aluminio, situado en la mesa de trabajo.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
37.	Colocar la tapadera por encima del material fundido colocado en la cavidad del molde. Para que no se derrame el material	✓
		
Desviación del procedimiento:		
38.	Sujete el molde y coloque un sargento en una de las ranuras circulares de la tapadera.	✓
		
Desviación del procedimiento:		

39.	Girar con la mano el tornillo del sargento, hasta sentir que este no pueda girarse más.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
40.	Sujete el molde y coloque el otro sargento tipo en una de las ranuras circulares de la tapadera.	✓
Desviación del procedimiento:		
42.	Girar con la mano el tornillo del sargento, hasta sentir que este no pueda girarse más.	✓
Desviación del procedimiento:		
43.	Inicia tiempo cronometrado de enfriamiento del molde	✓
TIEMPO (mm:ss)		
Desviación del procedimiento:		
44.	Se toman tiempo de enfriamiento del molde, el tiempo teórico estimado es de 00:12:08. Se tomará este de referencia.	✓
TIEMPO		
(mm:ss)	1. 12:42	
2.		
Desviación del procedimiento:		
45.	Finalizado el tiempo de enfriamiento del molde, se aflojan con la mano los tornillos de los sargentos.	✓
Desviación del procedimiento:		

46.	Se abre el molde, retirando la tapadera.		✓
Desviación del procedimiento:			
47.	Con ayuda de una pinza se retira la figura plástica de la cavidad del molde.		✓
Desviación del procedimiento:			
48.	Se coloca la figura plástica en la mesa de trabajo y coloca un libro sobre ella.		✓
			
Desviación del procedimiento:			
49.	Inicia tiempo cronometrado del enfriamiento de la figura plástica		✓
	TIEMPO (mm:ss)		
Desviación del procedimiento:			
50.	Se toman tiempo de enfriamiento del molde, el tiempo de espera es de 00:01:30 a 00:02:00.		✓
	TIEMPO (mm:ss)	1.	01:43
		2.	
Desviación del procedimiento:			

51.	El exceso de material en el perímetro de la figura se trata de fracturarlo con la mano haciendo palanca o recortando con una tijera.	✓
		

Desviación del procedimiento:

52.	Se lija la superficie del perímetro con lija 80, para dejar superficie lisa.	✓
		



Desviación del procedimiento:



53.	Presentación final	✓
		





Desviación del procedimiento:



54.	Elaboración de segunda figura plástica.	✓
Desviación del procedimiento:		
55.	Colocar 0.03 kg de DPE triturado, dentro del vaso o recipiente.	✓
Desviación del procedimiento:		
56.	Coloque la cavidad del molde frente al quemador de gas.	✓
Desviación del procedimiento:		
57.	Encender la estufa, gire la perilla de control del gas hacia la izquierda, hasta escuchar un clic; se ajusta la flama del gas en el nivel 3 (para precalentar el molde).	✓
Desviación del procedimiento:		






58.	Inicia tiempo cronometrado de 00:00:17, como un precalentamiento del molde.		✓
	Tiempo (mm:ss)	01. 00:20	
		02.	
Desviación del procedimiento:			
59.	Después de completar el ciclo de cronometrado de precalentamiento del molde, se apaga la flama, girando la perilla a la posición de cierre.		✓
Desviación del procedimiento:			
60.	Se sujeta el molde y se coloca en la mesa de trabajo con la cavidad del molde viendo hacia arriba.		✓
			
Desviación del procedimiento:			
61.	Se verifica que el molde alcanzo la temperatura de 100 °C, para ver si ya ha alcanzado esa temperatura; se realiza de nuevo la prueba consiste en dejar caer una gota de agua por encima del molde, con un gotero. Si el agua se evapora rápidamente sin dejar rastro, es probable que el molde esté cerca de la temperatura de 100°C. Se continua el proceso.		✓
			
Desviación del procedimiento:			



62.	Se continua la prueba, precalentando el molde sin cavidad. Colocar la cavidad del molde frente al quemador de gas.		✓
			
Desviación del procedimiento:			
63.	Encender la estufa, gire la perilla de control del gas hacia la izquierda, hasta escuchar un clic; se ajusta la flama del gas en el nivel 3 (para precalentar el molde)		✓
			
Desviación del procedimiento:			
64.	Inicia el tiempo de precalentamiento del molde.		✓
Tiempo (mm:ss)			
Desviación del procedimiento:			
65.	Se toma el tiempo de precalentamiento de 00:00:13. Se tomará este de referencia, cronometrar este tiempo.		✓
Tiempo (mm:ss)		1. 00:12	
		2.	
Desviación del procedimiento:			
66.	Después de completar el ciclo de cronometrado de precalentamiento del molde, se apaga la flama, girando la perilla a la posición de cierre.		✓
Desviación del procedimiento:			



67.	Se sujeta el molde y se coloca en la meda de trabajo con la cavidad del molde viendo hacia arriba.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
68.	Se verifica que el molde alcanzo la temperatura de 100°C, para ver si ya ha alcanzado esa temperatura; la prueba consiste en dejar caer una gota de agua por encima del molde, con un gotero. Si el agua se evapora rápidamente sin dejar rastro en un tiempo de 00:00:07 es probable, que el molde este en una temperatura de 100°C. Se continua el proceso	✓
		
Desviación del procedimiento:		
69.	El sartén se colocará sobre la estufa y se colocará sobre él una circunferencia de metal, que es la medida de la cavidad del molde	✓
		
Desviación del procedimiento:		
70.	Colocar el material de HDPE triturado sobre el sartén dentro de la circunferencia de metal.	✓
		
Desviación del procedimiento:		

