



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Diseño de un molde híbrido para inyección de plásticos

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecatrónico

P R E S E N T A N

Alvarez Lara Evelyn
Pérez Rosado Dennis Yassef

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Álvaro Ayala Ruiz



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2023

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	4
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES	6
1.1 Introducción	6
1.2 Máquinas de Inyección de plástico.....	6
1.2.1 Clasificación y tipos de máquinas de inyección	7
1.3 Proceso de Diseño	9
1.3.1 Pasos para el diseño de un molde.....	10
1.3.2 Descripción de los pasos para el diseño de un molde.....	10
1.4 Consideración en el proceso de diseño	12
1.4.1 Moldeabilidad	12
1.4.2 Contracción del material	12
1.4.3 Material del molde	13
1.4.4 Líneas de soldadura.....	13
1.4.5 Fragilidad.....	13
1.4.6 Colada fría del molde	14
1.4.7 Colada caliente del molde	14
1.5 Polímeros.....	14
1.5.1 Clasificación de polímeros	14
1.5.2 Propiedades de los plásticos (Hernández, 2018).....	16
1.6 Carcasas	17
1.7 Moldeo científico.....	19
1.7.1 Curva de viscosidad.....	19
1.7.2 Balanceo de cavidades	20
1.7.3 Caída de presión.....	20
1.7.4 Ventana cosmética de proceso	20
1.7.6 Tiempo de enfriamiento.....	22
1.8 Moldes híbridos	22
1.8.1 Requisitos para la fabricación de moldes.....	23
1.8.2 Consideraciones para el diseño de moldes híbridos	23
1.8.3 Consideraciones para la selección de materiales.....	23
CAPÍTULO 2. OBJETIVO	24
2.1 Introducción	24
2.2 Objetivo.....	27

CAPÍTULO 3. DISEÑO	28
3.1 Introducción	28
3.1.1 Puesto de trabajo	28
3.1.2 Descripción del puesto de trabajo	29
3.2 Diseño conceptual	30
3.3 Requerimientos y especificaciones de la pieza	30
3.3.1 Material	30
3.3.2 Pieza	31
3.4 Conceptos de diseño	31
3.5 Desarrollo del diseño	34
3.5.1 Primera iteración	34
3.5.2 Segunda iteración	37
3.5.3 Tercer iteración	39
3.5.4 Cuarta iteración	41
3.5.5 Quinta iteración	43
3.5.6 Sexta iteración	46
3.5.7 Séptima iteración	48
CAPÍTULO 4. PROCESO DE DISEÑO DE LAS PLACAS DE CAVIDADES Y CORAZONES	53
4.1 Introducción	53
4.2 Placa del componente izquierdo de la carcasa	53
4.3 Placa del componente derecho de la carcasa	54
4.4 Placa para el componente tapa de la carcasa	55
CAPÍTULO 5. PROCESO DE MANUFACTURA DEL MOLDE PARA INYECCIÓN DE PLÁSTICO	60
5.1 Introducción	60
5.2 Manufactura aditiva herramental	61
5.3 Primera prueba con manufactura aditiva	62
5.4 Segunda prueba con manufactura aditiva	63
5.5 Tercera prueba con manufactura aditiva	64
5.6 Ensamble	72
5.7 Post-Procesamiento del molde	73
5.8 Resultados de la fabricación del molde	74
5.8.1 Ventajas de un molde fabricado con manufactura aditiva en comparación de uno manufacturado con CNC	74
5.8.2 Inconvenientes observados al realizar la manufactura del molde	75

CAPÍTULO 6. PROCESO DE INYECCIÓN	76
6.1 Introducción	76
6.2 Preparación del proceso de inyección	76
6.3 Experimento 1	79
6.4 Experimento 2	81
6.5 Experimento 3	83
6.6 Experimento 4	84
6.7 Experimento 5	86
CAPÍTULO 7. RESULTADOS	88
CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES	89
REFERENCIAS	91

INTRODUCCIÓN

Actualmente, los polímeros forman parte importante de la vida diaria de la población, la industria de la transformación del plástico por su versatilidad, facilidad y economía interviene en la fabricación de multitud de productos de consumo en distintas áreas como: la medicina, donde se realizan trajes protectores, guantes, catéteres, jeringas; la de alimentación, en el envasado y conservación de alimentos y bebidas; en la agricultura, para sistemas de riego e incluso en el transporte de agua a las viviendas por medio de tuberías; en la electrónica, como los conectores y cables, además de la industria automotriz, y aeroespacial entre otros.

Ante este panorama, existe una gran demanda en la producción de productos plásticos, esto ha obligado a las empresas a cambiar sus estrategias de trabajo con el objetivo de mejorar su calidad, productividad y plazos de entrega, siendo el proceso de moldeo por inyección uno de los más comunes para la obtención de piezas plásticas. Se estima que el 33% de las piezas se fabrican por este método, ya que ofrece rentabilidad y tiempos de ciclo cortos. (Prada y Acosta, 2017)

Para este proyecto se eligió el moldeo por inyección, que es una de las técnicas más comunes en el procesamiento de plásticos. Este proceso consiste en fundir el polímero y hacerlo fluir bajo presión y temperatura en un molde, en el cual la pieza solidifica y duplica su forma (García, 2012). El material, previamente calentado hasta alcanzar su punto de fusión, se introduce en el interior de un molde cerrado, a alta presión donde se enfría adquiriendo la forma deseada. La gran ventaja de este proceso es la posibilidad de fabricar piezas de geometrías complejas a altas velocidades de producción (Albarrán, 2014).

A pesar de que el moldeo por inyección tiene una producción eficiente, bajo costo por pieza, repetitividad, estabilidad dimensional y otras ventajas con respecto a otras tecnologías para la fabricación de piezas plásticas, también se tiene que tomar en cuenta algunas desventajas (Hatch, 2022):

- Inversión inicial elevada: Utiliza moldes de acero para volúmenes de producción elevados (más de 100,000 piezas), su fabricación requiere tiempo y mecanizado lo que supondría un costo elevado.

- Cuando se requiere producir una pieza y no se cuenta con el molde, el material y las herramientas necesarias, se puede llegar a demorar hasta 12 semanas en poder realizar la primera inyección.
- Limitación de diseño: Se tiene que tomar en cuenta diferentes geometrías para facilitar su expulsión, el control del espesor de pared para evitar defectos, los cambios en el diseño de un molde pueden ser costoso.
- La producción para una pequeña producción de piezas, como lo pueden ser de cientos, no es rentable.

Debido a las desventajas mencionadas del proceso de producción de molde, se han explorado alternativas para mejorar a través de la fabricación rápida de moldes por medio de manufactura aditiva PolyJet ya que ofrece una respuesta más rentable (de 50 a 70% inferior a un molde de aluminio) con mayor rapidez, así mismo el costo por pieza será menor ya que el material genera precios bajos de operación y permite una mayor libertad geométrica ya que utiliza entradas y ángulos de desmoldeo mayores que los moldes de metal.

Con base a lo anterior, se diseñará y manufacturará un molde para inyección de plásticos de una carcasa para un instrumento de medición de temperatura, utilizando insertos fabricados con manufactura aditiva. Se describe el proceso de diseño, las fases para la fabricación del mismo, así como presupuestos de manufactura, selección de materiales, tanto para el molde como para la pieza y procesos de mecanizado, así como la elección de una máquina inyectora adecuada al proceso.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

1.1 Introducción

Para lograr un diseño y manufactura adecuado se deben conocer y estudiar diferentes factores, algunos de estos son: posición de los pernos botadores, características del material que se piensa inyectar, la máquina inyectora de plástico, así como el material con el que se fabricará el molde y las dimensiones de éste. Tomando en cuenta que las piezas de plástico siempre tienden a contraerse es necesario considerar los factores de contracción y las tolerancias requerida durante la fabricación del molde, así como los acabados superficiales. A continuación, se presenta la descripción y clasificación de máquinas de inyección de plástico, así como el proceso y consideraciones de diseño de un molde.

1.2 Máquinas de Inyección de plástico

Una máquina para inyección es la maquinaria industrial que se utiliza para la creación de piezas poliméricas por medio del proceso de moldeo por inyección que se basa en el proceso de fundición a presión en cámara caliente. Dentro de todo el proceso de diseño de los moldes para inyección de piezas de plástico depende directamente de la máquina de inyección a usar (Hernández, 2018). Es sustancial cuestionar que se quiere fabricar, con que materiales, que precisión se requiere, etc., por lo que es importante conocer las capacidades de la máquina a utilizar como son:

- Dimensiones
- Diámetro del husillo
- Máxima presión de inyección
- Volumen teórico de inyección
- Volumen efectivo de inyección
- Capacidad de inyección
- Capacidad de plastificación
- Velocidad máxima de rotación de husillo
- Fuerza de cierre
- Fuerza de enclavamiento
- Carrera máxima de apertura

Se presenta un breve resumen del tipo de máquinas más usadas, para describir los tipos y sus funciones.

1.2.1 Clasificación y tipos de máquinas de inyección

- Máquina de Inyección con Pistón

Este tipo de maquinaria (Figura 1) cuenta con un barril con resistencias localizadas a su alrededor, este cumple con el propósito de contener el material el cual es fundido debido al calor originado por las resistencias. Después, dicho material es conducido a través de un distribuidor con la ayuda del movimiento de un pistón, inyectándolo al molde.

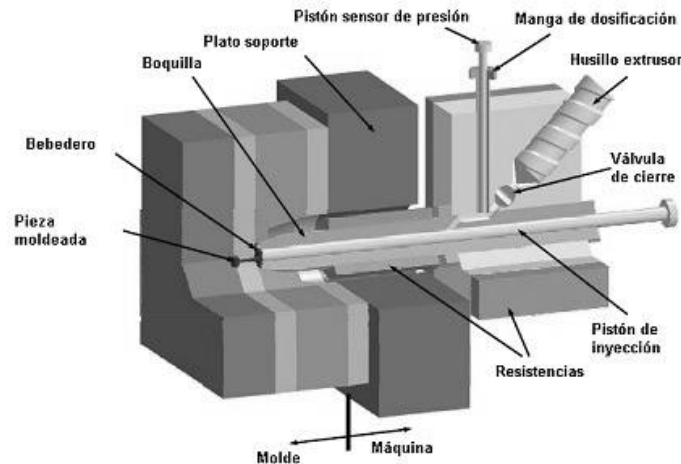


Figura 1. Máquina de inyección por pistón.
(Battenfeld)

- Máquina de Inyección con Tornillo Alternativo

Este tipo de máquina realiza la fusión e inyección del material mediante un tornillo (Figura 2) el cual va alternando su función; plastificar e inyectar el material.

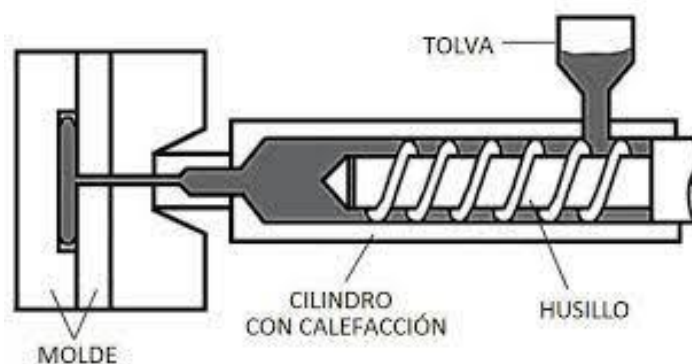


Figura 2. Máquina de inyección con tornillo.
(Zeng, et al., 2011)

- Máquina para Inyección Multicolor

Este tipo de máquinas como su nombre lo indica permite realizar la inyección de una pieza inyectando dos materiales con una pigmentación diferente a un mismo molde, esto se

debe a que cuentan con más de una unidad de inyección en las cuales se colocan los materiales a inyectar.

Las máquinas se clasifican en dos categorías (Figura 3 y 4).

- 1) Diseño horizontal.
- 2) Diseño vertical.

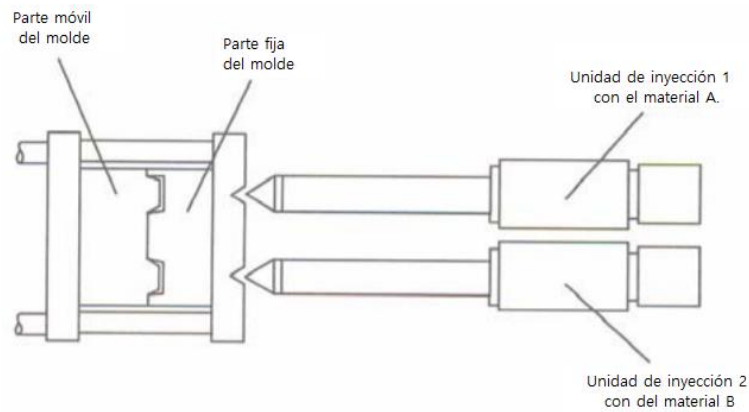


Figura 3. Diseño Horizontal de inyección multicolor.
(Sánchez, 2002)

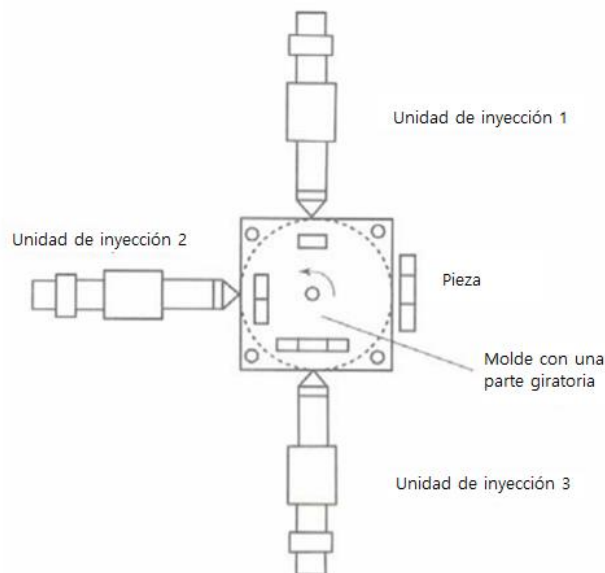


Figura 4. Diseño Vertical de Inyección Multicolor.
(Sánchez, 2002)

- Máquinas inyectora de mesa giratoria

Las máquinas inyectora de mesa giratoria tienen como ventaja el ahorrar tiempo durante el proceso, ya que se emplean varios moldes que se encuentran acomodados en una

mesa giratoria. Cuando inicia el proceso, se inyecta el primer molde, seguidamente la mesa gira para poder realizar el llenado del siguiente y así sucesivamente, hasta llegar al último molde. Se estima que cuando esto sucede, la primera pieza ha sido retirada para poder nuevamente rellenar el primer molde y repetir el ciclo (Figura 5).



Figura 5. Máquina inyectora de mesa giratoria.
(PRM-TAIWAN)

1.3 Proceso de Diseño

El proceso de diseño es ideado para satisfacer las necesidades de acuerdo a una toma de decisiones iterativas guiadas por obtener los objetivos estipulados; es importante poner atención en producir piezas en un ciclo de tiempo corto, así como lograr que estas cumplan su función, mantengan calidad, un costo aceptable y se evite el desperdicio de materiales de forma innecesaria.

Actualmente existen herramientas digitales de diseño asistido por computadora (CAD), manufactura asistida por computadora (CAM) e ingeniería asistida por ordenador (CAE), que ayudan a prevenir errores que no se pueden observar tan fácilmente, hacer simulaciones y evitar el antiguo “prueba y error” en el que se desperdiciaba demasiado material, tiempo y por lo tanto un aumento en los costos de producción (Hernández, 2018).

1.3.1 Pasos para el diseño de un molde

Existen diversos procesos de diseño los cuales depende desde la perspectiva y enfoque de cada autor, en este caso se revisará el siguiente punto de vista (Hernández, 2018).

1. Detalles de las estimaciones originales.
2. Dibujo de la pieza a inyectar.
3. Definir la función de la pieza de plástico.
4. Selección del material de la pieza.
5. Cantidad requerida.
6. Tolerancias de la pieza de plástico.
7. Número de cavidades.
8. Selección del método de expulsión.
9. Punto de inyección.
10. Diseño reológico.
11. Distribución de los componentes del molde.

En el proceso de Malloy explicado en su libro “Plastic Part Design for Injection Molding” uno de los pasos a seguir para realizar el diseño de un molde para inyección de plásticos es la fabricación de un prototipo rápido de pruebas, para verificar si estas cumplen con los requerimientos de diseño necesarios, es decir que la pieza cumpla con el funcionamiento y dimensiones esperadas, con la finalidad de proceder a la producción del molde para inyección de plástico. Debido a la importancia de la fabricación de un prototipo para realizar pruebas de funcionalidad se decidió agregar este paso al proceso de diseño propuesto por Hernández.

1.3.2 Descripción de los pasos para el diseño de un molde

1.- Detalles de las estimaciones originales

De acuerdo a las características de la máquina de inyección con la se trabaje se debe seleccionar el molde, la capacidad de producción y precisión.

2.- Dibujo de la pieza a inyectar

Las piezas que se inyectarán deben tener las consideraciones de contracción del material, así como las geometrías adecuadas para su inyección.

3.- Definir la función de la pieza de plástico

Dependiendo de sus funciones, se debe valorar los esfuerzos que va a soportar y las características que debe tener.

4.- Selección del material de la pieza

Se debe considerar las características del material con el que se va a inyectar con base a las necesidades que se deben cubrir, dependiendo de su función, producción y el costo.

5.- Cantidad requerida

La cantidad de producción que se debe cubrir en un tiempo definido, así como el tipo de colada que se utilizará.

6.-Tolerancias de la pieza de plástico.

Evaluar si es necesario el cumplir con alguna norma.

7.- Número de impresiones

Es la cantidad de cavidades en función a la capacidad del molde de acuerdo al dimensionamiento.

8.- Selección del método de expulsión

Existen diferentes métodos de expulsión para las piezas de inyección, se debe seleccionar el método más conveniente, el más común se realiza por medio de pernos botadores.

9.- Punto de inyección

Es un orificio en el molde por donde entrará el material a la cavidad que formará la pieza de plástico. Es preferible que el punto de inyección esté ubicado en la zona de la pieza con mayor espesor, ya que en esta zona habrá menor contracción del material y es sometida a mayor presión.

10.- Sistemas de canales de colada

Son los canales por donde pasará el material fundido. Cuando se tienen más de dos cavidades, por lo general esta condición permite fabricar más de una pieza en un mismo proceso de inyección.

11.- Distribución de los componentes del molde

La distribución de los componentes debe ser equitativa para evitar el debilitamiento de la placa de cavidades o de corazones debido a la presión de inyección y éstas se deformen permanentemente.

1.4 Consideración en el proceso de diseño

1.4.1 Moldeabilidad

Es la propiedad que tiene un material para ser utilizado en la fabricación de una pieza por medio del proceso de inyección de plástico, está íntimamente relacionado con la calidad de la pieza pues es una herramienta que permite predecir la calidad de la misma (Flores, 2011).

Existen diferentes técnicas y herramientas para evaluar la moldeabilidad de un material plástico, los principales parámetros que influyen son: la temperatura de la masa fundida, presión de empaquetamiento, tiempo de enfriamiento y temperatura del molde.

La maleabilidad es una propiedad del material que debe ser proporcionada por el distribuidor del polímero y es importante conocerla pues, ayudará en la toma de decisión de la selección del material.

1.4.2 Contracción del material

La contracción es la diferencia entre las dimensiones del molde y las dimensiones de la pieza de plástico obtenida, y se debe a la diferencia de densidad de la masa fundida con respecto a la pieza sólida, la mayor parte de la contracción ocurre mientras se enfría.

Por lo general tiene varias unidades de medida para expresarse: en porcentajes, en pulgadas por pulgadas o en milímetros por milímetros. Conociendo la contracción del material, se puede conocer el factor de escala que se debe aplicar al molde para obtener la pieza final con las dimensiones correctas.

En la Tabla 1 se puede observar algunos porcentajes de contracción de distintos polímeros.

Tabla 1. Materiales plásticos con su porcentaje de contracción. (Torres, 2016)

Material	Porcentaje de contracción
Poliamida	1-1.5
Polietileno de baja densidad	1.5-3
Polietileno de alta densidad	1-2
Polietileno	0.5-0.6
Estireno-Acrilonitrilo	0.4-0.6
Polimetacrilato	0.3-0.6
Policarbonato	0.8
Copolimero de acetato	2
Cloruro de polivinilo duro	0.5-0.7
Cloruro de polivinilo blando	1-3
Acrinitrilo-butadieno-estireno	0.4-0.6
Polipropileno	1.2-2
Acetato de celulosa	0.5
Acetobutirato de celulosa	0.5
Propionato de celulosa	0.5

1.4.3 Material del molde

Generalmente los moldes empleados durante el proceso, se ven sometidos a temperaturas y presiones elevadas, por lo que cuando se elige el material para la fabricación de un molde de inyección se debe considerar: la cantidad de piezas de plástico que se desean inyectar, resistencia mecánica, resistencia química, resistencia a la corrosión y compresión ya que con el paso de tiempo y su uso este tiende a desgastarse.

La elección del material empleado para el molde es vital, puesto que una mala elección se verá reflejado en pérdida de tiempo, recursos y elevación de costos.

1.4.4 Líneas de soldadura

Se generan cuando el flujo viaja en direcciones opuestas, este defecto es indeseable, sobre todo si se trata de piezas donde la apariencia es muy importante, pero casi imposible de evitar pues se está a disposición de un canal de distribución.

Algunas condiciones que pueden favorecer para mejorar la calidad de una línea de soldadura es la alta presión, la velocidad de inyección, alta temperatura de la masa fundida y un diseño para la formación de líneas de soldadura lo más cercano al punto de inyección.

1.4.5 Fragilidad

Es la tendencia a romperse de una pieza de inyección, es el resultado de tener condiciones de temperaturas inadecuadas y debilidad en las líneas de soldadura, algunos defectos que surgen por las mismas causas son las marcas de quemaduras y decoloración.

Esto se puede solucionar asegurándose de que las condiciones sean correctas y los tiempos utilizados sean los necesarios.

1.4.6 Colada fría del molde

En los sistemas de colada fría los canales no cuentan con sistemas de control de temperatura, por lo que son un componente de la pieza a inyectar, el plástico inicia su proceso de enfriamiento desde el momento que entra al molde, por lo que es común utilizarlo en piezas pequeñas.

Los tiempos de ciclos son elevados y se genera desperdicio de material en los canales, pero es mucho más barato de utilizar y a su vez el mantenimiento de los moldes disminuye.

1.4.7 Colada caliente del molde

En este tipo de sistema de moldeo las placas y canales del molde se calientan, el molde puede ser calentado interna o externamente, y el operador puede controlar el flujo de plástico y dirigir lo necesario a las cavidades, no existe la solidificación de colada.

El tiempo de ciclo es más corto que los sistemas de colada fría, al no existir coladas sólidas el desperdicio es mucho menor, se puede utilizar para fabricar piezas de mayor tamaño, sin embargo, es mucho más costoso en su uso y mantenimiento.

1.5 Polímeros

Los polímeros son macromoléculas que consisten en la repetición de pequeñas unidades llamadas meros, de ahí el nombre polímeros, se encuentran enlazadas covalentemente entre sí. La molécula más simple de un polímero se le llama monómero (Ander y Sonnesa, 1977). Los polímeros plásticos, son moléculas de enorme importancia que se caracterizan por ser resistentes y tener un alto rendimiento que les permite múltiples aplicaciones para reemplazar materiales como el metal, vidrio y cerámica resultando muy versátil su uso para satisfacer las necesidades y requerimientos en diversos campos de la sociedad actual.