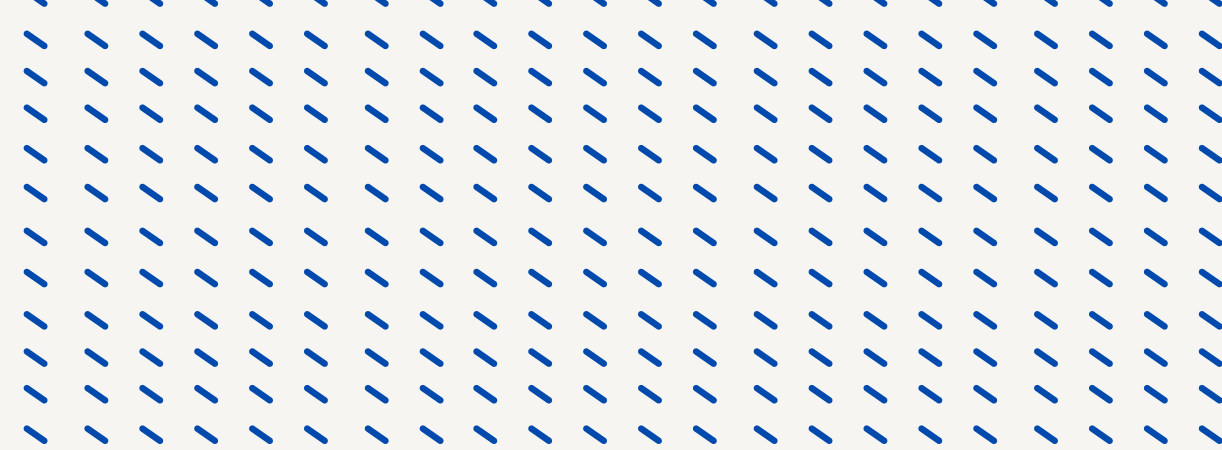
71.	Encender la estufa, gire la perilla de control del gas hacia la izquierda, hasta escuchar un clic; se ajusta la flama del gas en el nivel 2 (para fundir el polímero)		✓						
									
Desviación del procedimiento:									
72.	Inicia tiempo cronometrado de fundición del polímero		✓						
Tiempo (mm:ss)									
Desviación del procedimiento:									
73.	Se toman tiempo de fundición, el tiempo teórico estimado es de 00:02:58. Se tomará este de referencia.		✓						
<table border="1"> <tr> <td data-bbox="342 1037 505 1073">Tiempo (mm:ss)</td> <td data-bbox="509 1037 656 1073">1.</td> <td data-bbox="660 1037 1227 1073">04:48</td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="509 1079 656 1108">2.</td> <td data-bbox="660 1079 1227 1108"></td> </tr> </table>				Tiempo (mm:ss)	1.	04:48		2.	
Tiempo (mm:ss)	1.	04:48							
	2.								
Desviación del procedimiento:									
74.	Después de completar el ciclo de fundición, se apaga la flama, girando la perilla a la posición de cierre.		✓						
Desviación del procedimiento:									
75.	Se retira el material del sartén con ayuda de una espátula		✓						
									
Desviación del procedimiento:									

76.	Se vierte el material en la cavidad del molde de aluminio, situado en la mesa de trabajo.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
77.	Colocar la tapadera por encima del material fundido colocado en la cavidad del molde. Para que no se derrame el material	✓
		
Desviación del procedimiento:		
78.	Girar con la mano el tornillo del sargento, hasta sentir que este no pueda girarse más.	✓
		
Desviación del procedimiento:		

79.	Sujete el molde y coloque el otro sargento tipo en una de las ranuras circulares de la tapadera.		✓
Desviación del procedimiento:			
80.	Girar con la mano el tornillo del sargento, hasta sentir que este no pueda girarse más.		✓
Desviación del procedimiento:			
81.	Inicia tiempo cronometrado de enfriamiento del molde		✓
	TIEMPO (mm:ss)		
Desviación del procedimiento:			
82.	Se toman tiempo de enfriamiento del molde, el tiempo teórico estimado es de 00:12:08. Se tomará este de referencia.		✓
	TIEMPO (mm:ss)	1. 12:43	
		2.	
Desviación del procedimiento:			
83.	Finalizado el tiempo de enfriamiento del molde, se aflojan con la mano los tornillos de los sargentos.		✓
Desviación del procedimiento:			
84.	Se abre el molde, retirando la tapadera.		✓
Desviación del procedimiento:			
85.	Con ayuda de una pinza se retira la figura plástica de la cavidad del molde.		✓
Desviación del procedimiento:			

86.	Se coloca la figura plástica en la mesa de trabajo y coloca un libro sobre ella.		✓
			
Desviación del procedimiento:			
87.	Inicia tiempo cronometrado del enfriamiento de la figura plástica		✓
TIEMPO (mm:ss)			
Desviación del procedimiento:			
88.	Se toman tiempo de enfriamiento del molde, el tiempo de espera es de 30 a 40 seg.		✓
TIEMPO			
(mm:ss)	1.	00:39	
2.			
Desviación del procedimiento:			
89.	El exceso de material en el perímetro de la figura se trata de fracturarlo con la mano haciendo palanca o recortando con una tijera.		✓
			
Desviación del procedimiento:			

90.	Se lija la superficie del perímetro con lija 80, para dejar superficie lisa.	✓
		
Desviación del procedimiento:		
91.	Presentación final, segunda figura plástica.	✓
		
Desviación del procedimiento:		



# Manual de fabricación y ensamble

MOLDEO DE FIGURA PLÁSTICA



# Índice

## Introducción

- 01 Descripción general ..... 01
- 02 Normas de seguridad ..... 01

## Fabricación ..... 02

- 01 Materiales necesarios ..... 03
- 02 Procedimiento ..... 03
  - 2.1 Herramientas de corte..... 03
  - 2.2 Corte fresadora ..... 04
  - 2.3 Corte torno CNC ..... 05

## Ensamble ..... 07

- 01 Materia ..... 08
  - 02 Cortes ..... 08
  - 03 Armado ..... 08
-

# Introducción

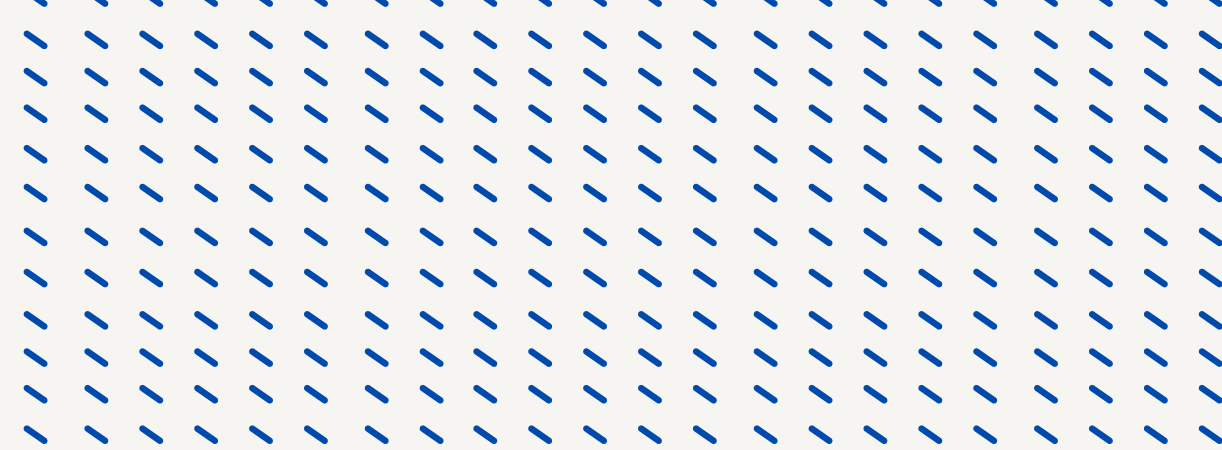
## 01 Descripción general

Este manual proporciona instrucciones detalladas sobre cómo fabricar un molde de aluminio para el proceso de fundición de plástico reciclado. También explica cómo construir una base de madera que soporta el sistema de moldeo y lo mantiene estable. El objetivo es brindar instrucciones paso a paso a los usuarios para garantizar una fabricación precisa del molde y un ensamblaje seguro y eficiente de la base, asegurando que el equipo funcione correctamente durante el proceso de producción de figuras plásticas.

- **Fabricación:** la máquina está compuesta por un molde de aluminio 6061 que está diseñado para resistir la alta presión y las altas temperaturas del plástico fundido. El molde se utiliza para crear figuras plásticas y se divide en dos partes: una cavidad y una tapa que permiten que el material se comprima.
- **Ensamble:** La base del molde hecho de madera de pino que facilita el verter plástico y desmoldeo de las piezas en la cavidad del molde. Para garantizar una distribución uniforme del material plástico durante el proceso de fundición, el sistema debe estar correctamente alineado y sujetado.

## 02 Normas de seguridad

- **Equipo de protección personal (EPP)**
  - **Ropa de trabajo adecuada:** Se debe usar ropa holgada para evitar el contacto con las piezas móviles y botas punta de acero.
  - **Gafas de seguridad:** protegen los ojos por virutas del corte de material.
- **Manejo de herramientas de corte:**
  - **Fresadora, torno CNC y herramientas de corte fresas:** cuando se utilizan estas herramientas para maquinar moldes, es esencial tener conocimiento de esta máquina y con ello usar gafas de seguridad y ropa adecuada como bata y botas. Antes de realizar ajustes, mantenga las manos lejos de las partes móviles y siempre desconecte las máquinas.
- **Emergencias:**
  - **Botiquín de primeros auxilios:** contar con un botiquín para tratar quemaduras, cortes u otras lesiones.
- **Capacitación y primeros auxilios:**
  - **El personal debe estar capacitado para operar la máquina:** se deben brindar capacitaciones regulares sobre el uso adecuado del equipo, las precauciones de seguridad y los primeros auxilios.



# Fabricación



## 01 Materiales necesarios

Lista de materiales:

1. Bloque de aluminio 6061 cavidad (medidas 6x6x1 in).
2. Bloque de aluminio 6061 tapadera (medidas 6x6x0.5 in).
3. Fresa plana: 3/4 in, 3/16 in, 1/8 in.
4. Fresa de punta de bola: 1/16 in.

## 02 Procedimiento

- Herramientas de corte

El material de aluminio 6061 debe trabajarse con herramientas que remuevan material para carear y hacer cavidades.

El tipo de herramienta de corte fresa, que se utiliza son de dos filos porque se requieren para remover aluminio de este tipo. Los diámetros de las fresadoras utilizadas en la cavidad del molde son 3/4 in, 3/16 in, 1/8 in y 1/16 in.

Es importante tener en cuenta que estos son los diámetros utilizados para crear la cavidad del molde de aluminio y la tapa del molde de aluminio pueden variar debido a que este proceso no es computarizado. Sin embargo, las herramientas usadas se muestran a continuación.

Los diámetros utilizados en la tapa de aluminio fueron: fresa 1/16 in plana, 3/4 in plana, 1/8 in plana y una cabeza porta cuchillas de 50 mm de diámetro.



- Corte Fresadora

Para preparar el material para el torno CNC, primero se cortará la cavidad del molde y la tapadera del molde con la herramienta de corte como una cierra.

El material sin cortar mide 6x6x1 in y las herramientas de corte lo dejarán en 5x5x1 in.



Sigue la preparación del material en medidas de 6x6x0.5 in y luego dejarlo en medidas de 5,5x5,5x0,5 in.



Se coloca la herramienta de trabajo o de corte en la fresadora y se trabajan las medidas de ambos moldes como se indicó anteriormente. El personal capacitado para trabajar en este tipo de maquinaria desarrolla este trabajo.

Acá se ve sistema de sujeción de la máquina y la herramienta de trabajo removiendo material. Esta en la tapadera del molde, que tiene una cavidad ligera que cumple como función alojar el molde principal trabajado la cavidad por el torno CNC. Profundidad de 0.16 in.