1.5.1 Clasificación de polímeros

Los polímeros se pueden clasificar de diferentes maneras, según su estructura interna se clasifica en:

Termoestables

Están unidos mediante enlaces químicos lo que genera una estructura altamente reticulada, razón de las altas resistencias mecánicas y físicas que presentan dichos materiales comparados con los termoplásticos y elastómeros, aporta una baja elasticidad lo que le da la característica de fragilidad.

Una desventaja de los materiales termoestables es su falta de capacidad para ser reciclado, una vez que han solidificado o curado pues es imposible volver a una fase líquida al no poder fundirse, antes pasarán a un estado gaseoso (Figura 6).

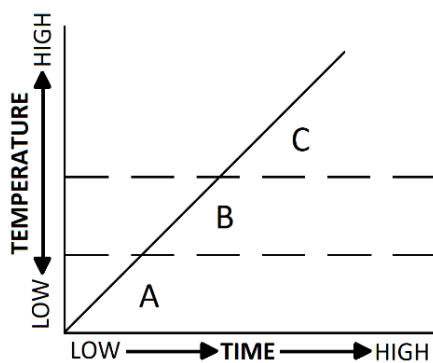


Figura 6. Escenario de los termofijos desde la fase líquida hasta la solidificación. (Hernández, 2018)

- A) No está curada.
- B) Parcialmente curada.
- C) Está completamente curada.

Termoplásticos

Son los polímeros que se encuentran unidos mediante fuerzas intermoleculares, forman estructuras lineales o ramificadas, se someten a temperaturas de ablandamiento y al enfriar endurecen, tienen la capacidad de poder ser ablandados nuevamente y repetir el proceso.

De acuerdo con el grado de las fuerzas intermoleculares se pueden adoptar dos tipos de estructuras:

Estructura amorfa: No tienen una estructura cristalina y su forma no sigue un patrón, semejante a un ovillo de hilos desordenados, dicha estructura es responsable de las propiedades elásticas del material termoplástico. Son gradualmente ablandados conforme se calientan.

Estructura cristalina: Las cadenas poliméricas tienen una estructura compacta y ordenada, es la responsable de las propiedades mecánicas de resistencia a esfuerzos o cargas. Ver Tabla 2.

Tabla 2. Características de termoplásticos cristalinos y amorfos. (Hernández, 2018)

Propiedad	Cristalino	Amorfo
Ablandamiento o derretimiento	Temperatura de derretimiento	Ablandamiento sobre un rango de temperatura
Densidad	Incrementa como crece la cristalinidad	Más baja que para un material cristalino
Calor contenido	Más grande	Más bajo
Cambio de volumen en calentamiento	Más alto	Más bajo
Efecto de orientación	Más alto	Más bajo
Compresibilidad	Frecuentemente más grande	Algunas veces más bajo
Fuerza	Alto	Bajo
Transparencia	No	Si
Resistencia química	No	Pobre
Viscosidad	Baja	Alta
Tiempo por temperatura	Si	No

Elastómeros

Tienen una estructura ligeramente reticulada y su principal característica es una alta elasticidad y flexibilidad que disponen dichos materiales frente a cargar antes de fracturarse o romperse.

1.5.2 Propiedades de los plásticos (Hernández, 2018)

Temperatura de uso continuo

Es la temperatura máxima a la que un material plástico puede ser utilizado, por periodos prolongados de tiempo y que este no tenga un cambio significativo en sus propiedades.

Temperatura de deflexión bajo carga

Se define como la temperatura a la cual una probeta prismática confeccionada con un material plástico, rígido a temperatura ambiente, sufre un determinado valor de deformación bajo una cierta carga (0.45, 1.8 ó 8.0 MPa) y como consecuencia de una elevación programada de la temperatura (50 ó 120 °C/hora).

Comportamiento térmico

Los termofijos tienen condiciones térmicas específicos y los termoestables tienen factores a considerar que influyen en el rendimiento del producto y su posibilidad de procesamiento.

Memoria plástica

Los plásticos asumen la forma deformada temporalmente pero siempre mantiene sus esfuerzos internos que hacen regresar al material a su forma original.

Conductividad térmica

Esta cualidad es la propiedad física que mide la capacidad de un material para conducir calor.

Calor específico

Es la cantidad de energía requerida para aumentar su temperatura en una unidad.

Coefficiente de expansión térmica lineal

Cuando un material se calienta se expande y al contrario se contrae al enfriarse. El coeficiente de expansión térmica lineal es la razón de cambio de longitud por unidad de cambio en temperatura.

Resistencia a la corrosión

Es la capacidad de un material de resistir el contacto con las condiciones ambientales naturales, los plásticos al no contener aditivos metálicos no son sujetos a la corrosión.

Resistencia química

Es la capacidad de un material de resistir ambientes químicos.

1.6 Carcasas

Hoy en día existen diversos tipos de carcasas que se fabrican por medio de inyección de plásticos, estas varían desde diversas herramientas de mano hasta dispositivos de uso médico como termómetro infrarrojo (Figura 7).

- Carcasa para taladro.



Figura 7. Carcasa de taladro
(Bosh)

MATERIAL

Nylon

CARACTERÍSTICAS

Tiene bordes redondeados y sin filo para evitar posibles lesiones al ser utilizados.

El material es resistente a impactos y vibraciones.

De uso rudo.

- Carcasa teléfono celular (Figura 8).



Figura 8. Carcasa de policarbonato para teléfono celular.
(Topsenda)

MATERIAL

Policarbonato

CARACTERÍSTICAS.

Bordes redondeados y sin filo.

Es diseñado y fabricado exclusivamente para un modelo de celular.

Espesor máximo de 5mm, esto se debe a facilidad de producción y comodidad del usuario.

- Casco para ciclista (Figura 9).



Figura 9. Casco para ciclista.
(Vertex)

MATERIAL

Poliestireno expandido y policarbonato.

Cintas de poliéster.

CARACTERÍSTICAS

Material resistente a impactos.

Bordes redondeados y sin filo para evitar posibles lesiones.

Tiene gorma redondeada, para que cubra la parte superior de cráneo.

- Carcasa para termómetro infrarrojo (Figura 10).



Figura 10. Termómetro digital infrarrojo.
(Homgrace, 2020)

MATERIAL

Actualmente en el mercado existen empresas que se dedican a inyectar carcasas para termómetros infrarrojos, los fabrican principalmente de ABS, PC, PS, PP, PMMA, PE entre otros.

CARACTERÍSTICAS

Tiene bordes redondeados para evitar posibles lesiones al momento de ser utilizado.

La forma, espesor y longitud del mango son adecuados para la comodidad del usuario.

1.7 Moldeo científico

El moldeo científico es una metodología que hace uso de técnicas para reducir la cantidad de pruebas que se harían por medio de estadísticas y maximizar la calidad de la pieza final. Se basa en obtener datos durante el proceso de inyección con la finalidad de evaluar y mejorar la calidad de la pieza, a través de combinaciones de los parámetros del proceso de inyección de plásticos.

Una de estas prácticas que se lleva a cabo es la de disparos cortos, consiste en el llenado incompleto de las cavidades del molde (Routisis, 2000), lo cual da como resultado una pieza incompleta, esto tiene la finalidad de verificar que el análisis realizado sea correcto respecto al llenado de las cavidades y verificar si el molde se encuentra balanceado.

El moldeo científico se divide en 6 pasos según Kulkarni (2016):

1.7.1 Curva de viscosidad

Para poder encontrar un punto en que el comportamiento del material sea newtoniano, se debe realizar un estudio de la curva de viscosidad. Se dice que un material tiene un comportamiento newtoniano cuando su viscosidad aparente es constante, que, por lo general, ocurre a velocidades altas de inyección debido a que las moléculas del polímero comienzan a alinearse en dirección al flujo.

Para ello se calcula la viscosidad del material cuanto se dispara a una velocidad constante, sin embargo, debido a la variabilidad del proceso de inyección, el valor de la viscosidad no es constante, por lo que es necesario realizar varias pruebas, se muestra los resultados obtenidos tras realizar circular la viscosidad de un material cuando es disparado a diferentes velocidades (Figura 11).

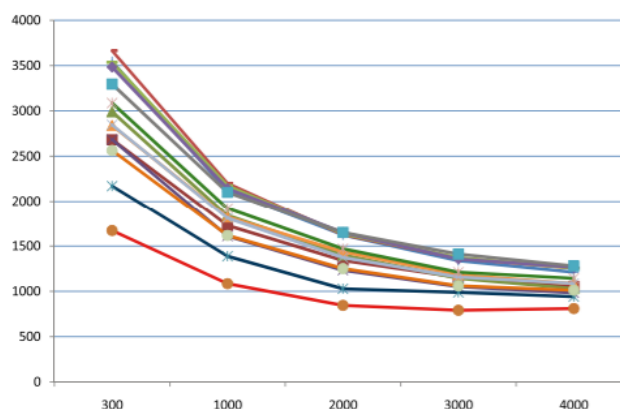


Figura 11. Viscosidad del mismo grado, pero de diferentes lotes.
(Kulkarni, 2016)

1.7.2 Balanceo de cavidades

Se realiza una inspección del molde y se verifican las dimensiones de los canales, punto de inyección, venteos, la conexión del sistema de enfriamiento, esto para identificar la causa del desbalanceo si llegara a existir.

Realizado la inspección, se programa la velocidad de inyección, que se determinó en el primer paso, así como, la presión de mantenimiento en cero y con un tiempo de enfriamiento que asegure la solidificación de la colada, El balanceo de las cavidades consiste en modificar la cantidad de material que entra a la cavidad para obtener el 10%, 25%, 50%, 75% y 100% del volumen de la pieza. Se registra el peso de cada una, de esta manera se determina si en alguna cavidad se tiene más material. La variación máxima para los datos respecto al que este más cercano al valor del diseño es de 5%.

1.7.3 Caída de presión

En este paso se obtiene la presión máxima que se requiere para inyectar la pieza, con esto se podrá conocer si la máquina es capaz de moldear la pieza y, en su caso, ajustarla para el procesamiento continuo.

Para este proceso se debe purgar y anotar el valor de la presión de inyección, se modifica la cantidad de material que entra al canal de la colada o canales secundarios en cada disparo en 25%, 50% y 98%, y se registra la presión de inyección para identificar su alcance en cada etapa.

1.7.4 Ventana cosmética de proceso

Es el rango en el cual una pieza se obtiene sin defectos estéticos como lo son los rechupes, alabeos o rebabas, las variables más relevantes son la presión de mantenimiento y la temperatura de la masa fundida y/o del molde dependiendo del material a emplear.

Para materiales amorfos la temperatura del molde no influye en la calidad de la pieza, sin embargo, para materiales semicristalinos es muy importante para la calidad de las piezas y la formación de pequeñas regiones cristalinas, es por esa razón que la ventana cosmética (Kulkarni, 2016) considera la variación de la temperatura según la familia del polímero en estudio.

Para determinar la ventana cosmética de un material amorfo se realizan los siguientes pasos:

A.- Se coloca la temperatura de trabajo más baja indicada por el proveedor y la presión de mantenimiento se varia hasta un valor mínimo en la que no se presenten rechupes (Tmin, Pmin).

B.- Se aumenta la presión de mantenimiento en intervalos que, dependen de la cantidad de material a inyectar hasta que se presenten rebabas, con este paso se encuentra la temperatura mínima y presión máxima (Tmin, Pmax).

C.- Se repite el proceso, pero ahora con la temperatura máxima de trabajo y una presión mínima en la que no se presenten defectos (Tmax, Pmin).

D.- Se aumenta la presión hasta que no se presenten defectos tales como rechupes (Tmax, Pmax).

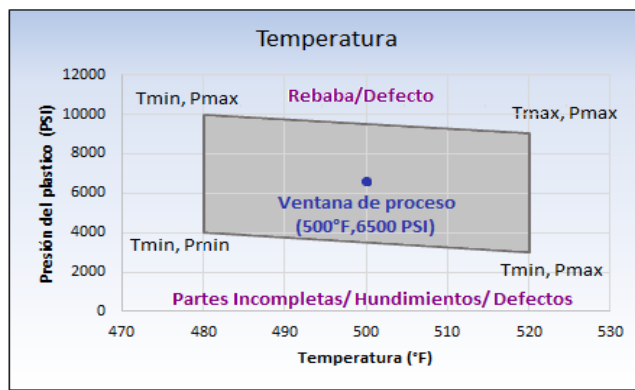


Figura 12. Se realizó a temperaturas de masa de 248 °C (480 °F) y 271 °C (520 °F), las altas y bajas recomendadas en la hoja de datos del plástico (ABS). A 248 °C (480 °F), las piezas moldeadas por debajo de 4000 psi salían incompletas y con rechupes, y las piezas moldeadas por encima de 10,000 psi produjeron rebabas. Las piezas moldeadas entre 4000 psi y 10,000 psi salían con calidad aceptable.

Para los materiales cristalinos, el procedimiento sigue los pasos de los materiales amorfo, con la diferencia que la temperatura del molde es la variable para controlar. Ya obtenidos los puntos se grafican y se obtiene el área de un polígono, formado por los cuatro puntos, con lo que se minimiza la aparición de defectos en la pieza (Figura 12).

El cierre de puntos de inyección, se da cuando la viscosidad del plástico cae a un valor en el que ya no le es posible fluir, es decir se solidifica e impide que entre más material a la cavidad.

Durante el proceso, para encontrar el cierre de puntos de inyección es necesario que parámetros como la presión de inyección, temperatura del molde, velocidad de inyección, tiempo de enfriamiento y otros se mantengan constantes, además de que es necesario que la pieza tenga el 95% al 98% de lo volumen final.

Cuando el peso de la pieza se mantiene constante, la puerta está congelada o cerrada, para ello, se empieza a realizar un gráfico modificando los tiempos de sostenimiento contra el peso de la pieza, hasta que este no varía. Es recomendable realizar varios disparos por cada iteración del tiempo de sostenimiento (Figura 13).

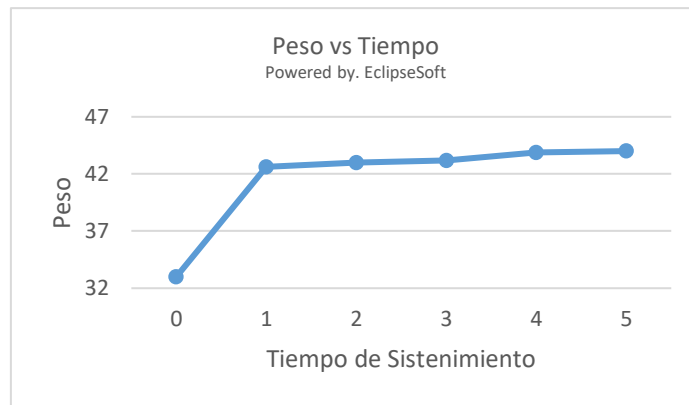


Figura 13. Tiempo de sostenimiento contra peso.
(González, 2020)

1.7.6 Tiempo de enfriamiento

El material inyectado comienza a enfriarse en el momento que toca el molde, el tiempo de enfriamiento se determina tomando como referencia la acotación funcional de la pieza, la cual es definida en el proceso de diseño. Cuando la pieza alcanza la temperatura de expulsión, el tiempo de enfriamiento se varía hasta que se alcance la estabilidad en la cota funcional y se cumpla con las tolerancias establecidas.

1.8 Moldes híbridos

Un molde híbrido es un molde fabricado con diferentes materiales, puede ser de distintos metales, como lo es un molde con insertos recubierto de níquel, o la combinación de metales y polímeros, como son los moldes que contienen insertos o corazones realizados por medio de manufactura aditiva en resina o polímeros.

En ocasiones los moldes para inyección de plásticos tienen un diseño complejo, lo que hace más tardada y costosa su fabricación, por lo que recientemente se ha implementado el uso de manufactura aditiva en la fabricación de moldes para inyección de plásticos, ya sea en su totalidad o partes específicas de este. (Krizsma, Kovács, Suplicz, 2021)

Cuando se requiere un número bajo de piezas inyectadas, el fabricar un molde completamente de acero y/o aluminio, eleva el precio de las piezas, por lo que hacer uso de un molde híbrido ayuda a reducir el costo de este e incrementando la flexibilidad en el diseño.

También, se usan para la construcción de moldes prototipo, que sirven como herramienta puente, es decir, se puede empezar o probar la producción mientras el molde final es diseñado, maquinado, ensamblado y ajustado.

1.8.1 Requisitos para la fabricación de moldes

Para que sea posible realizar un molde por medio de manufactura aditiva el material debe tener las siguientes propiedades:

- Alta rigidez: Deben mantener una buena precisión dimensional en múltiples ciclos, así como soportar altas presiones durante la inyección del material sin deformarse.
- Resistencia a altas temperaturas: Debe ser capaz de resistir altas temperaturas para asegurar que el molde no fallará durante el proceso de inyección.
- Alto nivel de detalle: Los moldes deben tener alta precisión dimensional y en con contar con superficies cosméticas, asegurando el nivel de acabado superficial requerido.

Dos procesos que generalmente pueden generar piezas suavizadas y de alta precisión son el Material Jetting (o inyección de material) y la estereolitografía.

1.8.2 Consideraciones para el diseño de moldes híbridos

Algunas prácticas que se deben seguir al diseñar un molde fabricado con manufactura aditiva son las siguientes:

- Se debe considerar que las caras internas del molde, no coincidan con las caras donde se colocó material de soporte durante el proceso de manufactura aditiva, con la idea de mejorar la calidad de la pieza
- Incluir salidas de aire ~0.05 mm, iniciando en el borde de la cavidad y hasta el borde del molde.
- La fabricación del molde con un espesor de capa pequeño ayudará a producir piezas moldeadas con mejor acabado superficial pues, las líneas de capa serán menos visibles.

1.8.3 Consideraciones para la selección de materiales

Para la selección de material se debe tener en consideración lo siguiente:

- Un material que se pueda utilizar en producción de alta repetibilidad.
- Debe poder producirse con alto nivel de detalle.
- Su precisión dimensional no debe cambiar mucho con los ciclos de producción que se requieran.
- Se debe utilizar un material que tenga una temperatura de deformación al calor más elevada que el material que se utilizara para inyectar.

CAPÍTULO 2. OBJETIVO

2.1 Introducción

La pandemia del virus SARS-CoV-2 (COVID 19) ha sido un hecho histórico que afectó los ámbitos de la vida, en un contexto que incluyó a todas las sociedades. Por ello es aceptable considerar a la pandemia como una crisis de salud pública mundial que obligó a implementar medidas de distanciamiento social que forzaron al planeta entero a reducir sus relaciones y con ello disminuir la velocidad de contagio de la enfermedad.

Ante este panorama de crisis global de la pandemia de COVID-19 condujo a los sistemas educativos en la mayor parte del mundo a implementar medidas sanitarias de prevención, y en el año 2020, la UNAM decidió cancelar gran parte de sus actividades presenciales, para resguardar la salud del personal y alumnado. Sin embargo, cuando las condiciones sanitarias lo permitieron, la universidad regresó a las actividades de manera escalonada y durante ese proceso, se tenían que cumplir las medidas establecidas en los Filtros de Seguridad Sanitaria al Acceso de Instalaciones (FSS) (DGPE, 2021), los cuales contaron con las siguientes características:

- Los FSS se instalaron de forma estratégica a manera que, al momento de ingresar a las instalaciones, el personal y alumnado debían pasar por uno de ellos.
- Se colocaron señalamientos que indicaban un distanciamiento de 1.8 metros (FSS) (DGPE, 2021).
- El personal encargado de los FSS tenía conocimiento de las actividades que desempeñaba en el mismo.
- El personal encargado de operar los FSS usaba en todo momento una mascarilla y una bata.

Funciones de los FSS:

- Vigilar que las personas que ingresaban a las instalaciones se lavaran las manos o usen gel antibacterial.
- Vigilar que el personal académico y alumnado usara cubrebocas y tomen su temperatura.
- Pedir que las personas que deseaban ingresar a las instalaciones respondan un breve cuestionario.
- Si alguien presentaba una temperatura mayor a 37.8°C era referido al área de servicios médicos.

Si presentaban 3 o más síntomas era muy probable que presentara la enfermedad COVID-19

- Dolor de cabeza, catarro, cansancio extremo, dolor de garganta, tos seca, fiebre, molestias o dolor en articulaciones de brazos y piernas, diarrea, dolor en el pecho o tórax, dolor abdominal, conjuntivitis, pérdida del sentido del olfato o del gusto, erupciones o rash en la piel.

En caso de no presentar síntomas graves permanecía en casa hasta completar 14 días. De lo contrario si los síntomas eran considerados graves como la dificultad para respirar o sensación de falta de aire, dolor intenso o presión en el pecho, incapacidad para hablar o moverse tenía que ser canalizado a servicios médicos de urgencia en los hospitales adaptados para atender a los pacientes con COVID 19 para determinar su padecimiento con la prueba correspondiente y recibir el tratamiento correspondiente.

El usuario sospechoso debía informar su estado de salud al responsable Sanitario de su entidad de dependencia y este tomaba sus datos personales para localización y los registraba en la bitácora de la Facultad, Escuela o entidad; el responsable le enviaba las recomendaciones para los cuidados en casa y realizaba un seguimiento de la enfermedad por vía telefónica, lo registraba en la bitácora e informaba semanalmente al Comité de Seguimiento.

Para personas con infección COVID-19 (Prueba positiva):

El usuario infectado no debía presentarse a las actividades para evitar la transmisión de la enfermedad, usar cubrebocas, lavarse las manos con frecuencia y limpiar superficies con las que tenía contacto. Usar la etiqueta respiratoria y cumplir 14 días de confinamiento en casa. Informaba su estado de salud con el Responsable Sanitario de su entidad, ya sea vía telefónica o vía electrónica.

El responsable Sanitario resguardaba los datos personales y los registraba en la bitácora de la Facultad, Escuela o entidad, a su vez le enviaba las recomendaciones para los cuidados en casa y realizaba un seguimiento de la enfermedad por vía telefónica, lo registraba en la bitácora e informaba semanalmente al Comité de Seguimiento.

Datos de alarma para acudir a solicitar atención médica inmediata (DGPE, 2021)

En caso de presentar: Fatiga, falta de aire y/o dificultad para respirar, acudían inmediatamente a recibir atención médica.

- Alumnas y alumnos: Unidades médicas IMSS
- Personal académico y administrativo: Unidades Médicas ISSSTE

- En caso de dudas llamar a: Unidad de Inteligencia Epidemiológica y Sanitaria 800 0044 800

Así mismo, los FSS deberán contar con los siguientes insumos:

- Careta y respirador N95.
- Agua y jabón para lavado de manos.
- Gel antibacterial (base alcohol mayor a 60%).
- Solución clorada.
- Pañuelos desechables.
- Bote de basura con tapa.
- Termómetro infrarrojo.

Los insumos mencionados tienen un costo, en la tabla 4 se muestran los costos de los insumos requeridos.

Tabla 4. Costo de insumos necesarios para los FSS.

Insumo	Costo/Cantidad	Cantidad
Careta	\$96.00	Una pieza
Respirador N95	\$35.00	Caja con 10 unidades
Gel antibacterial	\$75.00	Litro
Solución clorada	\$20.00	Litro
Pañuelos desechables	\$1.50	Pieza
Bote de basura con tapa	\$200.00	Pieza
Termómetro infrarrojo	\$320.00	Pieza
Jabón líquido	\$20.00	300 ml
GRAN TOTAL	\$767.50	

Se espera contar con al menos un Filtro de Seguridad Sanitaria por edificio en cada entidad de Ciudad Universitaria, con lo que se tendría un aproximado de 1000 FSS en todo el campus. Sólo en la Facultad de Ingeniería se cuenta con 32 edificios considerando licenciatura y posgrado.