Tapadera del molde trabajada, medición interna de 5.05x5.05 in



Cara para trabajar cavidad en torno CNC.



- Corte torno CNC.

El torno CNC Haas VF-1 se utilizará para cortar o crear la cavidad del molde de aluminio de 5x5x1 in. Otro tipo de torno numérico puede hacerlo de la misma manera.

Inicialmente, el código G (contiene el maquinado del molde) que permite que la herramienta de trabajo se mueva en X, Y y Z. Para el desarrolla el trabajo de la cavidad del molde hay que conocer el número de portar herramienta de cada fresadora del código G, se puede ver en el display del tono CNC. Para que la máquina funcione correctamente, debe colocar el número de la herramienta a la herramienta con su sujetador. Sin esto, la máquina funcionará con compuestos inadecuados para el tipo de fresa utilizado. Numero de herramienta a sujetador:

- T1 = 3/4 plana
- T9 = 3/16 plana

- T13 = 1/8 plana
- T5 = 1/16 bola

Display del torno Haas VF-1



Se realizan una serie de operaciones una vez que se conoce el número de la herramienta, se coloca el material en la mesa de trabajo del torno CNC y garantizar que funcione correctamente.

Colocación del molde de aluminio a trabajar en la mesa de trabajo.



Calibración del cero del material y alturas de trabajo.

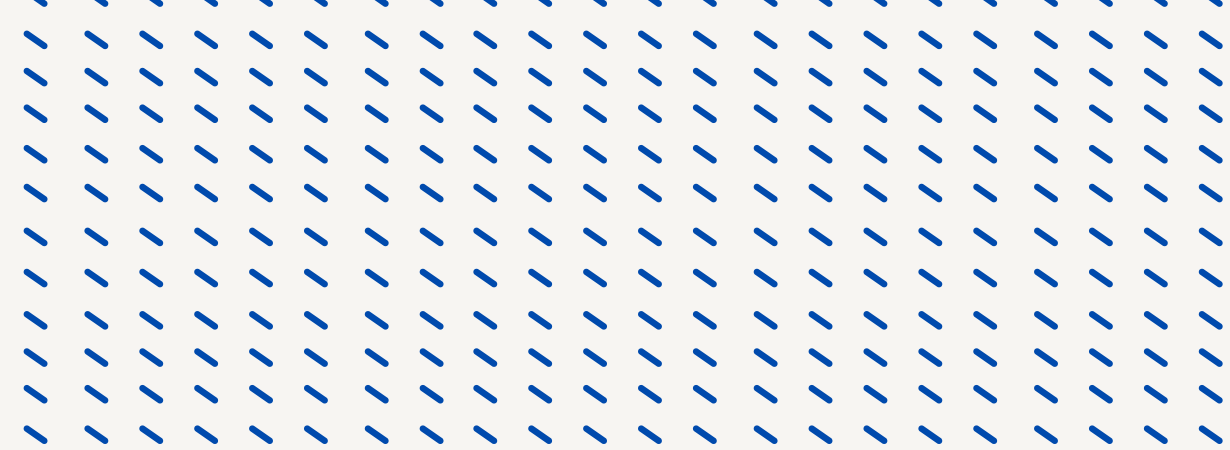


Cavidad del molde de aluminio, maquinado en CNC.

Colocar las herramientas de corte en sus sujetadores dentro del torno CNC y calibrar.



El material de aluminio se maquina utilizando una variedad de herramientas de corte, con un tiempo de 02:10:45. Luego, retire el material de la mesa de trabajo.



# Ensamble



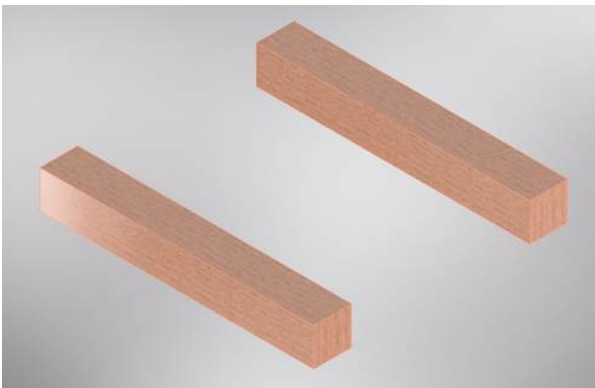
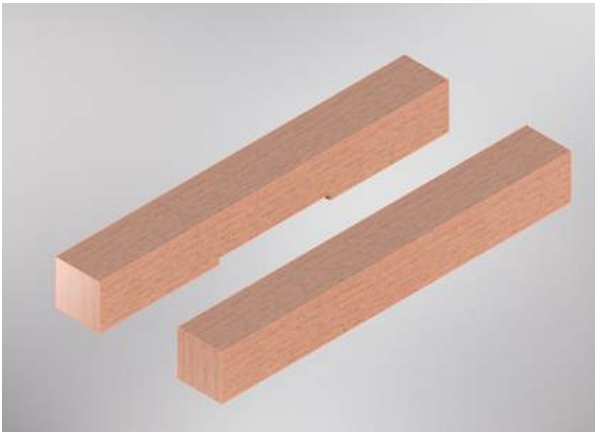
## 01 Material

Lista de materiales:

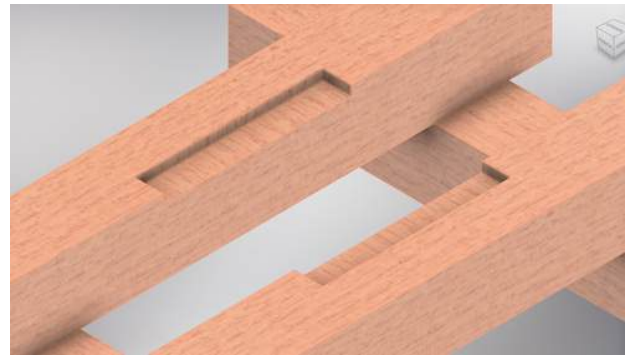
1. Madera de pino 2x2 in.
2. Tornillos busca rosca zinc 5/16 x 3 in.
3. Pegamento o cola.