Uno de los consumibles más necesarios es el termómetro infrarrojo, y la inversión inicial del termómetro es equivalente al 42% del costo total para cada FSS, es decir, se requerirá de al menos \$320,000 pesos para la adquisición de 1000 termómetros. Además, se debe considerar que los termómetros son propensos a extraviarse y/o dañarse, por lo que será necesario considerar una partida adicional a la inversión inicial.

El uso del termómetro infrarrojo es imprescindible, ya que permitirá conocer la temperatura corporal del personal y alumnado que ingrese a las instalaciones dentro de Ciudad Universitaria, con la finalidad de identificar a las personas que presenten temperatura o fiebre ya que es uno de los síntomas comunes del COVID-19, y así actuar acorde a lo establecido con las medidas de seguridad recomendadas por la UNAM.

Dado el costo de los termómetros, se observa la necesidad de buscar una alternativa más económica para contar con dichos dispositivos. De esta manera, si la UNAM fabricara sus propios termómetros, tendría la posibilidad de lograr innovaciones tecnológicas en las áreas de diseño, material, manufactura y electrónica.

Otros de los beneficios de que la UNAM fabrique sus propios termómetros infrarrojos es la disminución de los costos de éstos, además de los tiempos de adquisición y envío. La Facultad de Ingeniería es una de las entidades que tiene el personal capacitado para diseñar y manufacturar los termómetros, en donde se cuenta con las instalaciones requeridas.

Cabe mencionar que, si se fabrican en la Facultad de Ingeniería, será posible contar con mantenimiento y reemplazo de componentes, sin necesidad de desechar el termómetro, con lo que será posible reutilizar las partes funcionales potenciando el ahorro de recursos.

2.2 Objetivo

Dado lo anterior, el objetivo del presente trabajo es diseñar y manufacturar un prototipo modular de las placas de cavidades y corazones para un instrumento de medición de temperatura, utilizando insertos fabricados con manufactura aditiva, de igual forma, se trabajará en el diseño de la pieza de la carcasa de dicho instrumento de medición de temperatura de acuerdo al proceso de Malloy.

Describir el proceso de diseño de las placas, las fases para la fabricación del mismo, selección de materiales, tanto para las placas como para la pieza y procesos de mecanizado.

Las placas de corazones y de cavidades deben ser fabricadas por medio de manufactura aditiva con el equipo de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

CAPÍTULO 3. DISEÑO

3.1 Introducción

Conscientes de que no existe medida alguna que por sí sola detenga o limite la capacidad de transmisión del Coronavirus COVID-19 y considerando los lineamientos generales para espacios públicos abiertos y cerrados en COVID-19 impuestos por el gobierno federal de México (Secretaría de Salud, 2020), en los que se basó la UNAM para generar sus Lineamientos para el Regreso a las Actividades Universitarias. Dentro de este proceso se hace primordial el uso de termómetros infrarrojos en los filtros sanitarios como medida para detectar fiebre en casos de infección y así mitigar el riesgo de las personas que necesiten ingresar en los distintos espacios, que conforman a la Universidad.

La falta de estos dispositivos o su remplazo por termómetros de contacto podría repercutir en un aumento de riesgo de contagio, tanto para el personal universitario como para el usuario visitante, provocando que el filtro sanitario no esté cumpliendo con su función, así mismo, no se podría detectar oportunamente los posibles casos haciendo ineficaz la guía para personas con sospecha de infección COVID-19 recomendado por la UNAM.

3.1.1 Puesto de trabajo

Las personas más indicadas para desempeñar las tareas en el Filtro de Seguridad Sanitaria es el personal de seguridad UNAM, debido a que una de sus actividades principales es controlar el acceso de personas, introducción de vehículos, muebles y otros a las instalaciones, además de cuidar el orden y seguridad en las áreas e instalaciones del campus universitario.

Uno de los factores de riesgo al desempeñar alguna tarea es la manipulación manual de cargas y se refiere a levantar una carga de más de 3 kg. Así, durante del desarrollo de las actividades en los FSS, no se presentan tareas con cargas mayores de 3 Kg. En el caso del uso del termómetro infrarrojo la masa de los dispositivos comerciales es aproximadamente de 0.5 kg.

Al ser el termómetro infrarrojo una herramienta de trabajo manual, con una masa menor a 3 kg no presenta riesgos musculares por levantamiento de cargas, sin embargo, al ser un trabajo repetitivo puede llegar a causar cansancio por una postura incorrecta en su manipulación.

Cuando un trabajo tiene una acción repetitiva, es recomendable que tenga descanso de algunos minutos o microdescanso (de algunos segundos) para no forzar los músculos y

evitar lesiones (State Compensation Insurance Fund, 2014), debido a las condiciones de trabajo, se sabe que los encargados del filtro no estarán utilizando el termómetro infrarrojo durante toda su jornada y podrán tener descansos de esta acción repetitiva.

3.1.2 Descripción del puesto de trabajo

Se puede observar una representación del puesto de trabajo (Figura 14), el cual cuenta con una mesa, una silla para que el personal del Filtro de Seguridad Sanitaria pueda descansar cuando lo considere necesario, además de contar con gel antibacterial, un recipiente de sanitizante, termómetro infrarrojo y trapo para desinfectar su área de trabajo como mínimo cada cuatro horas.

Se muestra una persona encargada del FSS, con un termómetro infrarrojo colgado en el cuello, lo recomendable cuando se carga algo con los hombros y cuello es que no supere el 10% de la masa corporal (Colegio Profesional de Fisioterapeutas de la Comunidad de Madrid, 2021) de cada persona, considerando que el peso promedio del mexicano adulto es de 70 kg (INEGI, 2015) hace factible que esto sea posible debido a que el termómetro es un artículo que tiene un peso aproximado de 0.5 kg, se considera bastante ligero y de esta manera facilita que sea portado y utilizado.

Las actividades por desempeñar en el puesto de trabajo son:

- Limpiar el área de trabajo cada 4 horas.
- Verificar el uso correcto de cubreboca del personal universitario y/o visitantes.
- Asegurar que el personal universitario y/o visitantes se apliquen gel antibacterial en sus manos.
- Medir la temperatura al personal universitario y/o visitantes.
- Permitir acceso a las instalaciones.
- Reportar posibles casos de infección al responsable sanitario de las instalaciones.

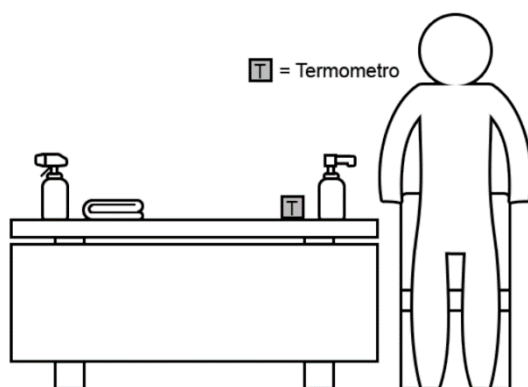


Figura 14. Descripción grafica del puesto de trabajo.

3.2 Diseño conceptual

Con las condiciones actuales, se requiere del trabajo multidisciplinario, lo cual implica integrar diferentes entidades del campus universitario, tal es el caso del Instituto de Astronomía, donde se desarrolló un prototipo de la electrónica del termómetro infrarrojo y la cual será la base para desarrollar un primer prototipo de carcasa para dicho dispositivo. Considerando lo anterior y las condiciones del puesto de trabajo en el FSS, se definen los siguientes requerimientos iniciales para la carcasa del termómetro:

- Aislante térmico y eléctrico
- Resistente a caídas
- Rígido
- Resistente a productos desinfectantes
- Ligero
- Tamaño adecuado
- Ergonómico
- Fácil de portar
- Fácil de limpiar.
- Económico
- Material biodegradable e hipoalergénico

3.3 Requerimientos y especificaciones de la pieza

Se realizará la carcasa de un termómetro que contendrá circuitos eléctricos, un sensor, así como una pila como fuente de alimentación. Dado lo anterior será necesario fabricar la carcasa con un material de baja densidad y aislante eléctrico. Además, se deberá considerar una geometría con características ergonómicas para su manipulación.

3.3.1 Material

Tabla 5. Requerimientos y especificaciones del material

Requerimientos	Especificaciones
Aislante eléctrico	Rotura dieléctrica entre 18.9 – 21.7 kV/mm
Aislante térmico	Conductividad térmica menor que 0.05 W/mK
Resistente a caídas	Entre 20-40 kJ/m ²
Rígido	Módulo elasticidad mayor o igual a 1.30 Gpa
Resistencia química	Debe ser resistente a algunos solventes como lo son alcohol etílico e hidróxido de amonio.
Peso que soporta	Debe resistir al menos 79.5 kg

3.3.2 Pieza.

Tabla 6. Requerimientos y especificaciones de la pieza

Requerimientos	Especificaciones
Ergonómico	Longitud de la mano 174.28 ± 7.8 mm Diámetro de empuñadura 94.46 ± 6.8 mm Anchura de la mano 41.58 ± 3.69 mm
Buen acabado superficial	Rugosidad $27 \mu\text{m}$
Ligero	< 300 g
Que se pueda producir en las instalaciones de la FI.	Arranque de viruta y procesos de conformado.
Costo	\$150 por unidad
Área de contacto con otras superficies	Menor a 1400 mm^2
Posición de reposo en el puesto de trabajo	Vertical

3.4 Conceptos de diseño

Se realizó una búsqueda de termómetros de mano comerciales, de donde se observaron diversas geometrías en sus respectivas carcasas y se agruparon por su similitud. En la figura 15 se puede observar carcasas que tienen una geometría aplanada y alargada similar a la de un control remoto, cuentan con uno o dos botones en la parte superior debajo de la pantalla con el objetivo de ser alcanzados con el dedo pulgar, una tapa en la parte inferior trasera donde se deposita la fuente de alimentación.



Figura 15. Carcasas de termómetro infrarrojo con geometría plana.

Para estos termómetros de la figura 16, se observa una forma de L, con un accionador en la parte media, para ser accionado con el dedo índice. Se tiene una tapa en la parte inferior donde se deposita la fuente de alimentación, algunos termómetros cuentan con botones en las caras laterales para configurar el termómetro.



Figura 16. Carcasas de termómetro infrarrojo con forma de L.

Después de estudiar los diferentes tipos de carcasas se decidió evaluar y comparar las dos principales geometrías.

Opción 1: Tiene parecido a un control remoto con un botón en la parte central que enciende y toma la temperatura, la cual se muestra en el display, y el sensor infrarrojo de temperatura se encuentra en la parte superior.

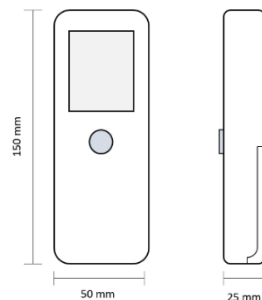


Figura 17. Geometría de control remoto.

Opción 2: Carcasa en forma de L: Cuenta con un botón en forma de gatillo que al ser presionado este enciende y adquiere la temperatura, el sensor infrarrojo de temperatura se encuentra en la cara opuesta al display.

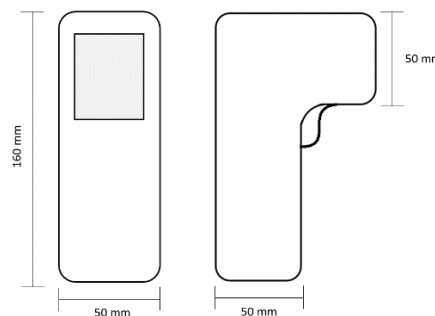
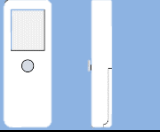
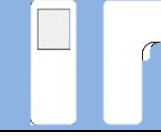


Figura 18. Geometría con forma de L.

La siguiente tabla evalúa, cuál de las dos las opciones cumplen de mejor manera los requerimientos y especificaciones establecidas. La ponderación utilizada es una métrica del 1 al 10, siendo 10 la mejor puntuación.

Tabla 7. Evaluación y comparación de las opciones de carcasa.

REQUERIMIENTO	MODELO	
		
Resistencia térmica	10	10
Resistencia eléctrica	10	10
Resistencia a caídas	10	10
Rigidez	10	10
Resistencia química	10	10
Material biodegradable	5	5
Material hipoalergénico	10	10
Precio competitivo	10	10
Tamaño	8	10
Buen acabado superficial	8	10
Ligero	10	10
Es posible producirlo en la FI	10	10
Estético	7	10
Ergonomía	5	10
Área de contacto con otras superficies	3	8
Posición de reposo en el puesto de trabajo	0	10
TOTAL	126	153

De acuerdo a la evaluación se puede observar que la opción 2 es la que cumpliría mejor los requerimientos. Dado lo anterior se propone desarrollar una carcasa en forma de L.

3.5 Desarrollo del diseño

Considerando que las carcasas de los termómetros comerciales consisten en una tarjeta de circuito impreso y con sus siglas en inglés se conoce como PCB, una pantalla, un sensor, un gatillo y un espacio para la fuente de alimentación, se propuso un primer concepto, el cual fue evolucionando para cumplir de una mejor manera los requerimientos.

A continuación, se muestra cada una de las modificaciones realizadas a los diseños preliminares, en cada versión se hará énfasis en las mejoras de la carcasa. Dado que esta se compone de dos piezas simétricas, sólo se ilustran los cambios en el componente correspondiente al lado izquierdo.

3.5.1 Primera iteración

Dado que el componente más importante y de mayor tamaño es la PCB, este fue el punto de vista de donde partió el diseño de la carcasa. Así, la PCB se compone principalmente de cuatro elementos: un sensor infrarrojo, un botón de accionamiento, un LCD display y un microcontrolador.

Dada las recomendaciones de salud que imperaban a mediados de los 2020, no era posible contar físicamente con la PCB que se utilizaría para el termómetro infrarrojo y dado la premura de tiempo de contar con un diseño del dicho termómetro, fue necesario iniciar el proceso de diseño con medidas aproximadas de la PCB.

El diseñador de la PCB proporcionó las medidas preliminares de la PCB (Figura 19) y se complementaron con información encontrada en páginas de internet de los componentes electrónicos comerciales.

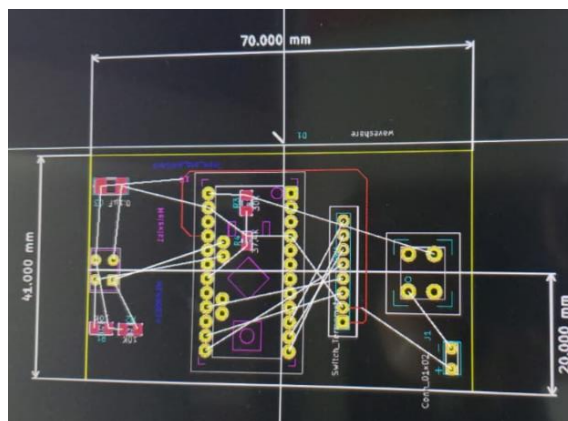


Figura 19. Dimensiones preliminares de la PCB.

Considerando la anterior, se encontró un sensor infrarrojo con un diámetro de 18.4 mm, y para el módulo LCD display se buscó en internet las datasheets de elementos

comerciales y se encontró que el tamaño más común en el área de display era de 25 mm x 35 mm, por lo que se inició el diseño con estas dimensiones, de acuerdo con la información preliminar que proporcionó el diseñador de la PCB.

Por consiguiente, se inició el proceso de diseño conceptual de la carcasa, a partir del resultado de la comparación y evaluación de las opciones de carcasa de la Tabla 7, se seleccionó la geometría base en la que se posicionaron los diferentes elementos que componen el termómetro infrarrojo.

Elementos principales de la carcasa del termómetro:

1. Cavidad del display.
2. Cavidad de la pila.
3. Pestañas sujetadoras del display.
4. Postes para atornillar PCB.

La posición de la PCB fue determinada en la zona superior de la carcasa, donde hay mayor área, esta sería sujeta por medio de postes, los cuales son elementos de sujeción comunes para el ensamble de piezas de plástico.

Se diseñó un compartimiento, el cual se muestra de color azul en la figura 20.a, que tiene como objetivo aislar la pila, por otro lado, para la posición del módulo LCD display se consideró la parte posterior de la carcasa, esto con la finalidad de que el usuario tenga buena visibilidad al leer las mediciones realizadas por el termómetro.

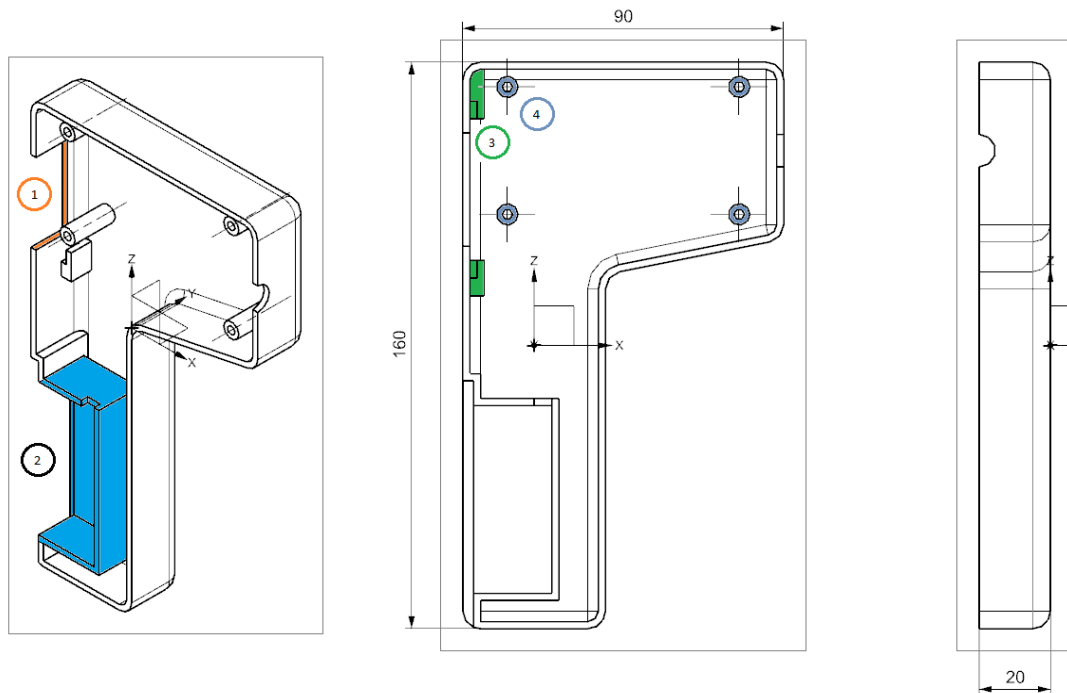


Figura 20. a) Elemento 1 y 2 b) Elementos 3 y 4. c) Profundidad de la pieza.

Después de analizar este primer diseño, se observó lo siguiente: las paredes de la cavidad de la pila que se muestra en la figura 20.a se considera que utiliza una mayor cantidad de material, pues es un espacio no aprovechado y que podría sustituirse con una opción que utilice una menor cantidad de materia prima.

Por otro lado, el espesor de la carcasa era de 2 mm y la altura de los postes para atornillar la PCB de 16 mm como se muestra en la figura 21.a, con la idea de verificar los posibles defectos en la carcasa, se realizaron análisis de moldeabilidad del diseño propuesto, utilizando como material base el polímero PP.

Tomando en consideración dichas dimensiones se encontró que el espesor de la carcasa era pequeño con respecto al diámetro y altura de los postes para atornillar la PCB, por lo que existía una probabilidad de obtener marcas de hundimiento debido a que el PP tiene un factor de contracción alto, entre 3% y 4%.

Como se señala en la figura 21, con los círculos rojos, en donde se ubican los cuatro postes para sujetar la PCB, se presentaron defectos conocidos como rechupes, así mismo, las pestañas sujetadoras del display generan deformaciones, se puede observar que en promedio la estimación de los rechupes es de aproximadamente 0.2 mm, existiendo una pequeña área en la esquina superior al orificio del display que duplica esta estimación. Esto implica una deformación de la pieza y un acabado superficial no deseable, por lo que se propone modificar el diseño para reducir las estimaciones promedio de los rechupes, con la intención de generar una mejor opción.

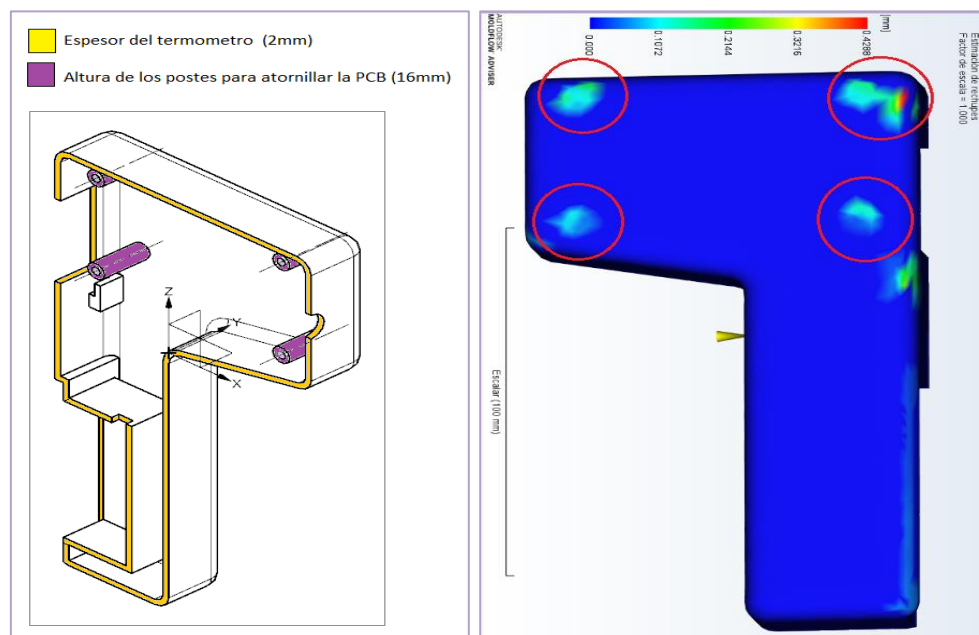


Figura 21. a) Espesor de las paredes del termómetro y altura de los postes de la PCB.
b) Rechupes debido a la altura de los postes para atornillar la PCB.

Se realizó un análisis de deformación de la pieza, en la figura 22, se observa que tendrá una deformación máxima de 1.151 mm en la parte inferior del componente, no presenta alabeo y, al ser piezas simétricas, se tendría un resultado similar de deformación, por lo que no impediría su ensamble, tomando en cuenta esto, se enfocará el diseño a reducir los rechupes.

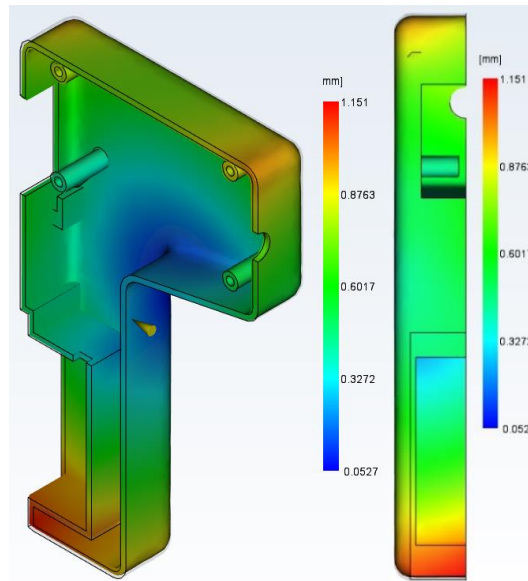


Figura 22. a) Pandeo vista esquinada b) Pandeo vista lateral.

3.5.2 Segunda iteración

De acuerdo a la versión anterior, los postes son geometrías que generaron rechupes en la pieza, sin embargo, al ser los sujetadores de la pieza más importante y de mayor tamaño en el diseño, fue necesario considerar si son la mejor opción para realizar esta labor. Así, se tomó la decisión de reemplazarlos por dos pestañas en la parte media de la carcasa, con el objetivo de colocar de forma vertical la PCB y mantenerlos unidos ambos componentes de la carcasa, sin necesidad de utilizar tornillos, mejorando la sujeción de la PCB.

Manteniendo el módulo LCD display en una posición fija y con visibilidad adecuada, con la finalidad de que el usuario pueda observar las mediciones que realice con el termómetro, también, se propuso usar una pestaña (Figura 23.b) que la mantuviera en su lugar, de esta forma, se eliminaría las pestañas anteriores que la sujetaban, con lo que se reduciría las marcas de hundimiento generadas a causa de la diferencia volumétrica, ya que la carcasa tiene un espesor de 2 mm y los postes tienen una altura de 16 mm con un espesor de 1.5 mm, a su vez, se disminuiría la complejidad del modelo, sin embargo, aumentaría la profundidad de cada componente de 20 mm a 23 mm (Figura 23.c).

La posición de la pila se cambió de ubicación con el objetivo de liberar espacio para las pestañas donde se sujetará la PCB, así mismo, para disminuir el volumen de la pieza y se

propuso eliminar las paredes que rodean la pila, y sustituirlas con pequeñas pestañas que la mantuvieran en su posición de la pila, también realizando un orificio en estas, que tienen como fin, evitar futuras marcas de hundimiento y logrando un ahorro en el uso de materia prima.

Con base a lo mencionado anteriormente, ahora se tiene los siguientes elementos principales contemplando las modificaciones realizadas.

Modificación de los elementos principales:

1. Cavity donde se colocará la pila.
2. Pestaña sujetadora de display.
3. Pestañas sujetadoras de PCB.
4. Pestañas sujetadoras de la pila.

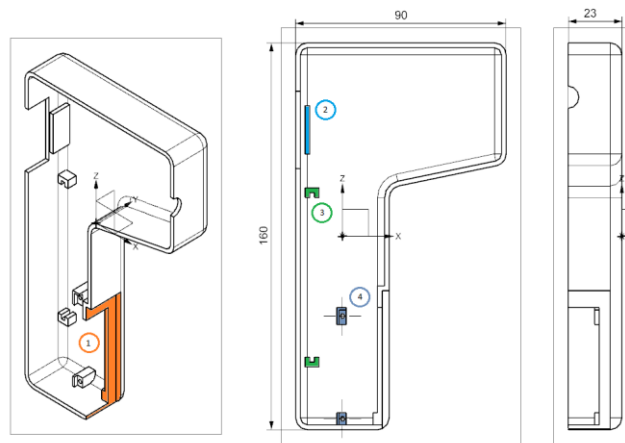


Figura 23. a) Cambio 1 b) Cambio 2, 3 y 4. c) Cambio de profundidad.

Durante el análisis de moldeabilidad se observó una discontinuidad en la línea de partición, precisamente en el área de la cavidad de la pila marcado en rojo en la figura 24, de tal forma que esto aumentaría la complejidad durante la manufactura de las placas de cavidad y de corazón.

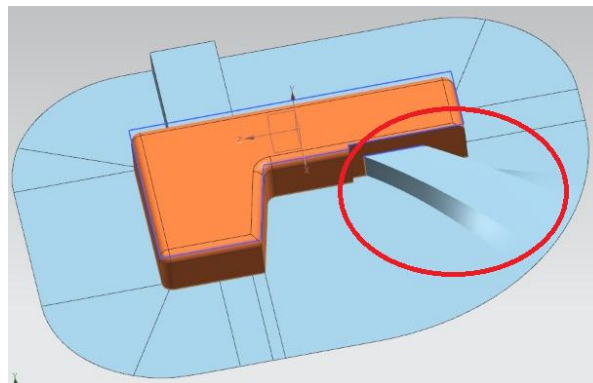


Figura 24. Análisis de moldeabilidad en la línea de partición.

Es importante considerar que, en este momento, aún no se conoce la posición final del botón de encendido, por lo que la posición de este aún no se toma en cuenta en el diseño de la carcasa.

Al realizar un análisis de estimación de rechupes de la pieza, se puede observar que estos redujeron respecto a su versión anterior, ahora se tiene una estimación de aproximadamente 0.07 mm, sin embargo, se observó en la esquina inferior izquierda una estimación mayor de hasta 0.27 mm como se muestra en la figura 25.b.

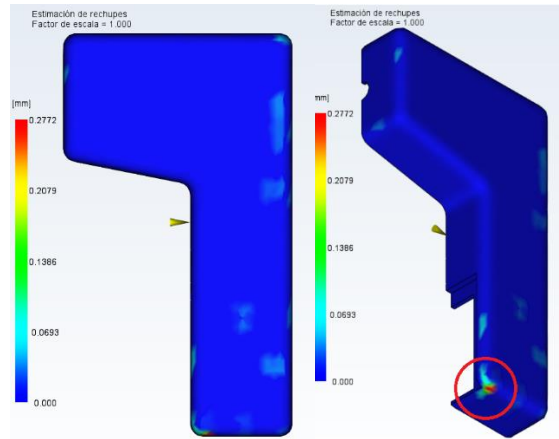


Figura 25. a) Vista general de rechupes. b) Vista de la esquina inferior izquierda.

3.5.3 Tercer iteración

De acuerdo a lo observado en la versión anterior, se tiene una discontinuidad en la línea de partición como resultado del análisis de moldeabilidad, esto aumentaría la complejidad durante la manufactura las placas de cavidades y corazones, así mismo se podría tener un resultado similar cuando se integre la posición del botón, ya que en este momento no se contaba con la información completa.

Por lo que se realizó una modificación el orificio donde se introduce la pila, el cual fue posicionado en la parte inferior de la carcasa, de esta forma se podría tener una mejora en el uso de materia prima, además de disminuir la complejidad en la manufactura de las placas.

Para esta versión se colocó la geometría del botón con dimensiones tentativas con la idea de analizar el diseño preliminar.

Modificación de los elementos principales:

1. Cavidad del botón.
2. Orificio de la pila

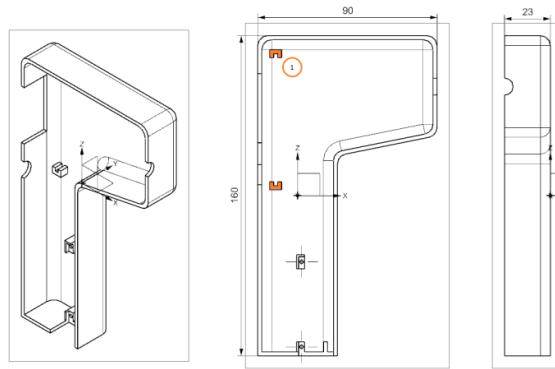


Figura 26. a) Isométrico del componente b) Cambio 1 c) Profundidad del componente.

Se puede apreciar en la figura 27 la nueva línea de partición, donde la cavidad de la pila, ya no presenta una discontinuidad en el perfil, lo que implica que la modificación realizada cumple con su finalidad, así mismo, se observa que la cavidad del botón no genera discontinuidad en la línea de partición.

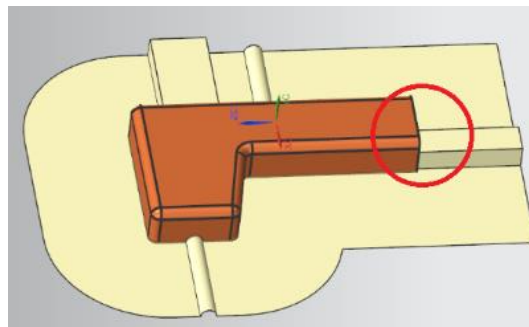


Figura 27. Análisis de moldeabilidad en la línea de partición.

Como se observa en la figura 27, la estimación de rechupes aumento con respecto a la versión anterior en aproximadamente 0.1 mm, y se eliminó el rechupe que se encontraba en la parte inferior izquierda, pero se generó otro en la esquina superior derecha (Figura 28.a) con una estimación de 0.25 mm.

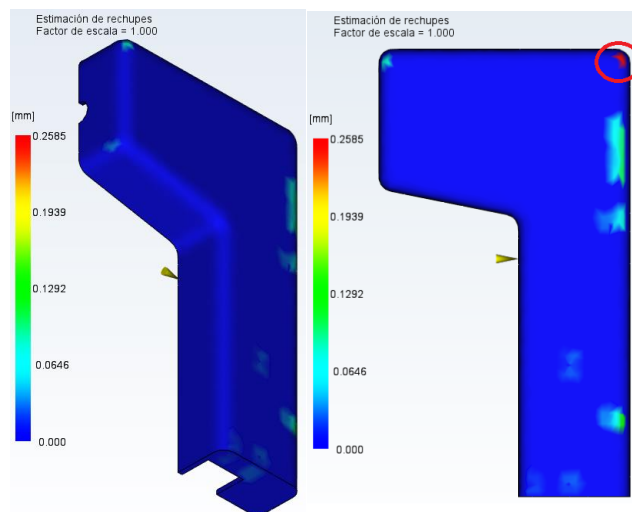


Figura 28. a) Vista esquinada inferior izquierda b) Vista frontal de los rechupes.

3.5.4 Cuarta iteración

Para esta versión, el diseñador proporcionó una pieza completa de la PCB física (Figura 29) con la que fue posible medir y conocer las posiciones de los componentes electrónicos.



Figura 29. Diseño de PCB final

Se había considerado que los elementos de la PCB se podían cambiar de posición, para así colocarlos de una manera más adecuada dentro de la carcasa, sin embargo, debido a que los componentes de la PCB se encuentran soldados, implicaría un retrabajo a la PCB, por otro lado, el diseñador de la PCB mencionó que podrían dañarse al intentar moverlos y resoldarlos, a excepción del sensor y el botón, ya que estos tienen sólo cuatro puntos de soldadura y de ser necesario, sería factible moverlos.

Dado lo anterior y considerando la cercanía del botón con el módulo LCD display, se consideró no desoldarlo y retrabajar únicamente el sensor infrarrojo. Por esta razón fue necesario modificar el diseño de la carcasa para adaptarla a las nuevas condiciones.

Debido a que el módulo LCD display está soldado a la PCB formando un sólo elemento, es conveniente eliminar la pestaña que sujeta al módulo LCD display, dado lo anterior sólo se requerirán de dos pestañas para sujetar la PCB las cuales se posicionan hacia la parte superior de la pieza (Figura 30.b).

Modificación de los elementos principales:

1. Pestaña sujetadora de PCB y Display.

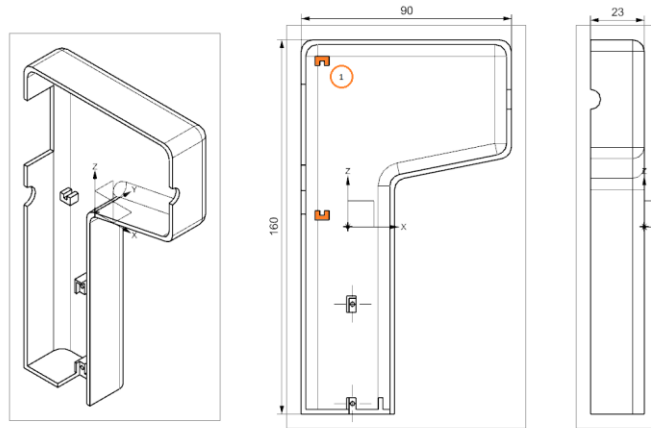


Figura 30. a) Isométrico de la pieza. b) Cambio 1 c) Profundidad de la pieza.

Es favorable lograr obtener el mayor número de piezas posibles por cada inyección, disminuyendo el tiempo de producción, sin embargo, dadas las condiciones de salud que se tienen en este momento, y los tiempos de entrega, no era factible contar con un portamoldes nuevo.

Se tomó la decisión de adaptar un portamoldes, el cual no era el adecuado para la realización de este proyecto, dicho portamoldes ha sido utilizado en múltiples ocasiones por lo que no se encuentra en condiciones de uso, con la desventaja de tener un tamaño reducido para la fabricación de la carcasa en sus dimensiones actuales.

Considerando que el portamolde con el que se cuenta, tiene medidas de 115.5 mm de ancho y 221 mm de alto como se muestra en la figura 31, no sería posible obtener una carcasa completa en una sola inyección, contemplando las dimensiones actuales de la carcasa, principalmente su ancho de 90 mm como se muestra en la figura 30.b.

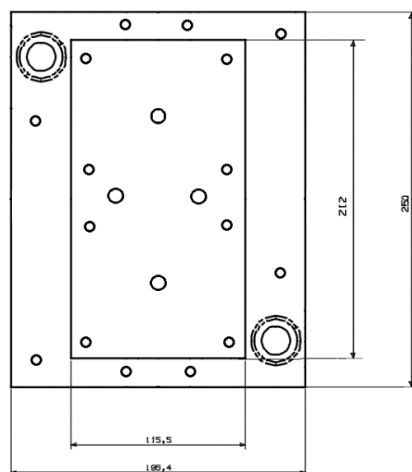


Figura 31. Dimensiones de la placa B del portamolde.

El ancho de la carcasa se podría disminuir ya que hay un espacio que no está siendo aprovechado, lo que ayudará a que los dos componentes de la carcasa del termómetro se ajusten dentro del espacio del portamoldes, además de disminuir el volumen y por lo tanto la cantidad de materia prima.

La estimación de rechupes se mantiene en un valor aproximado de 0.65 mm, muy similar a su versión anterior, y con la diferencia que existen menos áreas que exceden esta estimación, observándose una variación en la esquina superior derecha, que llega hasta un valor aproximado de 0.26 mm como se muestra en la figura 32.b.

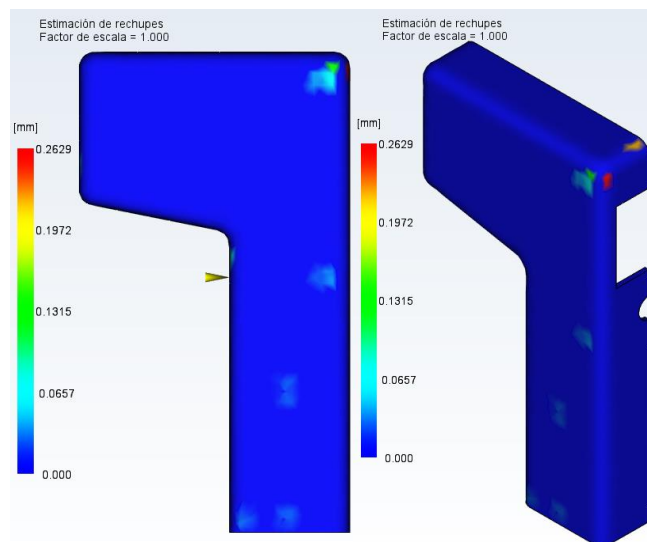


Figura 32. a) Vista frontal de rechupes b) Vista esquinada superior derecha.

3.5.5 Quinta iteración

En consideración con respecto a las medidas del portamoldes, no sería posible obtener una carcasa completa en una sola inyección, por lo que fue necesario modificar las dimensiones de la carcasa para colocarlo en las cavidades del portamolde.

Es en esta versión, se realizó la modificación más notable, debido a que cambian las medidas preliminares de la carcasa, esta modificación tuvo como finalidad ahorrar material y que fuera posible inyectar la carcasa completa en una sola inyección.

Desde un punto de vista de producción, el poder obtener una carcasa completa en una sola inyección permitirá un ahorro durante el tiempo de producción, además de un ahorro de materia prima de aproximadamente el 23% haciéndolo económicamente más viable.

También se ajustaron los filetes de la pieza a las nuevas dimensiones, esto tuvo una finalidad estética y una mejora en la ergonomía de la carcasa (Figura 33.a).

Modificación de los elementos principales:

1. Modificación de los filetes.
2. Ancho de la pieza.
3. Profundidad de la pieza

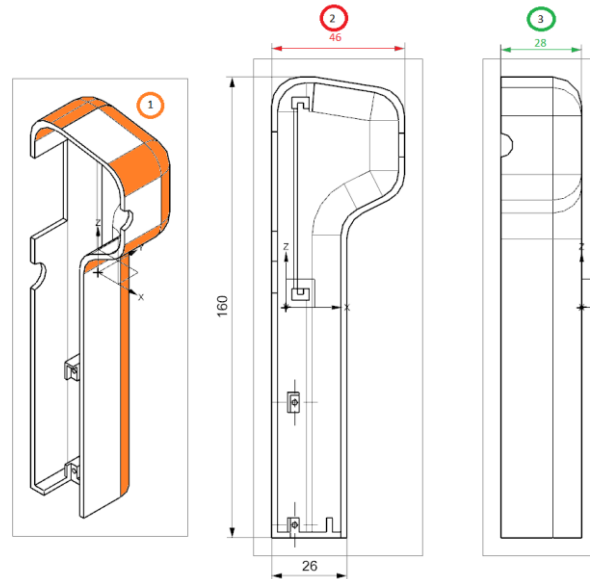


Figura 33. a) Cambio 1 b) Cambio 2 c) Profundidad del componente.

Una vez realizado los cambios propuestos y con la idea de verificar la funcionalidad del diseño se decidió realizar la manufactura aditiva del prototipo, se utilizó ABS para este fin ya que se contaba con dicho material y dada las circunstancias no era posible adquirir otro material, además de que sus características (ver Tabla 8) se ajustaban a lo que se requería.

Tabla 8. Características del ABS.

Cualidad	ABS
Densidad	1.05 g/cm ³
Resistencia a tracción (MPa)	30.46 - 45
Módulo de tracción (MPa)	2300
Resistencia a la flexión (MPa)	46.3
Contracción	0.4 - 0.7%
Temperatura de reblandecimiento	100°C
Temperatura de Fusión	200°C

Fueron fabricados ambos componentes del prototipo de la carcasa como se muestra en la figura 34.a, se verificó que los componentes ensamblan entre sí (Figura 34.b), corroborando que no existan errores en el diseño, así mismo se montó la PCB en el prototipo de la carcasa, con la finalidad de comprobar que las dimensiones de las pestañas y profundidad de la carcasa fueran las requeridas

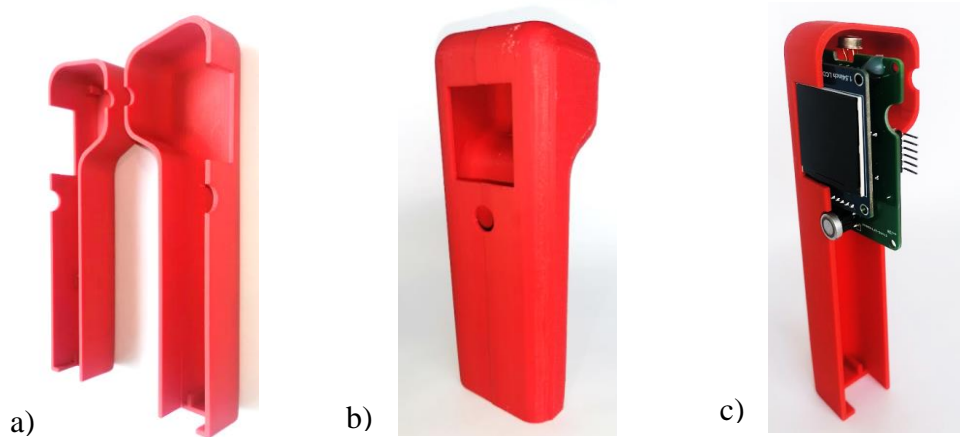


Figura 34. a) Componente izq. y der. de la carcasa b) Carcasa cerrada c) Componente izq. con PCB

En versiones anteriores se propuso remover material en el centro de las pestañas que sostienen la pila, esto con la finalidad de ahorrar material y reducir las marcas de hundimiento ocasionados por las pestañas, estas marcas tienen una medida aproximada de 0.03 mm.

Se tiene como excepción una de las pestañas inferiores que sostienen la pila, marcada en un círculo rojo en la figura 35, la cual llega a generar una marca de 0.083 mm de acuerdo al análisis de moldeabilidad.

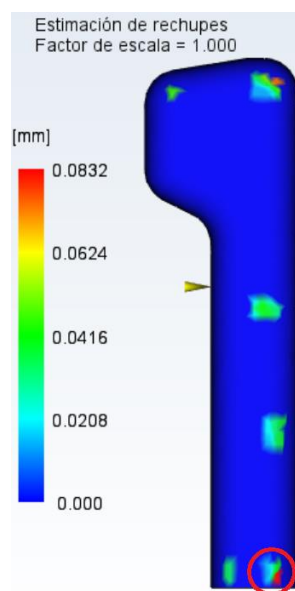


Figura 35. Estimación de rechupes para la versión 5.

Con la remoción de material en el centro de las pestañas, se logra una reducción aproximada de 98.34 mm³ de materia prima, sin embargo, este ahorro es mínimo comparado con la complejidad que genera en la manufactura de las placas de cavidades y corazones, es decir, el mantener estos orificios implicaría el uso de insertos, por lo que no es recomendable conservar esta modificación.

3.5.6 Sexta iteración

De acuerdo con lo mencionado en la Tabla 6, en cuanto a ergonomía, el diseño de la carcasa propuesto cumple con todos los requerimientos y especificaciones, ya que cuenta con un diámetro de empuñadura dentro de los parámetros establecidos.

Por otro lado, en la parte inferior del módulo LCD display se encuentran puntos de soldadura que la unen a la PCB e impiden el correcto ensamble en ambos componentes de la carcasa, por lo que se realizó un escalón justo en esta sección para que los puntos de soldadura no toquen la carcasa y permitan el correcto ensamble.

En esta versión, se diseñó una tapa que cubre la cavidad por donde se introduce la pila, con lo que será posible remover la pila, esta se atornillaría en la parte inferior de la carcasa y además sería utilizada como base para mantenerla fija en una posición vertical, debido a su geometría plana.

Modificación de los elementos principales:

1. Pestañas sujetadoras de pila.
2. Escalón para el LCD display.

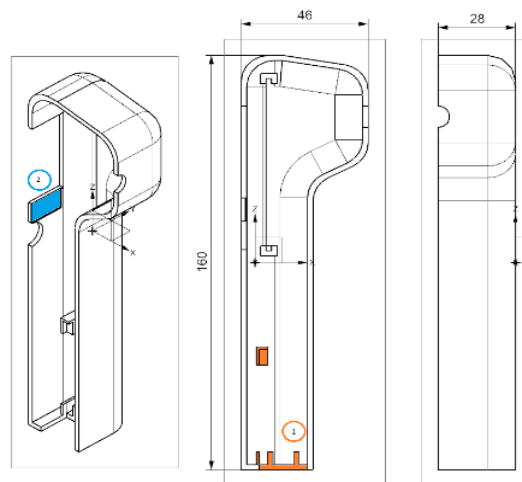


Figura 36. a) Cambio 1 b) Cambio 2 c) Profundidad del componente.

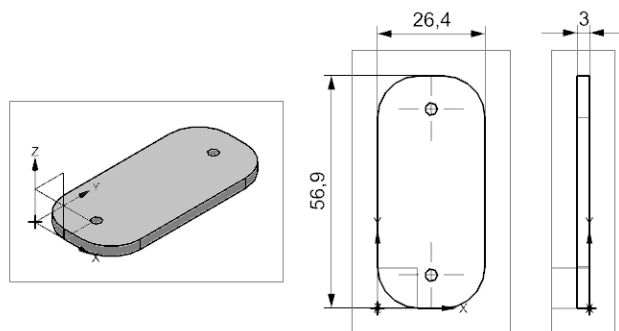


Figura 37. Tapa de la carcasa.