## 02 Cortes

Se realizan dos cortes de 17.75 in de longitud y dos de 14.5 in de longitud, utilizando una madera de pino de 2 x 2 in de grosor.



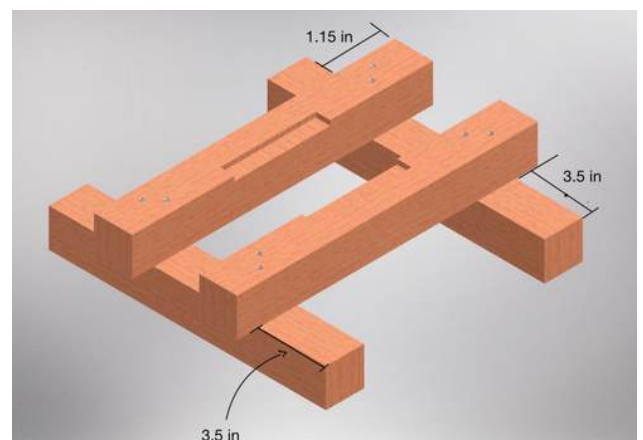
Después de eso, corte una muesca de 5 in de largo y 0.25 in de profundidad en el centro del corte de pino de 17.75 in de largo.



## 03 Armado

Se coloca en una superficie dos trozos de largo 14.5 in y por encima los de 17.75 in. Espaciados de 3.5 in en dos extremos paralelos y de 1.15 in en los otros dos extremos.

Se aplica pegamento o cola para que este sujete de mejor forma la base con cada uno.



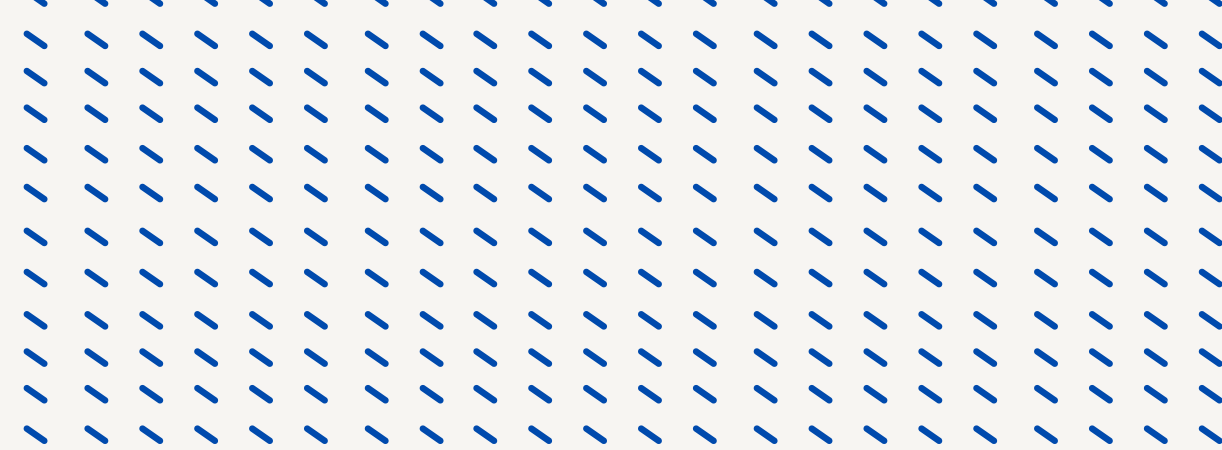
Se colocan dos tornillos en cada uno de los extremos, donde coinciden las caras de los trozos de pino.

Se perfora el material con el tornillo busca rosca zinc 5/16 x 3 in.



Base de madera armada.





# Manual de uso de máquina y mantenimiento

MOLDEO DE FIGURA PLÁSTICA



# Índice

## Introducción

- 01 Descripción general ..... 01
- 02 Normas de seguridad ..... 01

## Uso de la máquina..... 04

- 01 Lista de Herramienta ..... 05
- 02 Operación normal ..... 05

## Mantenimiento ..... 12

- 01 Limpieza ..... 13
  - 02 Inspección ..... 13
-

# Introducción

## 01 Descripción general

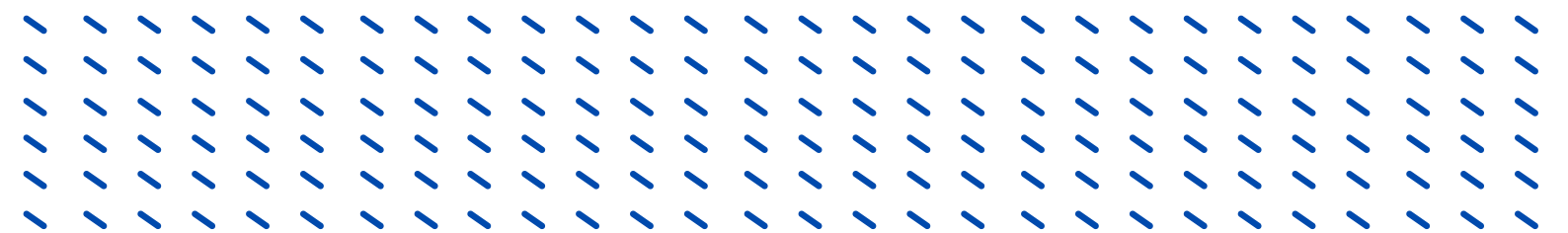
Este manual ofrece instrucciones detalladas sobre cómo usar y mantener la máquina de fundición y moldeo de plástico reciclado para crear figuras plásticas hechas de polietileno y polipropileno. El objetivo de este manual es asegurarse de que los operadores sigan los procedimientos adecuados para el uso seguro y eficiente del equipo, así como establecer un plan de mantenimiento que permita prolongar la vida útil de la máquina y garantizar su óptimo rendimiento.

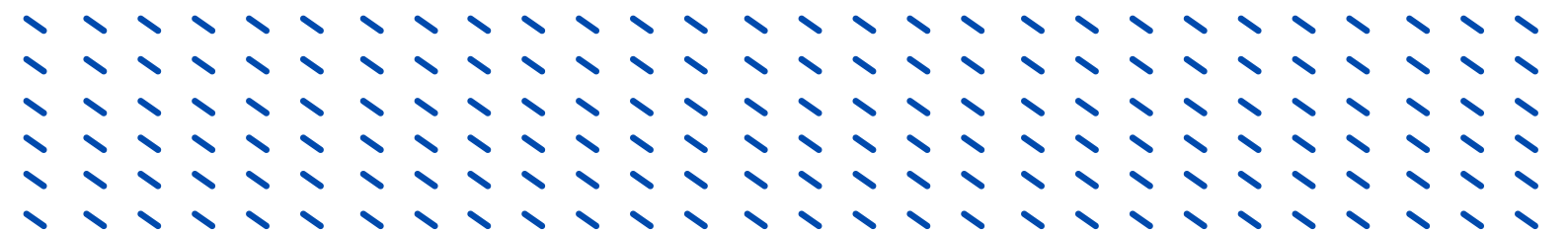
- **Uso de máquina :** el uso de la máquina comienza con la preparación del plástico reciclado, que se funde en la estufa de gas hasta la temperatura deseada. Una vez que el plástico se haya fundido, se vierte en el molde de aluminio previamente calentado. Después de eso, se coloca la tapa del molde y se ejerce presión para asegurar que el material se distribuya uniformemente en la cavidad. Después del enfriamiento, la figura se desmoldea y se prepara para su inspección y posible acabado.

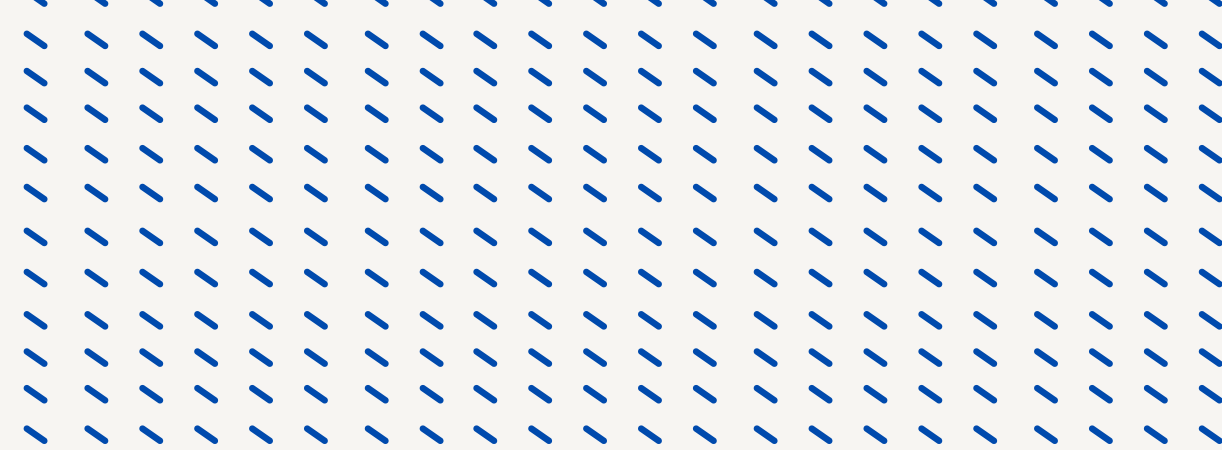
- **Mantenimiento:** se recomienda limpiar el molde después de cada ciclo de producción para garantizar un funcionamiento óptimo de la máquina, eliminando residuos de plástico que puedan afectar la calidad de las figuras. Además, la estufa de gas y el sartén deben revisarse periódicamente para asegurarse de que los quemadores funcionen correctamente y que el flujo de gas no se obstruya. Además, se debe inspeccionar el molde para asegurarse de que las partes cruciales, como los pines extrusores, no sufran daños o desgaste.

## 02 Normas de seguridad

- **Equipo de protección personal (EPP)**
  - **Guantes resistentes al calor:** usar guantes térmicos es esencial para evitar quemaduras al trabajar con materiales calientes, como moldes, sartenes de aluminio y plástico fundido.
  - **Gafas de seguridad:** protegen los ojos de salpicaduras de material fundido o polvo que pueda producirse durante el proceso.
  - **Mascarilla o respirador:** los vapores que se liberan al fundir plásticos pueden ser perjudiciales para la salud. Para evitar inhalar estos vapores, se recomienda usar mascarilla.

- 
- Manipulación de la estufa de gas:
    - Ventilación adecuada: el área de trabajo debe tener suficiente ventilación para evitar la acumulación de gases de combustión (como el gas propano) y vapores de plástico fundido.
    - Revisión del sistema de gas: Antes de encender la estufa, verificar que no haya fugas de gas en las conexiones y que el tanque esté en buen estado.
    - Encendido y apagado controlado: usar fósforos o encendedores largos para encender la estufa, alejando el cuerpo del quemador. Después de cada uso, apague la estufa y cierre la válvula de gas.
    - Almacenamiento seguro de gas propano: mantenga los tanques de gas propano en lugares bien ventilados y lejos de fuentes de calor o llamas abiertas.
  - Manejo de plástico fundido:
    - Evitar el sobrecalentamiento: monitorear la temperatura del plástico para evitar el sobrecalentamiento, que puede debilitar el material y liberar gases tóxicos.
    - No tome el plástico fundido en mano: para mover el material fundido y evitar el contacto directo, use herramientas como espátulas metálicas.
  - Seguridad de desmoldeo:
    - No forzar el desmoldeo: si la pieza no se desmoldea fácilmente, se debe esperar a que se enfríe completamente o utilizar los pines extrusores para ayudarla a salir. No use fuerza excesiva que pueda dañar el molde o la figura.
  - Prevención de riesgos mecánicos :
    - Garantizar la estabilidad de los elementos: garantizar que la estufa, la sartén y el molde estén bien fijados y no caigan o se muevan inesperadamente.
    - Inspección regular de la máquina: para evitar fallas mecánicas durante la operación, inspeccione regularmente el estado del molde y los pines extrusores.
  - Capacitación y Señalización:
    - El personal debe estar capacitado para operar la máquina: se deben brindar capacitaciones regulares sobre el uso adecuado del equipo, las precauciones de seguridad y los primeros auxilios.
    - Señalización adecuada: El área de trabajo debe tener señales visibles que indiquen zonas de riesgo, como "Material caliente", "Zona de uso de gas" y "Uso obligatorio de EPP".
-