Contando con el diseño de la tapa, se requirió probar el concepto de diseño, por lo que se optó fabricarlo por manufactura aditiva. Con lo que se obtuvo un prototipo que valida los conceptos de diseño, considerando que se ensambló y verificó las dimensiones.



Figura 38. Modelo fabricado de la carcasa.

Una vez comprobadas y verificadas las dimensiones y características deseadas de la carcasa, se optó por trabajar en un sistema de sujeción para que ambos componentes de la carcasa queden ensamblados.

Se decidió eliminar los orificios en las pestañas de la pila debido a que los beneficios se consideran mínimos y se contempló como objetivo tener menos complejidad en las placas de cavidades y corazones, como se observa en la figura 39, la pieza presenta rechupes entre 0.017 a 0.035 mm, a excepción de la pestaña superior donde se generan rechupes de hasta 0.0717 mm. Por otra parte, se mantiene una profundidad media de rechupe de 3 mm por lo que estos cambios se consideraron factibles y adecuados.

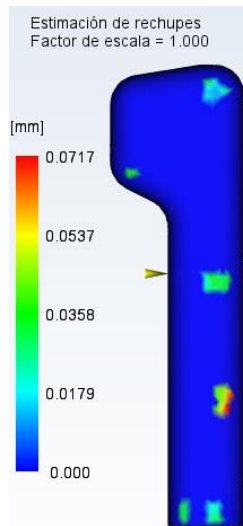


Figura 39. Estimación de rechupes para la versión 6.

3.5.7 Séptima iteración

De acuerdo con el análisis de moldeabilidad se observó que se tiene una estimación de rechupes aceptable en la mayor del componente, asimismo se corroboró el correcto ajuste a cada una de los componentes que ensamblan la carcasa por lo que ahora se ve la necesidad de encontrar un método para que las partes sean capaces de mantenerse unidas entre ellas.

Se diseñaron pestañas de sujeción en el perfil superior de cada uno de los componentes, y tendrán como objetivo mantenerlas ensambladas, esto generará que los componentes dejen de ser simétricos por lo que se trabajó en dos versiones de carcasa con pestañas, un componente izquierdo (Figura 40) y uno derecho (Figura 41), dichas pestañas se pueden observar en color naranja.

Modificación de los elementos principales del componente izquierdo:

1. Pestañas de sujeción

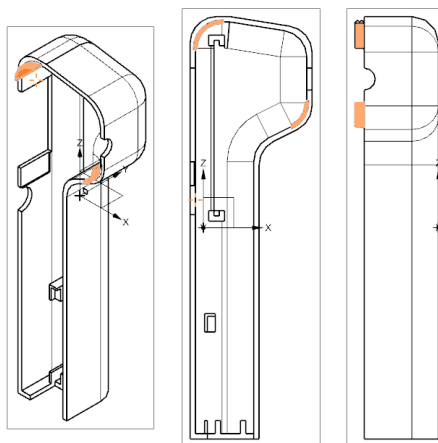


Figura 40. Componente izquierdo con pestañas de sujeción.

Modificación de los elementos principales del componente derecho:

1. Pestañas de sujeción

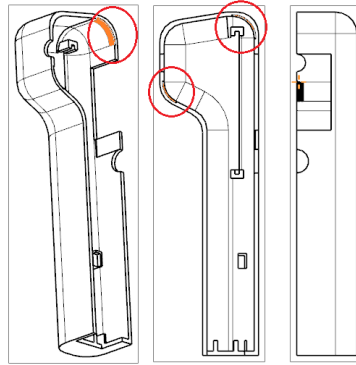


Figura 41. Componente derecho con pestañas de sujeción.

Teniendo ambos componentes con sus respectivas pestañas, se requirió probar el concepto de diseño por lo que se realizó un prototipo rápido (Figura 42) para validar el funcionamiento del ensamble.

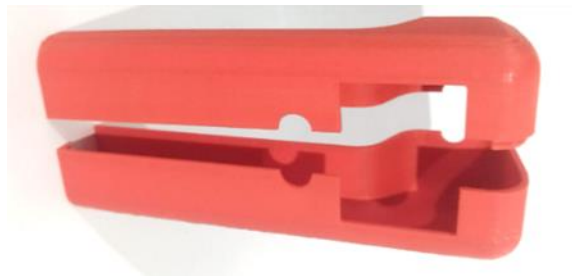


Figura 42. Modelo fabricado de la carcasa con pestañas.

Una vez comprobado que las pestañas cumplen su objetivo de mantener ensamblada la carcasa, se procedió a realizar diferentes análisis de moldeabilidad.

De acuerdo con los análisis obtenidos de MoldFlow se puede observar que los componentes pueden ser llenados en menos de dos segundos cada uno (Figura 43), lo que indica un tiempo de llenado aceptable, el componente izquierdo tiene un tiempo de llenado 0.75% superior al del componente derecho, esto se debe a que su volumen y peso es mayor.

Debido a que el diseño de las placas se debía adaptar al portamoldes con el que se contaba en la Facultad de Ingeniería de la UNAM en ese momento, este ya tenía una posición fija del sistema de alimentación del material, por lo que los puntos de inyección seleccionados que se muestra en la figura 43, no fueron los más óptimos para el diseño de estas piezas, ya que se origina un flujo desbalanceado del material, sin embargo se optó por esta posición porque fue con la que se obtuvieron mejores resultados en cuanto al llenado de las piezas.

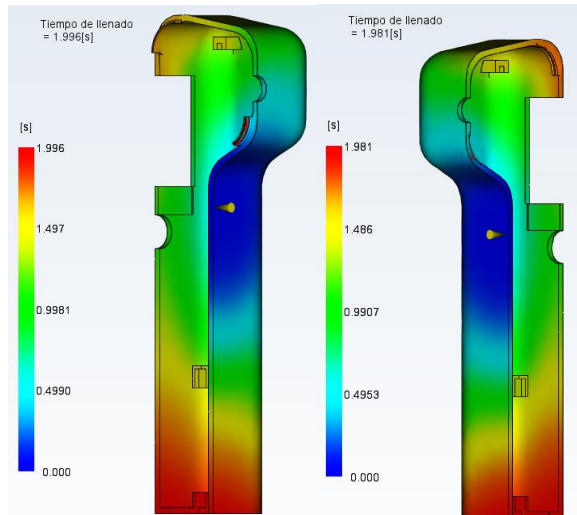


Figura 43. a) Tiempo de llenado del componente izquierdo b) Tiempo de llenado del componente derecho.

En los análisis de confianza de llenado, se puede observar que los componentes pueden ser llenados con una confianza alta del 99.9%, en el componente izquierdo se presenta una zona de baja confianza cercana a la pestaña de sujeción inferior y una zona pequeña en la pestaña inferior del componente derecho, cuya confianza de llenado de ambas es baja 0.1%, como se muestra en la figura 44. Dado el porcentaje de 0.01%, se presenta la posibilidad de mejorar la confianza de llenado, ya que al momento de realizar la inyección se aumentaría la presión de mantenimiento.

Con este análisis se puede deducir que si es factible inyectar en su totalidad la carcasa.

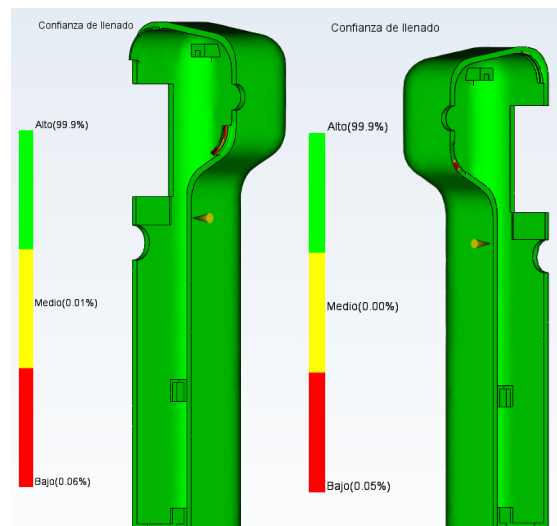


Figura 44. a) Confianza de llenado componente izquierdo b) Confianza de llenado componente derecho.

De acuerdo con la varianza de temperatura, se puede observar en la figura 45 que el rango de temperaturas entre ambos componentes es aproximado, teniendo una variación de 1.04%, lo que indica que el tiempo de solidificación de los componentes es el mismo.

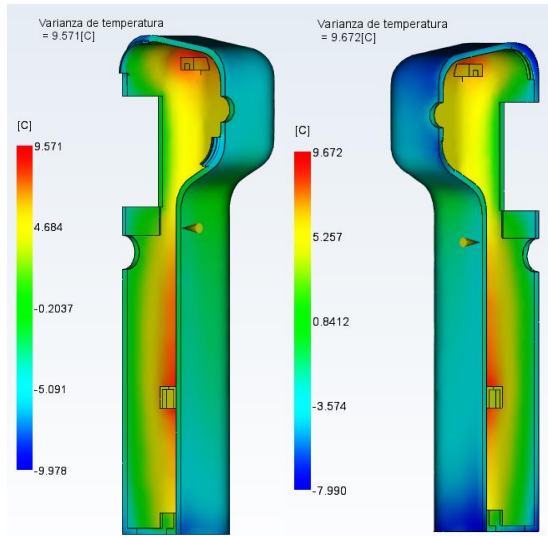


Figura 45. a) Varianza de temperatura componente izquierdo b) Varianza temperatura componente derecho.

El tiempo aproximado en que gran parte de los componentes se solidifica es alrededor de 3.5 segundos (Figura 46), de acuerdo a los rangos de tiempo, se observa que se tiene una variación entre los tiempos de enfriamiento es de 1.01%, siendo el componente derecho el que se enfriará primero, así, al ser una variación muy pequeña se puede corroborar que los componentes solidifican al mismo tiempo.

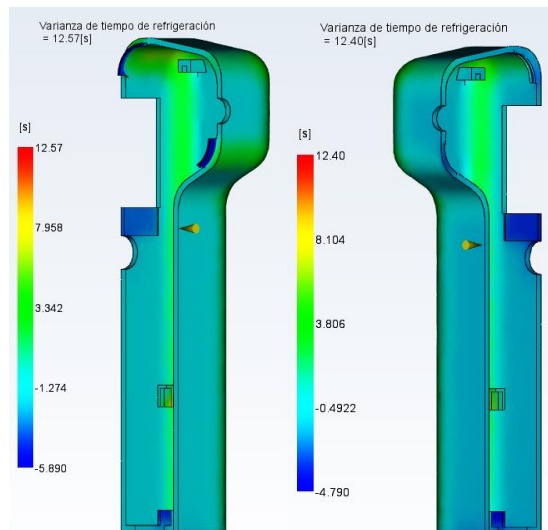


Figura 46. a) Tiempo de solidificación del componente izquierdo b) Tiempo de solidificación del componente derecho.

Se observa que la deformación en los componentes es muy similar, variando en su máximo por 0.066 mm (Figura 47), la deformación se presenta principalmente en la parte superior e inferior, no presenta un alabeo que pudiera impedir su ensamble.

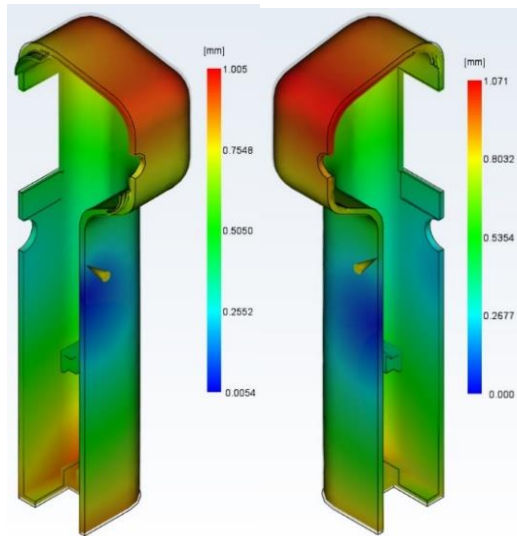


Figura 47. a) Deformación del componente izquierdo b) Deformación del componente derecho.

Con los resultados obtenidos se determinó que, el diseño de la carcasa se ha concluido, obteniendo un componente izquierdo de la carcasa con un volumen de 30.275 cm³ y una masa de 36.33 gramos y 29.291 cm³ con 35.905 gramos para el componente derecho.

CAPÍTULO 4. PROCESO DE DISEÑO DE LAS PLACAS DE CAVIDADES Y CORAZONES

4.1 Introducción

Considerando que se ha concluido con el diseño de carcasa, se procedió a realizar el diseño de las placas de cavidades y corazones de la pieza de plástico, dado que la carcasa del termómetro consta de tres componentes, se realizó el proceso para el componente derecho, componente izquierdo y la tapa de manera individual.

El proceso de diseño de las placas de cavidades y corazones es muy importante ya que estas definen la forma del producto final que se obtendrá una vez realizado el proceso de inyección.

Durante este proceso se analizó la geométrica de cada uno de los componentes de la carcasa, y se valorara si es necesario el uso de insertos para lograrla correctamente.

Se verifico con ayuda del software NX si existía alguna discontinuidad en las líneas de partición para asegurar que sea posible generar placas de cavidades y corazones de forma adecuada, así mismo se debe considerar el factor de contracción del material.

4.2 Placa del componente izquierdo de la carcasa

Se inició el diseño para la placa del componente izquierdo, dado que tiene las pestañas de sujeción, se consideró la más complicada en su momento (Figura 48).

La primera actividad consistió en determinar la línea de partición, ya que se tenía el modelo 3D del componente, se decidió utilizar el módulo de diseño de moldes incluido en el programa NX 10. Con lo que se definieron las regiones, superficies y finalmente se generaron las placas de cavidad y de corazón.

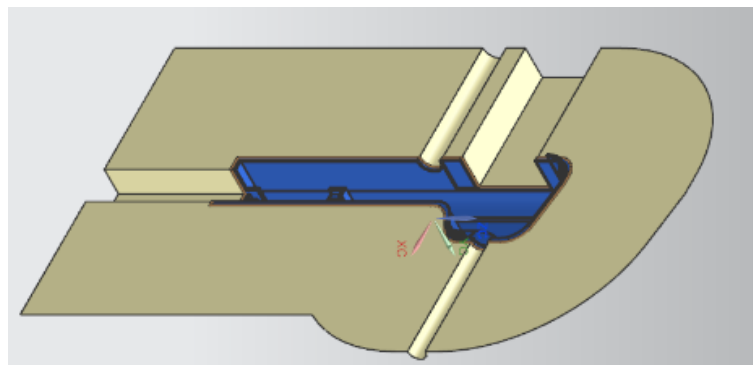


Figura 48. a) Línea de partición para el componente izquierdo.

Se observa que la línea de partición no presenta ninguna discontinuidad, con lo que se aseguró que es posible obtener las placas de cavidad y de corazón, las cuales consideran en sus dimensiones el factor de contracción del material a inyectar, es decir, estas placas son de mayor tamaño que la pieza que se obtendrá después de la inyección (Figura 49).

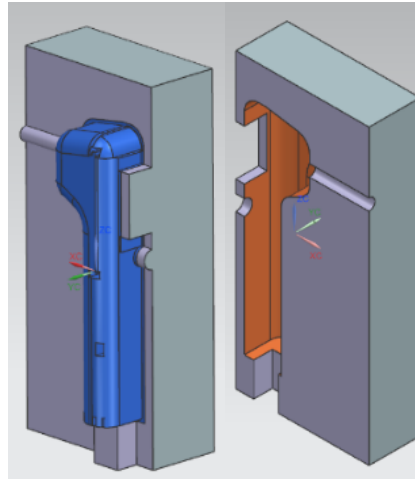


Figura 49. a) Placa de corazón del componente izquierdo b) Placa de cavidad del componente izquierdo.

4.3 Placa del componente derecho de la carcasa

Para el componente derecho se realizó el mismo proceso, primero se estableció la línea de partición con la finalidad de no encontrar ninguna discontinuidad.

Para lograr la geometría de los orificios del sensor infrarrojo, el display, el botón y el orificio por donde será introducida la pila, se requeriría el uso de insertos para evitar que el material plástico llene las cavidades por completo. Como se muestra en la figura 50.

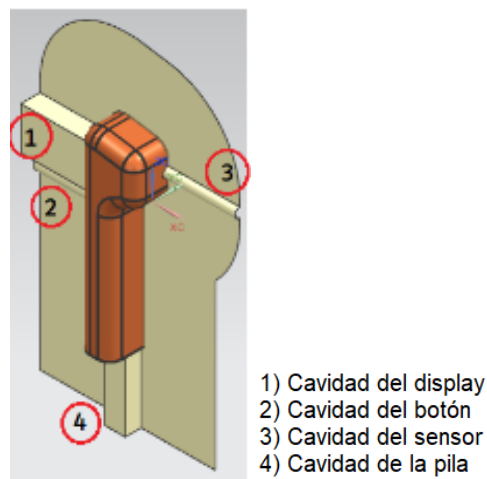


Figura 50. Representación de la ubicación de los insertos necesarios.

Usualmente los insertos son fabricados de manera independientes para posteriormente ensamblarlos en el molde, sin embargo, esto llega a generar algunos

problemas ya que, si no se tiene un ajuste, el material podría fluir en los espacios entre el molde y los insertos, dejando así rechupes en la pieza.

El llevar a cabo el proceso de fabricación de los insertos requería más tiempo y material, ya que serían manufacturados en acero por medio de una máquina CNC, dado esto y observando que la geometría en los insertos no era tan complicada, se decidió que formarían parte de las placas que se van a fabricar por medio de manufactura aditiva, facilitando así su manufactura.

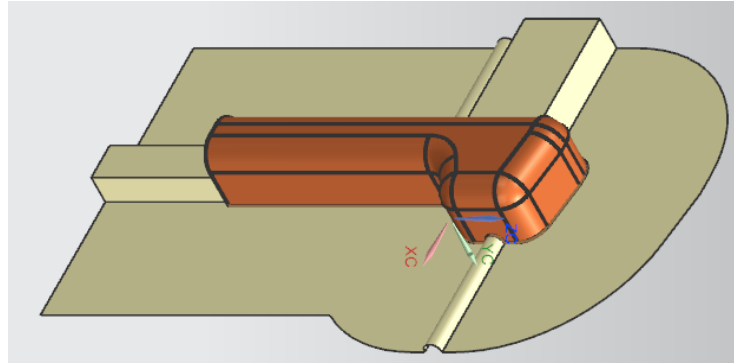


Figura 51. a) Línea de partición del componente derecho.

Como se esperaba, no se encontró ninguna discontinuidad en la línea de partición por lo que se procedió a la realización de la cavidad y corazón del componente derecho (Figura 52).

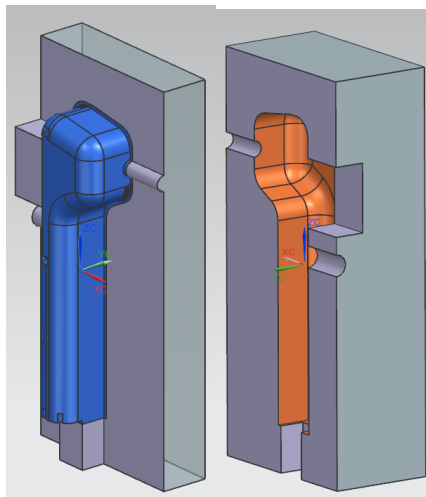


Figura 52. a) Placa de corazón del componente derecho b) Placa de cavidad del componente derecho.

4.4 Placa para el componente tapa de la carcasa

Para la tapa se generó la línea de partición, sin embargo, fue necesario indicar que los orificios se formarán a partir de insertos para evitar errores al momento de generar las placas de cavidades y corazones de la tapa (Figura 53).

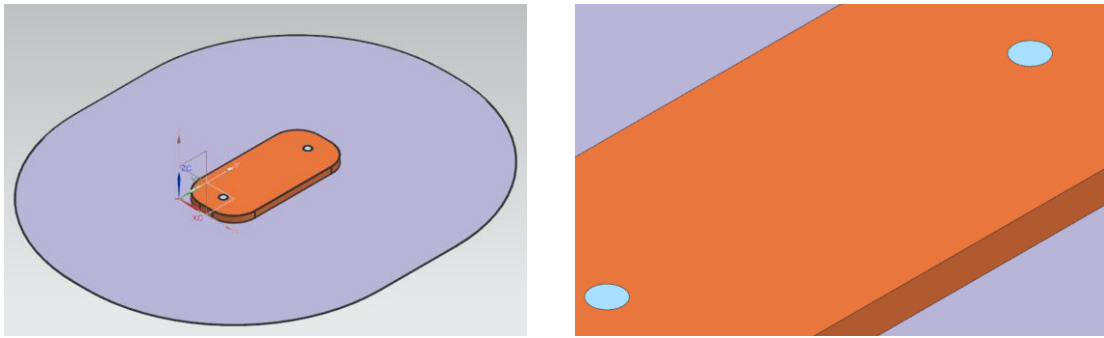


Figura 53. a) Línea de partición de la tapa b) Orificios parchados de la tapa.

No se encontró ninguna discontinuidad por lo que fue posible generar la cavidad y el corazón (Figura 54).

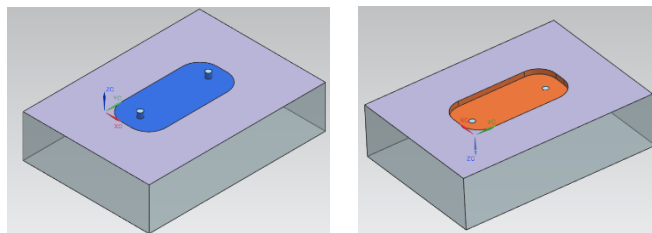


Figura 54. a) Placa de corazón de la tapa b) Placa de cavidad de la tapa.

Una vez obtenidos los diseños de las placas de cada una de los componentes que conforman la carcasa, se requería realizar la manufactura de cada uno de ellos, lo cual implicaba mayor tiempo de proceso. Con la finalidad de solventar este inconveniente se propuso realizar los tres componentes de la carcasa en un solo molde, dando la posibilidad de realizar la pieza en una sola inyección.

Para poner unir las placas, se consideraron las dimensiones del portamoldes que se tiene disponible en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, lo que redujo el área de trabajo, la posición del sistema de sujeción y la del sistema de alimentación. En la figura 55 se puede observar la configuración final de la carcasa.

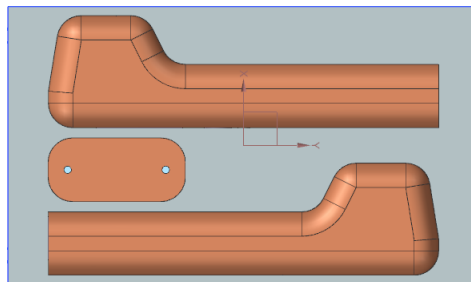


Figura 55. Posicionamiento de los componentes en el área de las placas.

Para corroborar que este arreglo es conveniente, se decidió realizar un análisis de moldeabilidad en MoldFlow Adviser, teniendo como objetivo principal el asegurar el llenado, balanceo y predicción de defectos de las placas. Las condiciones con las que se realizó dicho análisis son las siguientes:

Tabla 9. Condiciones de procesamiento del análisis

Parámetro	Valor
Temperatura de masa fundida	220 °C
Presión máxima de inyección	180 MPa
Material	PP
Grado del análisis	Estándar
Tiempo de inyección	2.1 s
Temperatura del molde	50 °C
Material del molde	Acero al carbono

Como se muestra en la figura 56, la confianza de llenado es del 100% y se llenará en 2.095 segundos. En la figura 56.b, se puede observar que las placas no están balanceadas, debido a que las piezas a inyectar son de diferente masa y su posición no es del todo la más óptima, esto generó que los canales de alimentación no tengan la longitud requerida ya a que las posiciones de los componentes se debían que acoplar a las dimensiones del portamoldes que se tenía a disposición, ya que este contaba con la posición de los pernos botadores y del bebedero fijas, por lo no podían ser modificadas.