- 
- Emergencias y primeros auxilios:
    - Extintores a mano: en el área de trabajo, debe tener un extintor de clase C para fuegos de gas y de clase A/B para fuegos de sólidos y líquidos inflamables.
    - Botiquín de primeros auxilios: Contar con un botiquín para tratar quemaduras, cortes u otras lesiones.
    - Plan de evacuación: Tener definido un plan de evacuación en caso de incendio o escape de gas.



# Uso de la Máquina

## 01 Lista de herramientas

- Lista de materiales:

1. Estufa de gas
2. Cilindro de gas 200 ml
3. Sartén
4. HDPE triturado
5. Balanza
6. Espátula
7. 2 sargentos tipo C 3 in de largo
8. Tijeras
9. Lija 80
10. Molde de aluminio con cavidad y tapadera
11. Gotero
12. Guantes de cuero
13. Lentes de seguridad
14. Mascarilla
15. Recipiente (deposito del HDPE triturado)
16. Circunferencia metálica
17. Pinza



## 02 Operación normal

Para comenzar a crear un moldeo de figuras de plástico con toda la herramienta necesaria, se necesita primero un espacio de trabajo adecuado de 1.6x1 metros cuadrados. Como se muestra en la figura anterior.

Inicialmente se pesa el tanque de gas, verificando si hay gas en el deposito. El tanque de gas nuevo pesa 0.481 kg.



Seguido, se retira el gas y se coloca un vaso o recipiente sobre la báscula y se tara la pesa. Unidades de peso en Kilogramos.

Colocar 0.03 kg de DPE triturado, dentro del vaso o recipiente.



Después de verificar la presencia de gas, se saca la estufa de gas y se abre la tapa que permite el acceso al gas butano.



El tanque de gas se coloca en el compartimiento de la estufa y se baja la perilla para que se adapte al sistema de quemador de la estufa.



Perilla de cierre del sistema de gas



Se precalienta la cavidad del molde de aluminio, colocándola sobre el quemador de gas.



La cavidad queda viendo hacia el quemador.



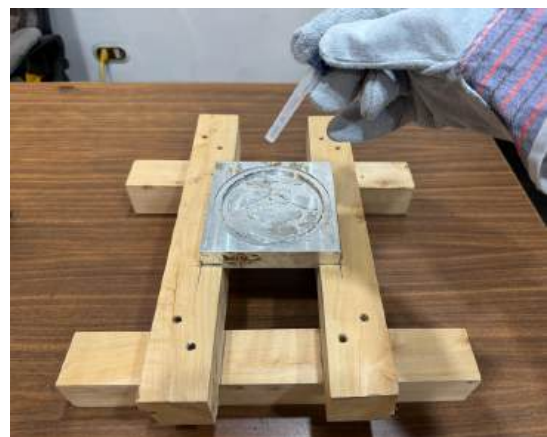
Se enciende la estufa de gas, girando la perilla de encendido, y se ajusta la flama en el nivel máximo.



Se de un tiempo de cronometrado de precalentamiento de 00:02:12. Después de tomado este tiempo, se apaga la estufa y se toma el molde con los guantes de cuero y se coloca sobre la base de madera.



Para verificar que el molde halla alcanzado la temperatura de precalentamiento de 100 °C con ayuda de un gotero, se deja caer una gota sobre el molde. Esta tiene que evaporarse en un tiempo de 7 segundos.



Si la gota no se evapora en ese tiempo, se hará un precalentamiento de 27 segundos.

Se continua la prueba, precalentando el molde sin cavidad. Colocar la cavidad del molde frente al quemador de gas.



La cavidad queda viendo hacia el quemador.



Se enciende la estufa de gas, girando la perilla de encendido, y se ajusta la flama en el nivel medio.



Se de un tiempo de cronometrado de precalentamiento de 00:01:10. Después de tomado este tiempo, se apaga la estufa y se toma el molde con los guantes de cuero y se coloca sobre la base de madera



Para verificar que el molde halla alcanzado la temperatura de precalentamiento de 100 °C con ayuda de un gotero, se deja caer una gota sobre el molde. Esta tiene que evaporarse en un tiempo de 7 segundos.



Si la gota no se evapora en ese tiempo, se hará un precalentamiento de 17 segundos.

El sartén se colocará sobre la estufa y se colocará sobre él una circunferencia de metal, que es la medida de la cavidad del molde que contiene el HDPE triturado.



Se apaga la flama del quemado de gas y luego se retira el material del sartén con ayuda de una espátula.



Colocarse mascarilla. Se mantienen durante el resto de la prueba.

Se enciende la estufa de gas y la perilla del control de gas se coloca en el nivel medio.

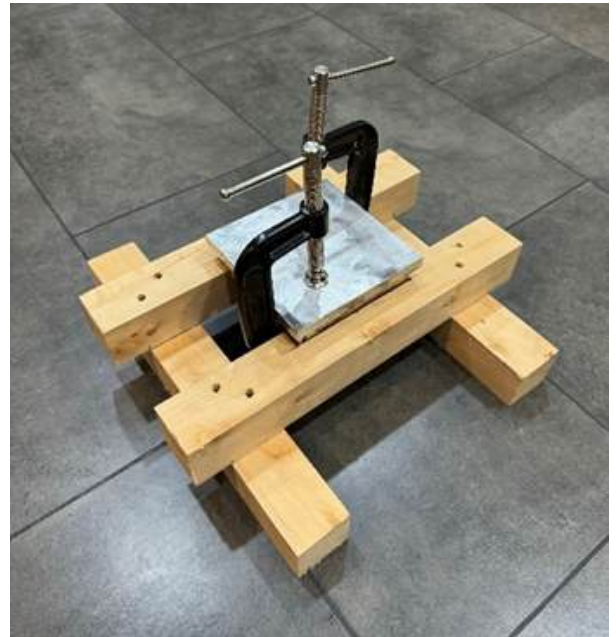


Se vierte el material en la cavidad del molde de aluminio, situado en la mesa de trabajo.



Se toman tiempo de fundición, el tiempo de espera es de 00:04:15. Para que se funda el plástico

Colocar la tapadera por encima del material fundido colocado en la cavidad del molde. Para que no se derrame el material



Sujete el molde y coloque un sargento en una de las ranuras circulares de la tapadera. Igual para el otro sargento



Inicia tiempo cronometrado de enfriamiento del molde. Se toman tiempo de enfriamiento del molde de 00:12:08

Finalizado el tiempo de enfriamiento del molde, se aflojan con la mano los tornillos de los sargentos.

Se abre el molde y con ayuda de una pinza se retira la pieza de plástico.

Girar con la mano el tornillo del sargento, hasta sentir que este no pueda girarse más.



Se coloca la figura plástica en la mesa de trabajo y coloca un libro sobre ella, para que la figura plástica tome rigidez por el peso del libro.



Se lija la superficie del perímetro con lija 80, para dejar superficie lisa.



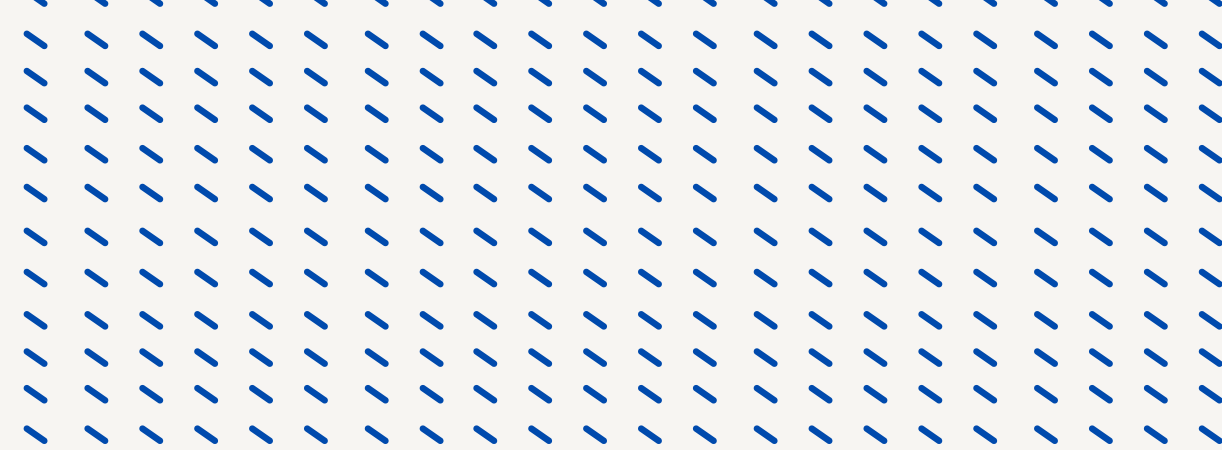
Se toman tiempo de enfriamiento de la figura, el tiempo de espera es de 00:01:30 a 00:02:00.

El exceso de material en el perímetro de la figura se trata de fracturarlo con la mano haciendo palanca o recortando con una tijera



Presentación final





# Mantenimiento

## 01 Limpieza

Dado que se utiliza un polímero triturado y fundido, es importante que cada parte del moldeo de figuras de plástico, este sea ordenado y limpio dicho proceso.

Se almacena el polímero triturado en una bolsa de plástico para que solo se use lo necesario, evitando desperdicios.



Esta limpieza es necesaria en dos lugares del polímero fundido. Tanto en el molde como en la sartén.

Después de usar la sartén, calienta en una sartén durante 00:01:00. Luego, usa una espátula para extraer los restos de polímero.



Después de usar el molde por compresión, si quedan restos de polímero en las dos cavidades, se utiliza un pedazo de tela más fino mojados con thinner para eliminarlos. No usar instrumentos como cepillo dentado, lija o pinzas ya que debido a que este método es muy abrasivo para el molde, puede dañar la cavidad.



## 02 Inspección

La inspección visual de cada uno de los componentes, como en los instrumentos de: la estufa de gas, la cavidad del molde, el estado del molde en compresión por sargentos y la estructura de madera, es crucial.

La estufa de gas se enciende para ver que no haya obstrucciones cuando el controlador de flujo de gas cambia la flama. Como el sistema se utiliza para fundir el polímero podría caer en el quemador y obstruir estos canales



La base de madera es responsable del sistema de sujeción del molde porque es un material aislante que evita que el molde pierda calor. Sin embargo, al ser un material inflamable a ciertas temperaturas, es importante monitorear su estado porque puede quemar partes.

Debido a que la cavidad del molde es donde se entregan las figuras de plástico, es inevitable que se deterioren con el tiempo debido al uso.



A la hora de capturar la figura dentro de la cavidad del molde, los sargentos tipo C hacen compresión en el molde, en las paredes externas. Las paredes externas sufren esta presión por parte del sargento; es necesario examinar su estado.