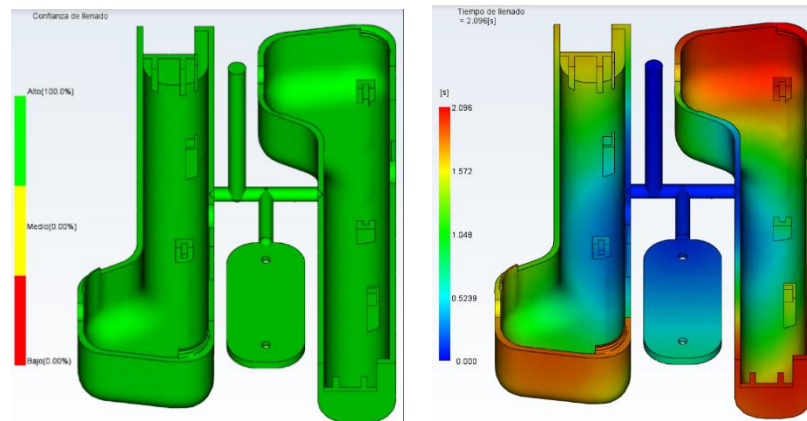


Figura 56. a) Confianza de llenado

b) Tiempo de llenado.

De acuerdo al arreglo realizado y observando que el diseño de las placas cumple el objetivo de llenar las piezas, se inició el diseño el sistema de alimentación y también se realizó el sistema de sujeción, se puede observar en la figura 57 el diseño ya unificado.

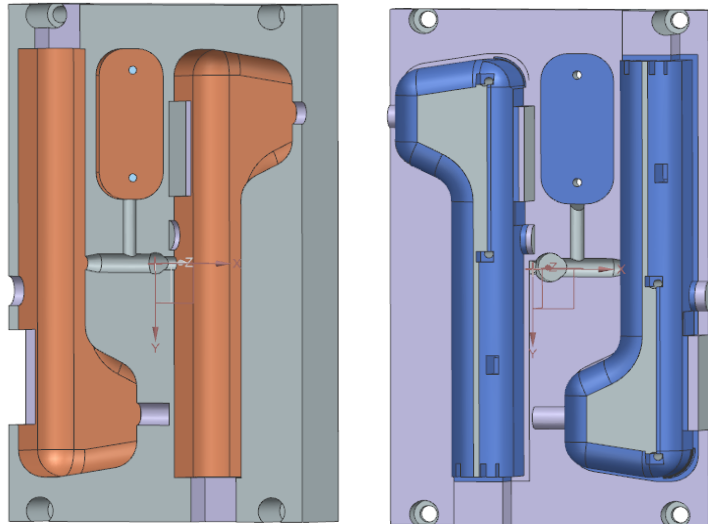


Figura 57. a) Placa de cavidad unificado b) Placa de corazón unificado.

El diseño de las placas cumple con las medidas, sus canales de alimentación se establecieron en la medida correcta de acuerdo al balanceo que se realizó durante el análisis. Dado que las placas se desean realizar en polímero, era necesario verificar que el plástico sea capaz de soportar las temperaturas de inyección, por lo que se decidió realizar una prueba con una inyectora manual con las que se cuenta en la Facultad de Ingeniería (Figura 58).



Figura 58. Inyectora manual.

En el experimento se utilizó PP como material a inyectar a una temperatura de 220°C sobre un modelo fabricado en HIPS, se vertió el plástico derretido sobre la pieza (Figura

59.a) realizada por medio de manufactura aditiva, se esperó que el material se solidificará y posteriormente se removió, observándose que la pieza se deformaba (Figura 59.b).

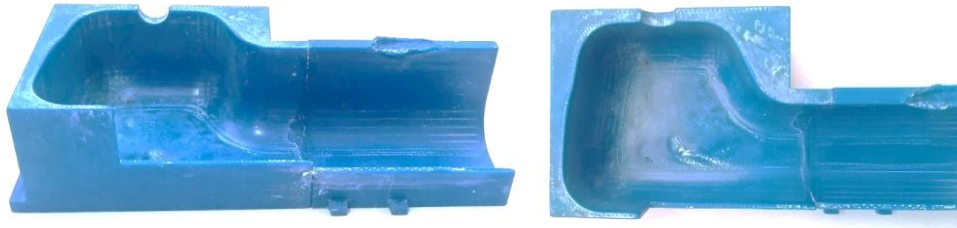


Figura 59. a) Pieza de HIPS con manufactura aditiva b) Reblandecimiento de la pieza.

El experimento tuvo resultados favorables, el material al ser fundido sobre la pieza y solidificarse logra desprenderse sin necesidad de esfuerzo, así mismo el HIPS fue capaz de soportar la temperatura del material vertido sin derretirse, sin embargo, al momento de realizarlo se genera una masa demasiado grande, comparada con las dimensiones esperadas de la carcasa, por lo que, como se esperaba, el modelo fabricado se reblandeció al estar en contacto por mucho tiempo con el PP.

Una vez observada la problemática, se pensó que esto podría llegar a suceder en el sistema de alimentación, ya que al ser polímeros podría correr el riesgo de que el material inyectado se adhiriera a las paredes del bebedero y lo obstruyera.

Para evitar una obstrucción, se decidió realizar la fabricación de una pieza cilíndrica de acero (Figura 60), fue realizada por medio de un torno y se le dio un procesamiento de pulido al interior para que tenga un mejor acabado para que facilite el flujo del material.



Figura 60. Pieza de acero para recubrir las paredes del bebedero.

Una de las ventajas de realizar esta pieza de acero, además de eliminar el riesgo de que se adhieran los materiales y se obstruya, es que facilitará el remover la mazarota que se genera al solidificarse el material y con esto poder continuar haciendo pruebas de inyección.

CAPÍTULO 5. PROCESO DE MANUFACTURA DEL MOLDE PARA INYECCIÓN DE PLÁSTICO

5.1 Introducción

La fabricación de un termómetro infrarrojo, en condiciones anteriores a la pandemia del COVID-19, requería de un aproximado de 34 horas en una máquina CNC, lo que equivale a poco más de 4 días de fabricación con una jornada laboral de 8 horas, sin embargo, debido al corto plazo de tiempo con el que se contaba para la fabricación de las placas de cavidades y corazones que componen el molde y la disponibilidad de ingresar a las instalaciones de la facultad, se decidió buscar un proceso alternativo.

Dado lo anterior, se propuso fabricar las placas de cavidades y corazones para un molde de inyección de plásticos por medio de manufactura aditiva, ya que se considera un medio de fabricación mucho más rápido y con más libertad geométrica que los métodos de manufactura convencionales. Cabe mencionar que la velocidad con la que se fabrica una pieza depende también de la capacidad del equipo de fabricación aditiva que se utilice, en este caso y por disponibilidad, fue un equipo de fabricación aditiva convencional Zortrax M200, por lo que se espera un tiempo de fabricación más largo comparado con una máquina CNC de grado industrial.

Cuando se realiza manufactura aditiva, la máquina se puede dejar trabajando por días completos sin descanso, esa fue una de las razones por las que se pensó que el tiempo de fabricación de las placas sería más corto y mucho más rápido, ya que no requiere de alguien que esté supervisando todo el tiempo que dura el proceso de fabricación aditiva.

Otra de las razones por las que optó por realizar las placas por este medio, fue que se contaba con un equipo, que tiene las capacidades y características necesarias para realizar esta tarea, la resolución de capa que se buscaba obtener era menor a 0.2 mm y el relleno de 90%.

El equipo de fabricación aditiva debía ser capaz de fabricar con un material que se funda a una temperatura mayor que el PP, la temperatura máxima a la que puede trabajar el extrusor es de 290°C, por lo que también cubre esta necesidad.

5.2 Manufactura aditiva herramienta

Como primer paso para realizar la manufactura, fue necesario generar los archivos en formato STL a partir de los modelos 3D las placas de cavidades y corazones, y así poderlos llevar a un software propietario con el que se generan los parámetros de fabricación, como lo son: temperatura del extrusor, temperatura de la cama caliente, el patrón de relleno, el material, etc.

Se seleccionó como máquina de fabricación aditiva una Zortrax M200 (Figura 61) dada su disponibilidad y sus especificaciones técnicas (Tabla 9) como: permitir un rango de uso de materiales, alta resolución de capa, volumen de trabajo y disponibilidad.



Figura 61. Equipo Zortrax M200

Tabla 9. Especificaciones técnicas y temperatura

Datos Técnicos	Descripción
Volumen de trabajo	200 x 200 x 180 mm
Resolución de Capa	90-390 micras
Espesor de pared	400 micras
Diámetro de material	175 mm
Material	Z-SEMIFLEX, Z-PLA Pro, Z-ABS
Velocidad de trabajo	10-150 mm/s
Diámetro de boquilla	0.4 mm
Temperatura máxima de extrusor	290°C
Temperatura máxima de cama	105 °C

Tabla 10. Requerimiento y software

Datos Técnicos	Descripción
Entrada	100 - 240 V, 4A 50-60Hz
Salida	24V DC, 9.2 A
Consumo energía	500 W Max
Software	Z-Suite
Tipo de archivo	STL, OBJ, DXF, 3MF
Compatibilidad	Mac y Windows
Formato de salida	ZCODEX

5.3 Primera prueba con manufactura aditiva

Como primera instancia, se consideró utilizar PC-ABS para la fabricación de la placa ya que tiene una temperatura de uso continuo de 120°C, siendo este material uno de los que el fabricante informa que puede manejar el equipo y que se tiene a disponibilidad.

A pesar de ser una temperatura menor a la temperatura de inyección, ya que se intentará inyectar con PP, se utilizará con la finalidad de que la pieza inyectada no se adhiera a las placas de cavidades y corazones.

Se realizó una primera prueba que contaba con las siguientes condiciones iniciales (Tabla 11).

Tabla 11. Condiciones iniciales de la primera prueba

Parámetro	Valor
Material	PC-ABS
Temperatura de la cama	80 °C
Temperatura de extrusión	240 °C
Resolución de capa	0.14 mm
Tipo de relleno	Panal de abeja
Porcentaje de relleno	90%
Área de trabajo	195 mm x 115.2 mm

El tipo de patrón de relleno que se eligió para trabajar fue el de panal de abeja debido a que este proporciona mayor soporte. El tiempo de fabricación de acuerdo al software utilizado era de 6 días con 9 horas.

Después de 5 horas de fabricación aditiva, se observó que la pieza sufrió alabeo, lo que implicó detener el proceso y verificar los parámetros de fabricación (Figura 62).

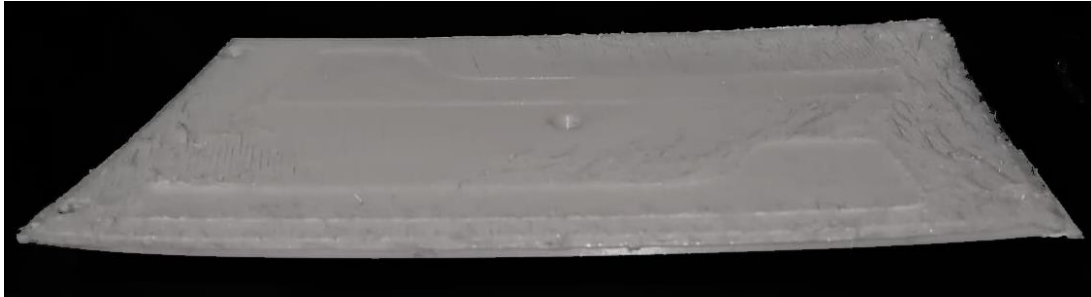


Figura 62. Modelo inconcluso que presenta alabeo.

En este primer intento se utilizaron las condiciones iniciales indicadas por el fabricante del equipo, después de verificarlas y realizar pruebas, se encontraron algunos inconvenientes, se pudo notar que el equipo tenía dificultad para fabricar la pieza en los bordes de la cama caliente, ya que la base de las placas tenía la misma longitud de la cama caliente, y se enfriaba de manera irregular en la periferia de la pieza, provocando alabeo.

5.4 Segunda prueba con manufactura aditiva

Para solucionar las problemáticas encontradas en la primera prueba, se cambiaron las condiciones para una segunda prueba (ver Tabla 12), utilizando las temperaturas máximas permitidas por el equipo, y también se decidió seccionar en dos partes las placas que componen al molde para obtener piezas más pequeñas y así evitar el alabeo.

Tabla 12. Condiciones iniciales de la segunda prueba.

Parámetro	Valor
Material	PC-ABS
Temperatura de la cama	100 °C
Temperatura de extrusión	290 °C
Resolución de capa	0.14 mm
Tipo de relleno	Panal de abeja
Porcentaje de relleno	90%
Área de trabajo	195 mm x 115.2 mm

Se observó que la cama caliente no mantiene una temperatura uniforme, presentando diferencias de temperatura entre las esquinas y el centro, lo que genera un gradiente de temperatura y, por lo tanto, alabeo en el modelo fabricado (Figura 63), haciendo que se desprenda y provocando un fallo en la fabricación, dado lo anterior, se observó que el factor de contracción del material es alto y por lo que no fue posible trabajar con PC-ABS, en consecuencia, fue necesario sustituirlo con un material con un menor factor de contracción y menor temperatura de procesamiento, así como reducir el tamaño de los modelos para que ocupen un menor área en la cama caliente y puedan mantenerse adheridas.

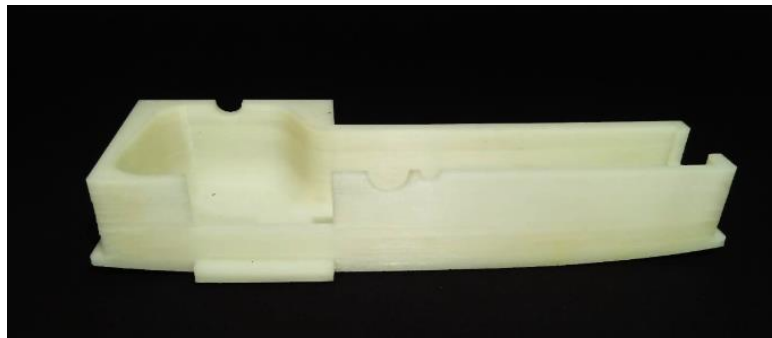


Figura 63. Pieza con alabeo, fabricada con PC-ABS.

5.5 Tercera prueba con manufactura aditiva

Debido a la rigidez del PC-ABS, el factor de contracción y las temperaturas a las que este debe ser fundido, no fue posible realizar las placas con este material, por lo que se decidió sustituir.

La temperatura del equipo no era uniforme en la cama caliente, sino únicamente en el centro de esta, por lo que piezas que cubran una mayor área tiene una mayor posibilidad de desprenderse y hacer que falle su fabricación, por lo que se decidió dividir las placas del molde en varias partes que serán ensambladas por medio de correderas y pestañas de sujeción.

Al ser seccionado las placas del molde, se decidió utilizar dos materiales plásticos para la fabricación estas, un material que se considerará de relleno y que no estará en contacto con la masa fundida, es decir, no formará parte de la geometría de la carcasa final, y otro material que estará en contacto con el material fundido, este material es el que requerirá mayor temperatura de uso continuo y tener un factor de contracción más pequeño, así mismo, tendrá que tener un mejor acabado superficial.

De acuerdo con los requerimientos antes mencionados, se decidió el uso de PLA como material de relleno y HIPS (poliestireno de alto impacto) como material de contacto,

ya que ambos materiales están a disponibles y el fabricante informa que el equipo es capaz de trabajarlo, en la tabla 13 se puede observar las características de los materiales.

Tabla 13. Características de los materiales

Cualidad	PLA	HIPS
Densidad	1.24 g/cm ³	1.04 g/cm ³
Resistencia a tracción (MPa)	47-53	16-26
Módulo de tracción (MPa)	2300-3300	1750 - 2250
Resistencia a la flexión (MPa)	83-100	38-40
Contracción	2-5%	0.2 - 0.8%
Temperatura de reblandecimiento	55-60 °C	90-100 °C
Temperatura de uso continuo	53-56°C	80-100 °C

El proponer dos materiales para la realización del prototipo modular de las placas de cavidades y corazones fue con la idea de reducir el tiempo de fabricación, para la base se utilizará PLA, ya que no va a estar en contacto con la masa fundida y no se requiere un acabado superficial detallado. Por otro lado, para la parte que le dará forma a la carcasa y que, si estará en contacto con la masa fundida, se utilizará HIPS con lo cual, se reducirá la posibilidad de que se desprenda el material debido al alabeo puesto que son piezas de menor tamaño, en la figura 64 y 65 se puede observar la división entre las piezas que son de PLA en color oro y las de HIPS en color azul.

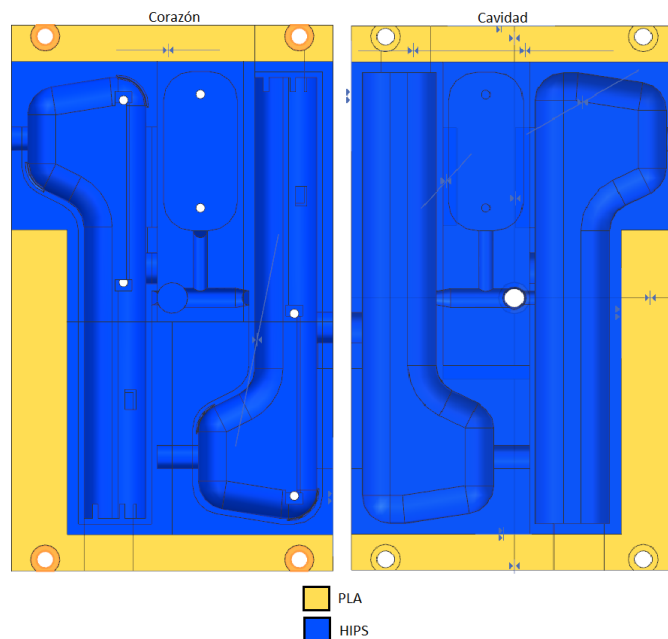


Figura 64. Vista frontal del prototipo modular de las placas de cavidades y corazones seccionado por material.

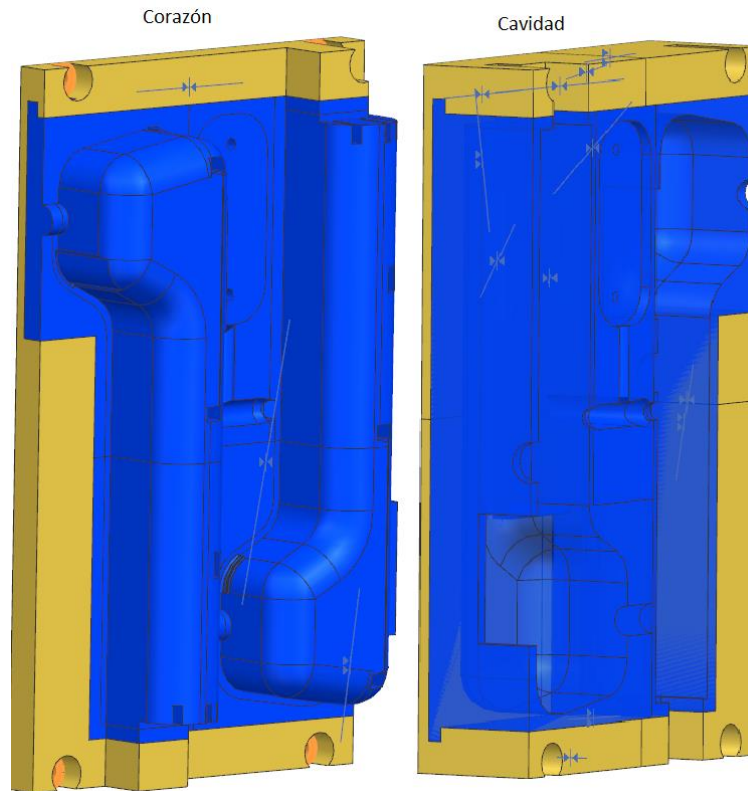


Figura 65. Vista isométrica del prototipo modular de las placas de cavidades y corazones seccionado por material.

La tercera prueba se realizó con las siguientes condiciones de fabricación:

Tabla 14. Condiciones iniciales de la tercera prueba con HIPS

Parámetro	Valor
Material	HIPS
Temperatura de la cama	80 °C
Temperatura de extrusión	255 °C
Resolución de capa	0.09 mm
Tipo de relleno	Panal de abeja
Porcentaje de relleno	90%
Área de trabajo	195 mm x 115.2 mm

Tabla 15. Condiciones iniciales de la tercera prueba con PLA

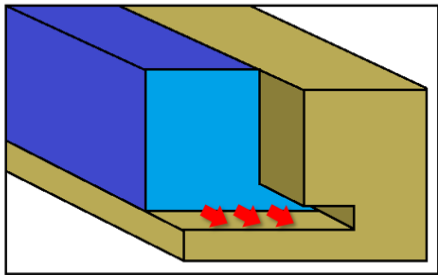
Parámetro	Valor
Material	PLA
Temperatura de la cama	30°C
Temperatura de extrusión	200 °C
Resolución de capa	0.14 mm
Tipo de relleno	Panal de abeja
Porcentaje de relleno	90%
Área de trabajo	195 mm x 115.2 mm

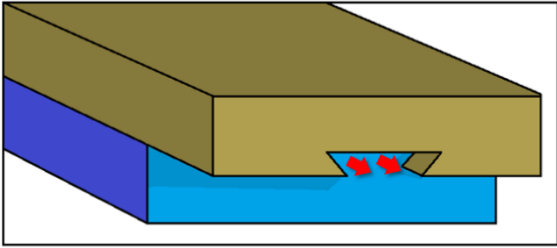
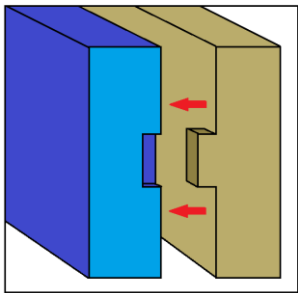
Se obtuvieron resultados favorables en cuanto a la contracción del material, los alabeos no se presentaron y los modelos fueron fabricados de manera satisfactoria.

Después de lograr corregir los problemas de alabeo de las pruebas anteriores y de haber obtenido una buena calidad de capa, se tomó la decisión de que esta sería la pieza final.

A continuación, en la tabla 16 se describen brevemente los sistemas de sujeción de las piezas cuya tarea principal fue mantener cada una de las piezas que componen las placas del molde para inyección del plástico fijas en su posición y correctamente ensambladas entre ellas.

Tabla 16. Sistemas de sujeción de las piezas que componen las placas del molde para inyección de plásticos

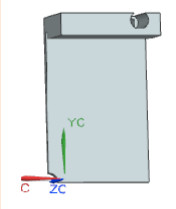
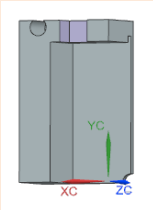
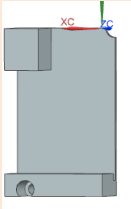
Sistema de sujeción	Explicación
<p>Corredera</p> 	<p>Permite que dos piezas tengan un desplazamiento rectilíneo a través de una ranura.</p>

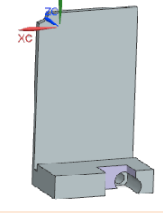
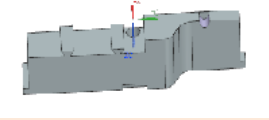
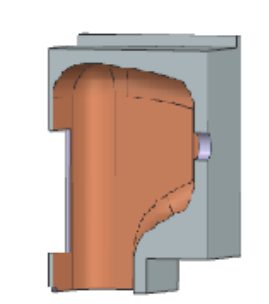
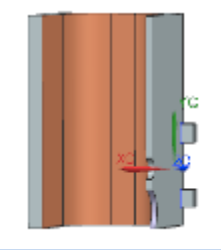
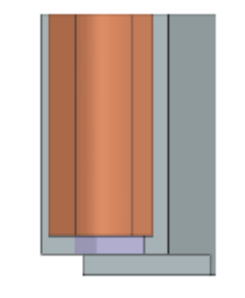
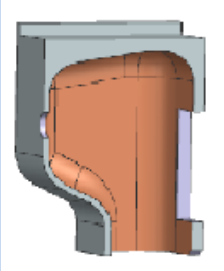
<p style="text-align: center;">Cola de milano</p> 	<p>Permite que dos piezas se desplacen de forma recta, evitando que estas puedan ser desensambladas con facilidad, ya que se mantienen fijas.</p>
<p style="text-align: center;">Pestañas de ensamble</p> 	<p>Pestañas que se ensamblan entre ellas para mantener las piezas fijas.</p>

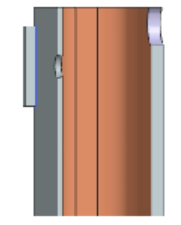
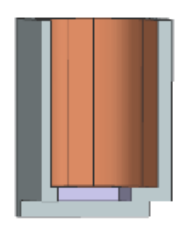
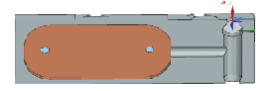
A continuación, en la tabla 17, se muestran las partes que componen las placas del molde y su tiempo de fabricación.

PLACA DE CAVIDADES

Tabla 17. Parámetros de fabricación de las piezas que componen la placa de cavidades del molde.

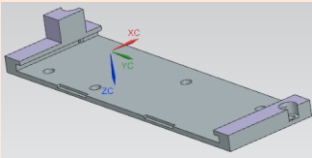
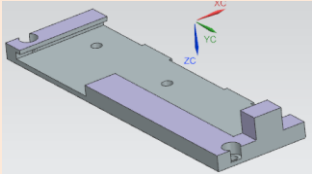
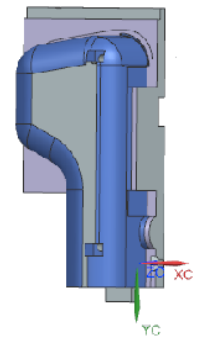
Pieza	Tiempo de fabricación	Relleno de la pieza	Material
	3h 49m	60%	PLA
	6h 59m	60%	PLA
	5h 0m	60%	PLA

	3h 40m	60%	PLA
	8h 3m	60%	PLA
	8h 14m	90%	HIPS
	3h 28m	90%	HIPS
	3h 40m	90%	HIPS
	6h 46m	90%	HIPS

	3h 27m	90%	HIPS
	3h 37m	90%	HIPS
	3h 28m	90%	HIPS

PLACA DE CORAZONES

Tabla 18. Parámetros de fabricación de las piezas que componen la placa de corazones del molde.

Pieza	Tiempo de fabricación	Relleno de la pieza	Material
	5h 52m	60%	PLA
	7h 15m	60%	PLA
	14h 10m	90%	HIPS

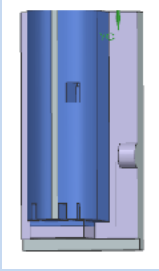
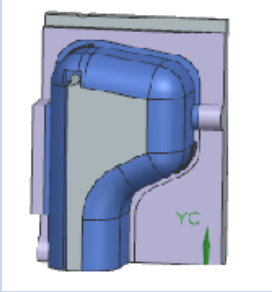
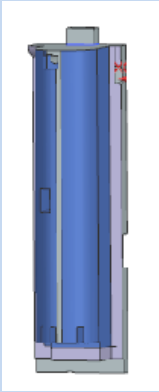
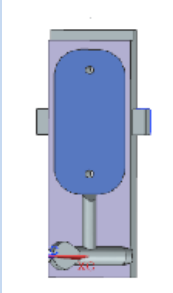
	12h 05m	90%	HIPS
	18h 37m	90%	HIPS
	14h 10m	90%	HIPS
	3h 49m	90%	HIPS

Tabla 19. Tiempos de fabricación de las placas del molde.

Parte del molde	Tiempo de fabricación
Placa de cavidades	60h 11m
Placa de corazones	75h 58m
Horas totales de fabricación	136h 9m
Días totales de fabricación	7 días

5.6 Ensamble

Una vez fabricadas las piezas que componen las placas del molde para inyección de plásticos de la carcasa, se realizó el ensamble para formar la placa de cavidades como se muestra en la figura 66. El proceso de ensamblado se llevó a cabo con facilidad debido al diseño del sistema de sujeción y ensamble.



Figura 66. Prototipo modular de las placas de cavidades y corazones en proceso de ensamble.

Se corroboró las dimensiones de las placas que se manufacturaron anteriormente, en la figura 67 se puede observar que estas ensamblan sin ningún problema, tomando en cuenta el sobredimensionamiento debido a la contracción que tendrá el material al inyectar, por lo que tienen las dimensiones correctas.

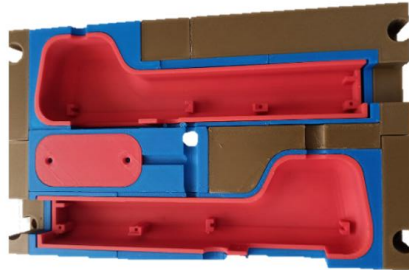


Figura 67. Prueba de dimensiones de la placa de cavidades con los componentes fabricados de la carcasa.

Una vez ensamblada la cavidad, se colocaron los pernos, como se muestra en la figura 68, para generar orificios y postes en la carcasa.

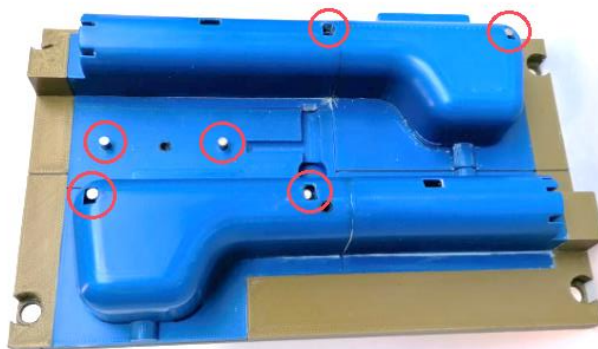


Figura 68. Placa de corazones con pernos.

Una vez ajustados los pernos en sus debidas posiciones, se pueden observar la placa de corazones y la placa de cavidades del molde para inyección de plásticos terminado en la figura 69.

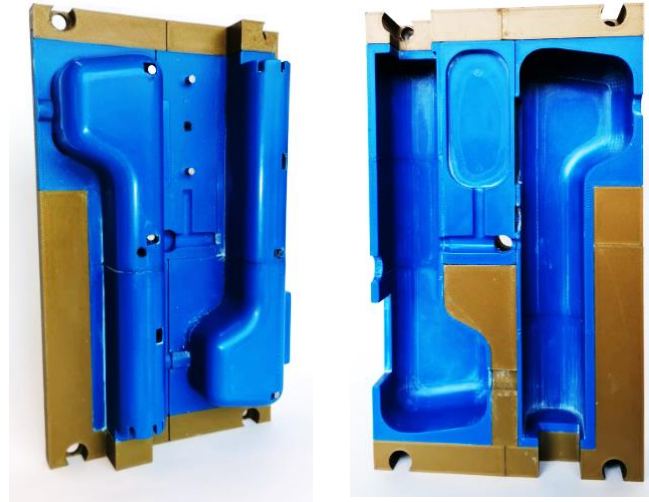


Figura 69. Vista isométrica de las placas de corazón y cavidad, seccionado por material.

5.7 Post-Procesamiento de las placas del molde

A pesar de que la placa de corazones y la placa de cavidades fueron creadas por medio de manufactura aditiva en una alta calidad y a una temperatura adecuada, se consideró aplicar un post-procesamiento a las cavidades y los corazones (piezas en color azul), para mejorar el acabado y permitir un mejor flujo del material plástico.

Algunas de las actividades que se realizaron para esto fueron:

- Pegar las piezas para evitar que se separaran al momento de ser manipuladas
- Lijar las piezas con grano fino para eliminar las marcas de capa generadas durante su fabricación
- Pulir la pieza con gasolina blanca y pasta, para obtener un mejor acabado superficial

El resultado fue una pieza con mejor acabado superficial, sin marcas de capa como se observa en la figura 70.



Figura 70. Módulo del corazón después del post-procesamiento.

Otros de los procesos que se realizaron como post-procesamiento fue la fabricación de los orificios de los pernos botadores, en la figura 71 se muestra la ubicación de los pernos botadores, los cuales se realizaron por medio de barrenado.

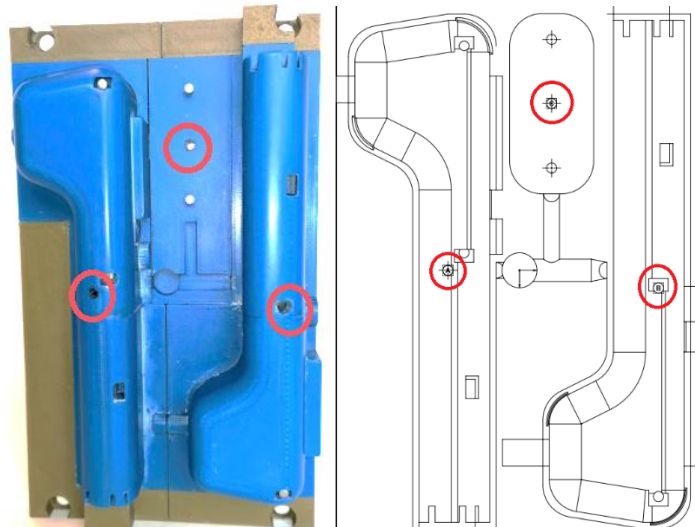


Figura 71. Ubicación de los pernos botadores.

5.8 Resultados de la fabricación de las placas del molde

Se obtuvo un prototipo modular de las placas de cavidades y corazones fabricado con manufactura aditiva que consta de 19 partes, durante este proceso se observaron diferentes ventajas y múltiples inconvenientes.

5.8.1 Ventajas de un molde fabricado con manufactura aditiva en comparación de uno manufacturado con CNC

- El molde fabricado con manufactura aditiva sirve como un prototipo de un molde final.
- Debido a que se tiene mayor libertad para construir geometrías complejas, se logró manufacturar las pestañas y las correderas de sujeción.
- No requiere múltiples herramientas de manufactura como lo son cortadores de diferentes medidas y tipos de corte.
- Requiere menos supervisión durante el proceso de fabricación.
- El equipo de manufactura aditivo al ser más pequeño en comparación con una CNC, se puede transportar a diferentes lados por lo que no es necesario usarla en un laboratorio CNC.
- La materia prima es más económica.

5.8.2 Inconvenientes observados al realizar la manufactura de las placas del molde.

- Los parámetros del equipo de fabricación aditiva utilizado son una limitante, debido a que la temperatura de la cama caliente no era uniforme, se enfriaba en las esquinas manteniendo únicamente el centro a la temperatura requerida.
- La temperatura del extrusor tiene como límite 290°C y 105° en cama caliente, estas temperaturas apenas logran alcanzar los requerimientos mínimos del material con el que se había planeado fabricar las piezas (PC-ABS).
- El PC-ABS es un material muy rígido, por lo que si se requiere fabricar con él es necesario mantener un ambiente controlado en el área de trabajo.
- Las limitantes de material y temperatura, provocaron que no fuera posible fabricar piezas de gran tamaño con éxito.
- Existe la posibilidad de que el filamento absorba humedad y afecte el acabado superficial de las piezas.
- Se recomienda aplicar un post-procesamiento para mejorar el acabado superficial.

CAPÍTULO 6. PROCESO DE INYECCIÓN

6.1 Introducción

El proceso de inyección de plásticos consiste en inyectar material que se encuentra fundido al interior de un molde para que este material adopte la forma de su interior, una vez que el plástico se enfría y se endurece, el molde se abre para dejar salir la pieza terminada.

Un disparo corto de material es el llenado incompleto de una cavidad del molde que da como resultado una pieza incompleta, durante este capítulo se realizaron un total de cinco disparos cortos, en los que se inyectó el 20%, 40%, 40%, 60% y 60% del volumen total de la pieza respectivamente en cada prueba.

En este capítulo se describirán y explicarán las pruebas de disparos cortos de material que se realizaron, para verificar la funcionalidad de las placas de cavidades y de corazones fabricadas en el capítulo anterior, se espera que haya complicaciones debido a que los materiales seleccionados no tienen las propiedades más adecuadas para este fin, sin embargo, se pondrá a prueba el comportamiento de las placas ante esta situación.

6.2 Preparación del proceso de inyección

Con el diseño de las placas de corazón y cavidad finalizado y realizado por medio de manufactura aditiva, se inició el proceso de inyección de plásticos, para realizar esto se utilizó una máquina Demag Ergotech 50-270 pro, se puede observar sus especificaciones técnicas en la tabla 20.

Tabla 20. Especificaciones técnicas Demag Ergotech 50-270 pro.

Demag Ergotech 50-270 pro	
Características	Capacidad
Fuerza de cierre	50 ton
Presión máxima de inyección	1890 bar
Volumen máximo de inyección	144 cm ³
Potencia del motor	11 kW
Potencia del barril calentador	7.5 kW

Durante la realización del diseño las placas del molde se realizó una simulación de moldeabilidad para corroborar que el arreglo de la posición de piezas era conveniente, dicho análisis dio como resultado los parámetros de inyección que se pueden ver en la figura 72.

Tiempo real de llenado	2.10 (s)
Presión real de inyección	24.410 (MPa)
Área de fuerza de cierre	117.7047 (cm ²)
Fuerza de cierre máx. durante el llenado	14.400 (tonelada)
Conmutación de velocidad/presión a % volumen	98.79 (%)
Conmutación de velocidad/presión en tiempo	2.06 (s)
Peso total de la pieza al final del llenado	49.502 (g)
Volumen de inyectada	66.2373 (cm ³)
Volumen de la cavidad	63.3863 (cm ³)
Volumen del sistema de canales	2.8510 (cm ³)


Material	
Fabricante del material	Generic Default
Nombre comercial del material	Generic PP
Impacto medioambiental	
Temperatura de masa fundida	220.0 (C)
Temperatura del molde	50.0 (C)
Puntos de inyección	3
Presión máxima de inyección de la máquina	180.000 (MPa)
Tiempo de inyección seleccionado	Automático
Conmutación velocidad/presión	Automático

Figura 72. Parámetros de inyección obtenidos en el análisis de moldeabilidad

A partir de estos parámetros, se decidió realizar el análisis de disparos cortos propuesto en el moldeo científico para la inyección de plásticos. Dado que los materiales utilizados no son utilizados para realizar moldes de inyección de plásticos, se espera que las placas presenten fallos durante este proceso, como que se fracture o que el material no logre desprender correctamente al momento de botar la pieza.

Para el material que se decidió en un principio inyectar era PP, sin embargo, dado las condiciones que se tenían, no fue posible adquirirlo en cantidades pequeñas (1kg) ni poderlo recibir de alguna donación, así mismo para comprarlo se requería una cantidad muy grande y por lo tanto sería muy costoso, para poder probar las placas se determinó el utilizar un material que se tuviera disponible, acetal o TPU.

Para decidir que material utilizar se tomó en cuenta lo siguiente:

- Material que tuviera un mayor índice de fluidez.
- El material use una temperatura de inyección similar al del PP.

Tabla 21. Materiales disponibles.

Materiales disponibles		
Características	TPU	Acetal
Índice de fluidez g/10 min	18	12
Temperatura de inyección	228 °C	190 °C

Dado las condiciones anteriores, se decidió utilizar el TPU ya que por su índice de fluidez el material tendría menos probabilidad de atorarse en las placas del molde y destruirlas de manera prematura, así mismo, su temperatura de inyección es similar al del PP, lo que nos permitiría observar que tanta resistencia podría tener las placas del molde al inyectar un material con estas temperaturas.

Para la realización del balanceo de las cavidades, se realizó una secuencia de disparos cortos modificando la cantidad de material que entra a la cavidad, esto puso a prueba el las placas del molde para observar su comportamiento durante el proceso de inyección, las condiciones iniciales que se tomaron en cuenta para realizar el balanceo de cavidad fueron:

- Material TPU (Poliuretano termoplástico) ya que su temperatura de trabajo es muy similar a la del PP.
- Prototipo modular de las placas de cavidades y corazones fabricado con manufactura aditiva.
- Parámetros de inyección obtenidos del análisis de moldeabilidad en Moldflow.
- Planeación del Experimento.

Para realizar las pruebas de inyección de plásticos se llevaron a cabo los siguientes pasos:

1. Suministrar el material que se desea inyectar, en este caso TPU (Poliuretano Termoplástico), en la unidad de inyección.
2. Colocar el prototipo modular de las placas a manera que se encuentre alineado.
3. Cerrar el prototipo modular de las placas con una fuerza de cierre de 5 toneladas.
4. Colocar los parámetros para inyectar el material.
5. Inyectar el plástico a través de la boquilla de alimentación.
6. Esperar un tiempo para que el material inyectado en el prototipo modular de las placas se enfríe, a este tiempo se le llama tiempo de enfriamiento.

7. Abrir el prototipo modular de las placas y liberar las piezas.

Se esperaba que el material tuviera una temperatura de aproximadamente 220 °C al inyectar por lo que se decidió calentarlo hasta 225°C, se utilizó un perfil de temperatura que fue incrementado en cada sección hasta llegar a la temperatura deseada (Figura 73).

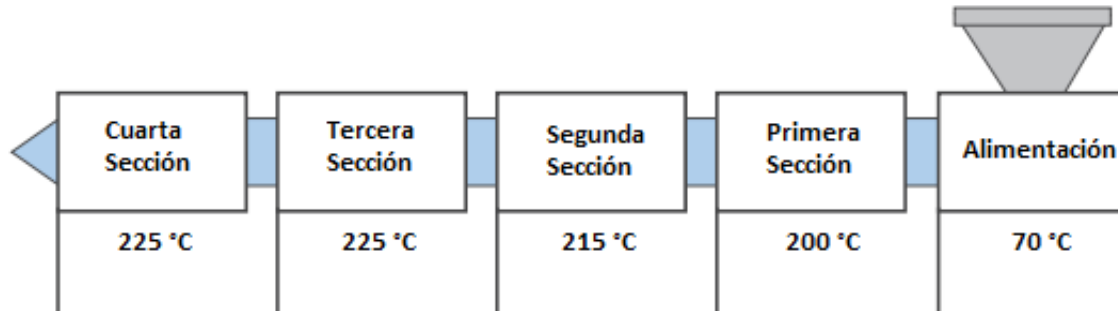


Figura 73. Perfil de temperaturas.

Se utilizó un perfil de temperatura elevado en un material que requiere menos temperatura con la intención de probar la capacidad de las placas de cavidades y corazones para soportar una inyección a temperaturas cercanas a su punto de fusión del material utilizado para su fabricación.

En el análisis se utilizó como temperatura del molde 50°C, esto se debe a que antes de inyectar las placas se encuentran a temperatura ambiente, aproximadamente 20°C, dado que se inyecta y las placas se calienta, este agarrará una temperatura superior a la temperatura ambiente y, considerando la pérdida que pueda existir, se contemplo 50°C para tener un aproximado de temperatura al que pudiera llegar al inyectar.

6.3 Experimento 1

Durante esta primera prueba de inyección de plásticos, se decidió inyectar con un 20% del volumen total.

Para el primer experimento se utilizaron los siguientes parámetros, estos son de gran importancia debido a que el proceso de inyección de plásticos requiere de una gran precisión, por lo que los movimientos realizados por la máquina de inyección de plásticos deben estar sincronizados.

Tabla 22. Parámetros del primer experimento de inyección.

Parámetro	Valor
Porcentaje del volumen total a inyectar	20%
Fuerza de cierre	5 toneladas
Tiempo de enfriamiento	30 s
Volumen de disparo	13 cm ³
Presión de Inyección	190 bar
Tiempo de inyección	0.26 s
Velocidad de inyección	80 mm/s

La velocidad de inyección es importante debido a que el material en el momento que toca las placas, este ya ha empezado a enfriarse por lo que es necesario realizar este proceso rápidamente.

El tiempo de inyección es importante para conseguir que la pieza sea estable y pueda expulsarse correctamente, este tiempo varía dependiendo de la pieza y del material utilizado. Durante la primera inyección, se obtuvieron los siguientes resultados (Figura 73), Como se puede observar, el material se logró desprender, sin embargo, no de la forma más adecuada, puesto que deformó las placas y le faltó tiempo de enfriamiento, para que el material solidificado correctamente. Se puede observar en la parte marcada de la figura 74 hasta donde llegó el flujo de material.



Figura 74. Piezas de inyección al 20% de volumen de inyección.

Después de esta primera prueba prototipo modular de las placas sufrió daños, como se muestra en la figura 75, se separaron las paredes de la base y la pared de una de las cavidades con lo se generó un espacio entre ellas.

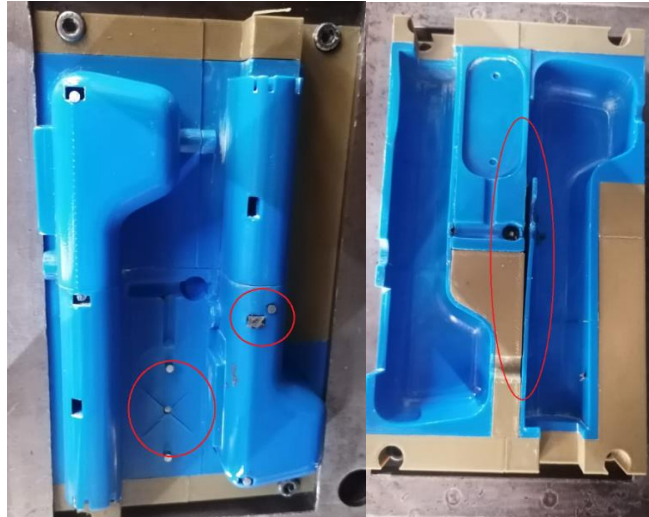


Figura 75. Prototipo modular de las placas de cavidades y corazones después del primer experimento.

6.4 Experimento 2

Para este segundo experimento, se decidió aumentar el tiempo de enfriamiento de 30s a 59s para que el material se solidifique correctamente y la presión de inyección de 190 bar a 268 bar, así mismo se utilizó el 40% del volumen total.

Tabla 23. Parámetros del segundo experimento de inyección.

Parámetro	Valor
Porcentaje del volumen total	40%
Fuerza de cierre	5 toneladas
Tiempo de enfriamiento	59 s
Volumen de disparo	27 cm ³
Presión de Inyección	268 bar
Tiempo de inyección	0.41 s
Velocidad de inyección	80 mm/s

En este segundo experimento se logró llenar la parte de la tapa de la pila y del bebedero (Figura 76).



Figura 76. Piezas de inyección resultantes del segundo experimento.

Se observó que parte del material que debía dirigirse a las cavidades se quedó atorado entre las ranuras de la portamoldes (Figura 77), fracturando el área de la tapa en el corazón y el del componente izquierdo en la cavidad al filtrarse entre las uniones de la placa de cavidades (Figura 78).

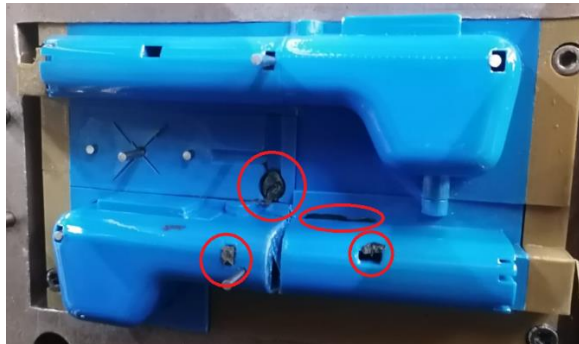


Figura 77. Placa de corazón del molde.



Figura 78. Placa de cavidad del molde.

6.5 Experimento 3

Para este tercer experimento, se decidió repetir el proceso anterior, siendo el porcentaje del volumen de la pieza el 40%, la presión de inyección tuvo una variación de 8 bar con respecto a la prueba anterior.

Tabla 24. Parámetros del tercer experimento de inyección.

Parámetro	Valor
Porcentaje del volumen de la pieza	40%
Fuerza de cierre	5 toneladas
Tiempo de enfriamiento	60 s
Volumen de disparo	27 cm ³
Presión de Inyección	276 bar
Tiempo de inyección	0.42 s
Velocidad de inyección	80 mm/s

En este experimento se observa un resultado muy similar al anterior, sin embargo, en esta ocasión se formó parte del componente derecho, de la tapa y el bebedero (Figura 79).



Figura 79. Piezas de inyección resultantes del tercer experimento.

Se observa que las placas del molde sufrieron más daño, se filtró material en la línea de partición, así mismo las ranuras fisuradas se llenaron de material, se observa que en la cavidad (Figura 80.a) se mantuvo material pegado, el material pudo despegar sin mayor problema lo que indica que el material del prototipo modular de las placas de cavidades y corazones es resistente a las temperaturas de inyección para ciclos cortos (Figura 80.b).

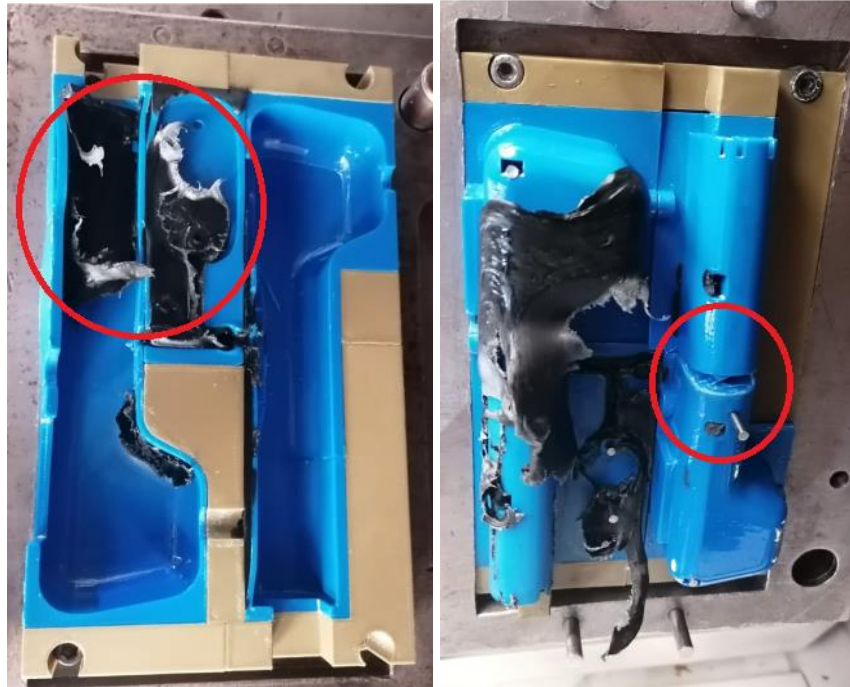


Figura 80. a) Placa de cavidad del molde

b) Placa de corazón del molde

6.6 Experimento 4

Se decidió realizar un cuarto experimento, aumentando el porcentaje del volumen de la pieza al 60%, la presión tuvo una variación de 3 bar, el tiempo de enfriamiento aumentó en 20 s debido a que la cantidad de material a enfriar fue mayor.

Tabla 25. Parámetros del cuarto experimento de inyección.

Parámetro	Valor
Porcentaje del volumen de la pieza	60%
Fuerza de cierre	5 toneladas
Tiempo de enfriamiento	80 s
Volumen de disparo	68 cm ³
Presión de Inyección	273 bar
Tiempo de inyección	80 s
Velocidad de inyección	80 mm/s

Para este experimento se puede observar un resultado mucho más favorable ya que se puede observar una geometría similar a la de la carcasa (Figura 81) que los anteriores, llenó la mayor parte de las piezas de acuerdo al volumen, se observan piezas discontinuas y con rechupe.



Figura 81. Piezas de inyección resultantes del cuarto experimento.

Se puede observar que parte de las piezas se quedaron en el área de la cavidad debido a las fracturas que se han generado (Figura 82 a.), pero se puede ver que uno de los componentes de la carcasa se generó sin mayor problema (Figura 82 b.), observándose que el otro lado no permite que fluya el material como es debido ya que hay material atascado entre las ranuras de la placa.

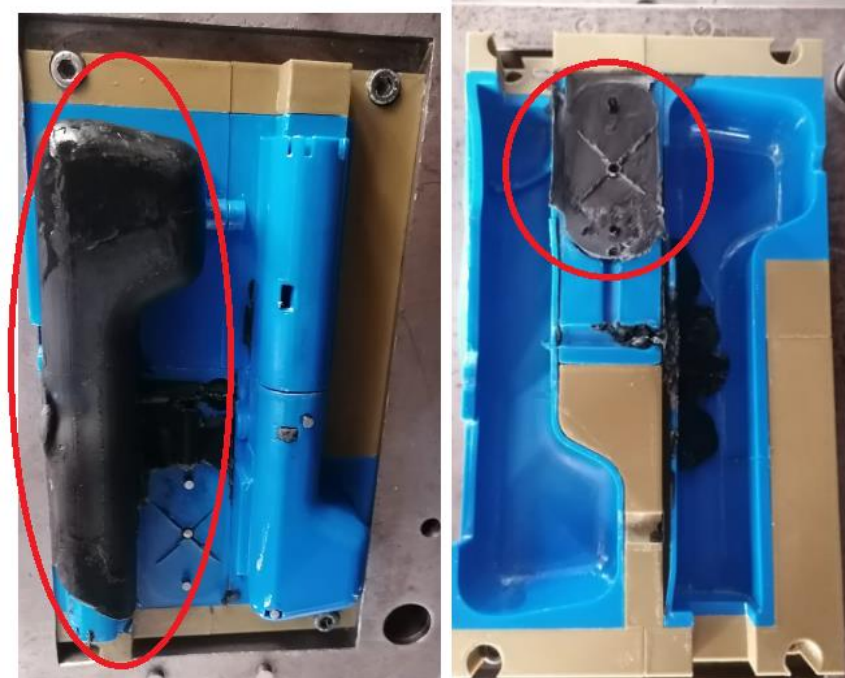


Figura 83. a) Placa corazón del molde

b) Placa cavidad del molde.

6.7 Experimento 5

Se realizó un siguiente un último experimento aumentando el porcentaje de volumen de la pieza a un 60%, en esa prueba aumentó en 3 bar la presión y se aumentó 20s el tiempo de enfriamiento debido a que la cantidad de material a enfriar es mayor que en las pruebas anteriores.

Tabla 26. Parámetros del quinto experimento de inyección.

Parámetro	Valor
Porcentaje del volumen de la pieza	60%
Fuerza de cierre	5 toneladas
Tiempo de enfriamiento	80 s
Volumen de disparo	68 cm ³
Presión de Inyección	273 bar
Tiempo de inyección	80 s
Velocidad de inyección	80 mm/s

En este experimento se observa que uno de los componentes de la carcasa y la tapa se llenaron en su totalidad, el componente izquierdo de la carcasa no se llenó debido a que el material se solidificó y se filtró entre las ranuras sellando el canal de alimentación como se observa en la figura 84.



Figura 84. Canal de alimentación atascado.

En este experimento las piezas quedaron atoradas en la placa de cavidad (Figura 85) debido a que fracturas durante la inyección.

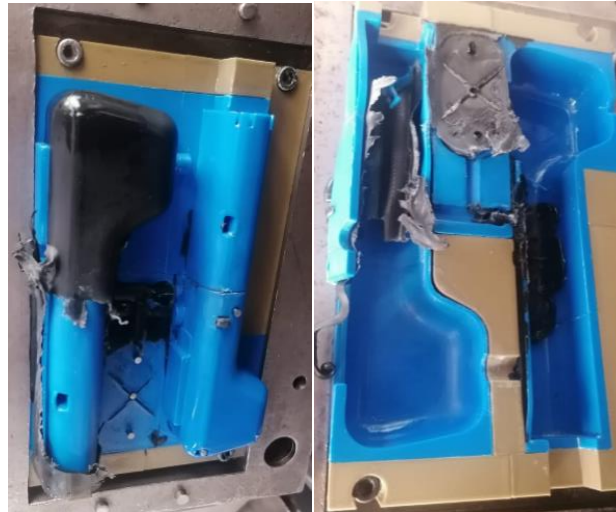


Figura 85. a) Placa de corazón del molde

b) Placa de cavidad del molde.

Esta prueba fue la última realizada debido a que la placa de cavidades tuvo fracturas en una de las laterales (Figura 86).



Figura 86. Fractura en el lateral en la placa de cavidades.

CAPÍTULO 7. RESULTADOS

Se obtuvo un diseño de una carcasa para un termómetro infrarrojo, de dimensiones 49.2 mm x 162 mm x 60.06 mm, la cual permite alojar y fijar: un display, una batería, un sensor infrarrojo y un botón de accionamiento, dicha sujeción se realiza por medio de pestañas localizadas en la parte superior de las piezas que componen la carcasa.

La geometría de la carcasa fue diseñada para que el termómetro pudiera colocarse sobre una superficie plana y se mantuviera de manera vertical, para que sea manejable para el usuario.

Se obtuvo un prototipo modular de las placas de cavidades y corazones para los tres componentes de la carcasa, con dimensiones de 195 mm x 115.2 mm x 44.8 mm, compuesto por tres materiales: PLA, HIPS y acero.

Se utilizó ácido poliláctico para fabricar el soporte del molde con manufactura aditiva y Poliestireno de alto impacto para obtener las partes que conforman la cavidad y el corazón y sistema de alimentación, también, se diseñaron 3 sistemas de sujeción para mantener unidos el soporte de cavidades con sus componentes y de la misma manera la placa de corazones, la sección del bebedero fue hecha de acero manufacturado en torno, la cual conecta a los canales de alimentación primario y secundario, de 7mm y 5mm de diámetro respectivamente.

El tiempo de fabricación del prototipo modular de las placas de cavidades y corazones fue de aproximadamente 60 horas para fabricar la cavidad y 76 horas para el corazón, que es equivalente a 7 días continuos, que como se esperaba por haber utilizado un equipo de manufactura aditiva convencional como es la Zortrax M200, el tiempo es mayor al que se obtendría si el prototipo modular de las placas de cavidades y corazones hubiese sido fabricado con una CNC de grado industrial.

Se realizó una secuencia de disparos cortos con 5 experimentos en las que se verificó el comportamiento de llenado de las placas según los análisis de moldeabilidad realizados, las pruebas fueron realizadas variando el volumen de inyección del 20% al 60% y el rango de presión de inyección se estableció entre 190 Bar y 276 Bar y la temperatura de inyección fue de 220 °C, obteniendo durante este proceso el fallo debido a la temperatura del material y a la presión de inyección del molde como ya se esperaba.

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES

Conforme al el objetivo planteado y a la vista de los resultados obtenidos en los distintos procesos implementados a lo largo del desarrollo del trabajo, se exponen las siguientes conclusiones.

Desde un punto de vista general el objetivo propuesto en el trabajo se cumplió; se obtuvo un prototipo modular híbrido de las placas de cavidades y corazones realizados con manufactura aditiva con el equipo que se encuentra en la Facultad de Ingeniería, así mismo se obtuvo el diseño y prototipo de la carcasa del instrumento de medición de temperatura. Durante su manufactura se realizaron diferentes pruebas, entre los resultados que se obtuvo fueron los parámetros de fabricación adecuados para los materiales utilizados, se tomó en cuenta el alabeo como criterio principal el cual es un defecto común en las piezas de plástico, se logró contrarrestar dichos efectos con el uso del perfil de temperaturas y dimensiones de la pieza adecuadas.

Respecto a los ensayos de moldeabilidad, se puso a prueba la funcionalidad de un prototipo modular de las placas de cavidades y corazones, a pesar de que se preveía que las placas fallarían, se observó que el material inyectado no se pegó al molde y que este último sería capaz de resistir la temperatura de inyección en disparos cortos, esto nos permitió corroborar que se pueden hacer moldes para inyección de plásticos modulares fabricados con manufactura aditiva, siempre y cuando se consideren las características de los materiales que conformarán el molde y con el que se desea realizar la inyección, para esto se recomendaría utilizar un equipo de fabricación aditiva de grado industrial que permitiera el uso de materiales de alto desempeño y que permita realizar el molde en una sola pieza, o si se desea hacer un molde modular, utilizar un mejor sistema de sujeción que permita sellar con mayor efectividad las uniones del molde, así como tener menores limitaciones de diseño.

Este trabajo nos aportó experiencias que nos permiten entender los procesos que se llevan a cabo para la realización de una pieza prototipo como para un molde, nos hizo entender la diferencia entre la temperatura de fusión de un material, que nos serviría para inyectarlo o extrudirlo, comparado con la temperatura de uso continuo que es lo que hay que tomar en cuenta al seleccionar un material para que resista la temperatura con la que se inyectaría. Pudimos trabajar con las áreas de CAD, CAM y CAE, así como poner en práctica nuestra habilidad de tomar decisiones en el momento cuando surgen inconvenientes al

diseñar y manufacturar un prototipo. Pudimos observar como las limitantes, tanto de herramental como de presupuesto, pueden afectar el desarrollo de un proyecto y no únicamente en el área de mecánica, sino en cualquier área de ingeniería, comprendimos la importancia de saber diferenciar la impresión 3D con la manufactura aditiva y los diferentes materiales que podemos utilizar en este proceso.

Como resultado de la implementación de esta tesis de investigación, contribuyó a nuestro desarrollo profesional al permitirnos poner en práctica conocimientos y habilidades para analizar y comprender problemas de ingeniería, proponer alternativas de solución, manejar herramientas actuales y de vanguardia, evaluar y crear alternativas para el uso racional de recursos disponibles en los procesos de manufactura, controlar, automatizar, operar y supervisar los procesos, asegurando la calidad, eficiencia, productividad y economía de los procesos y producto desde una perspectiva creativa, emprendedora y sobre todo comprometidos con un sentido de responsabilidad ética y de formación continua.

REFERENCIAS

- Acosta Prado J, Acosta Ospia, R. (2017), *El Moldeo en el Proceso de Inyección para el Logro de Objetivos Empresariales*, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5826326>
- Albarrán, J.M. (2014). PFC: Diseño y fabricación de un molde para inyección en plástico. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI). Universidad Pontificia Comillas.
- AmStry, (2015, julio), *Ficha técnica de Poliestireno de Alto Impacto*, <https://amstry.com/images/documents/hips/styron478-tech-es.pdf>
- Ander P & Aj Sonnesa (1989), *Principios de química. Introducción a los conceptos Teóricos*, Limusa, México.
- Aiprecision Machining, (2021), *Understanding Heat Deflection Temperature (HDT) of Plastics*, aiprecision, <https://aiprecision.com/understanding-heat-deflection-temperature-plastics/#:~:text=The%20Heat%20Deflection%20Temperature%20>
- Barrionuevo Vallejoa, J. M., Fructuoso Rosiqueb, D., Hernández Rosb, E., & González-Moroc, I. M. (2007, octubre). Fuerza máxima y resistencia muscular de agarre manual en regatistas de vela ligera de la clase Tornado. *Apunts Sport Medicine*. <https://www.apunts.org/es-fuerza-maxima-resistencia-muscular-agarre-articulo-X0213371707138405>
- BUCHWALD, D. (Mayo, 1996). *METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE MOLDES DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO UTILIZANDO Pro/MOLDESIGN DE Pro/ENGINEER*. Recuperado de: <https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/628139/CEM337239.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cruz Morales, M.A. (2021), *Diseño de productos en un entorno universitario durante la pandemia de Covid-19*.
- Duan, H., Xin, M.-Q., Kim, K.-Y., & Tang, J.-J. (2017). *The Role of Compatibilizers on the Properties of PC/ABS Alloy*. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. https://www.researchgate.net/publication/317660961_The_Role_of_Compatibilizers_on_the_Properties_of_PCABS_Alloy

- Filament2print, PLA *Premium Turquoise Blue*, https://filament2print.com/es/pla-premium/1389-pla-premium-turquoise-blue.html#/217-diametro-175_mm/223-formato-bobina_750_g
- Flores Gómez, R. (2011, octubre). *Análisis de moldeabilidad de piezas largas obtenidas por inyección de plásticos*. Biblioteca Digital UNAM. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/4435/tesis.pdf?sequence=1>
- García, S.M. (2012). Diseño de un molde de inyección y elaboración de diagramas de moldeo para la empresa Unión Plastic. Informe Final de Cursos de Cooperación. Universidad Simón Bolívar (Venezuela), 2012-05-21.
- García, S.M. (2012). *Diseño de un molde de inyección y elaboración de diagramas de moldeo para la empresa Unión Plastic. Informe Final de Cursos de Cooperación*. Universidad Simón Bolívar, Venezuela.
- Gobierno de México. (s. f.). *Documentos de consulta – Coronavirus*. Coronavirus Gobierno de México. Recuperado 4 de agosto de 2021, de <https://coronavirus.gob.mx/documentos-de-consulta/>
- González Sánchez, J. C. (2020). Evaluación del moldeo científico aplicado a diferentes moldes para inyección de plásticos. Facultad de Ingeniería UNAM. <http://132.248.9.195/ptd2020/enero/0800226/Index.html>
- Grupoxds, (2022), *3 Razones para Utilizar Impresión 3D*, <https://www.grupoxds.com/wp-content/uploads/2016/12/HIPS.pdf>
- Guerricabeitia López, G. (2018, 23 julio). DISEÑO DE UN PROCESO DE INYECCIÓN PLÁSTICA PARA LA FABRICACIÓN DE CARCASAS DE FOCOS DELANTEROS DE MITSUBISHI LANCER EVO. Escuela de Ingeniería de Bilbao. <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/29265/DOCUMENTO%20MEMORIA.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Hatch Matthew, (2022). *Moldeo por inyección- ¿Cuáles son las ventajas?*, <https://www.protolabs.com/es-es/recursos/blog/moldeo-por-inyecci%C3%B3n-cu%C3%A1les-son-las-ventajas/>
- *HDT @0.46 Mpa (67 psi)*. (n.d.). Omnexus specialchem. Retrieved June 3, 2023, from <https://omnexus.specialchem.com/polymer-properties/properties/hdt-0-46-mpa-67-psi>

- Hernández Cuevas, O. A. (2018). *Diseño de un molde de inyección de inyección de plástico empleando herramientas CAD/CAE/CAM*. Biblioteca Digital UNAM. <http://132.248.9.195/ptd2018/mayo/0773750/Index.html>
- <http://www.plasticbages.com/caracteristicaspolipropileno.html>
- Kulkarni, S. (2016). *Robust Process Development and Scientific Molding*. <https://www.hanser-elibrary.com/doi/epdf/10.3139/9781569905876.fm>
- Laboratorio de Tecnología de Polímeros, (2023), *Laboratorio de Propiedades Térmicas, Reología y Básicas*, <https://www.latep.es/es/laboratorios/laboratorio-de-propiedades-termicas-reologia-y-propiedades-basicas.html#:~:text=La%20temperatura%20de%20flexi%C3%B3n%20bajo,una%20el%20evaci%C3%B3n%20programada%20de%20la>
- León, L. R. P., Chaurand, R. A., Muñoz, E. L. G., U., Arte, D. U. C. G. D. A. U. Y., Ergonomía, U. D. G. C. D. I. E., & Universidad de Guadalajara. Centro de Investigaciones en Ergonomía. (2001). *Dimensiones antropométricas de población latinoamericana (2.a ed.)*. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño, División de Tecnología y Procesos, Departamento de Producción y Desarrollo, Centro de Investigaciones en Ergonomía
- Malloy, R., (1994), *Plastic part desing for injection molding*. N.Y., Hanser.
- Mexpolímeros, *Contracción*, mexpolimeros.com/pedia/shrinkages.html.
- *Pausas, Descansos y Estiramientos Ergonómicos del Cuerpo*. (s. f.). State Compensation Insurance Fund. Recuperado 4 de agosto de 2021, de <https://content.statefundca.com/safety/safetymeeting/SafetyMeetingArticle.aspx?ArticleID=358>
- Perezcas, A. (2019, 25 enero). *Moldes de inyección de plástico, ¿qué se necesita? Grupo Perplast - Inyección de plástico y fabricación de moldes para inyección de plástico*. <https://www.gperplast.com/blog/2019/1/7/fabricacion-de-moldes>
- Ponce de León, F. R. (2007, 14 diciembre). *Reconstrucción y Semi-Automatización de la Máquina de Inyección de Plástico de Laboratorios de Ingeniería Mecánica*. Bibliotecas UDLAP. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/rojas_p_f/capitulo2.pdf
- Pozo Villar Jorge, (2019, septiembre), *Estudio y caracterización de materiales utilizados para la construcción de prótesis impresas mediante tecnología FDM*,

https://autofabricantes.org/wp-content/uploads/2020/05/TFG_JORGE-POZO-VILLAR.pdf

- Prada Ospina Ricardo, (2017), *El moldeo en el proceso de inyección de plásticos para el logro de objetivos empresariales*, <http://www.scielo.org.co/pdf/diem/v15n1/1692-8563-diem-15-01-00226.pdf>
- Protolabs Manufacturing Accelerated, (2022, enero), *Moldeo por inyección- ¿Cuáles son las ventajas?*, <https://www.protolabs.com/es-es/recursos/blog/moldeo-por-inyecci%C3%B3n-cu%C3%A1les-son-las-ventajas/>
- Rosa envases s.a, (2020, octubre), *La importancia del plástico y sus usos*, <https://rosaenvases.com/blog/importancia-plastico-usos/#:~:text=Actividades%20esenciales%20en%20las%20que%20intervienen%20los%20pl%C3%A1sticos&text=No%20s%C3%B3lo%20colabora%20en%20la,tan%20importantes%20en%20estos%20momentos.>
- Routisis, T. (2000). *Scientific Molding Pocket Guide*. Dracut: A.Routisis Associates inc
- Sánchez V., (2002), *Moldeo por inyección de termoplásticos*, Limusa, México.
- Sz. Krizsma, N.K. Kovacs, J.G. Kovács a,b, A. Suplicz (2021), *In-situ monitoring of deformation in rapid prototyped injection molds*, Department of Polymer Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Budapest University of Technology and Economics.
- Todo en polímeros. (2017, 15 marzo). *COLADA FRÍA – COLADA CALIENTE*. <https://todoenpolimeros.com/2017/03/15/colada-fria-colada-caliente/#:~:text=Una%20colada%20fr%C3%ADa%20es%20toda,de%20enfriar%20o%20solidificar%20la>
- Torres García, L. G. (2016). *Simulación de defectos en piezas obtenidas en moldes de inyección de plásticos*. Biblioteca Digital UNAM. <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/7174/Torres%20Garcia%2C%20Luis%20G..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ultimaker, (2017, mayo) *Ficha de datos técnicos PLA*. <https://docs.rs-online.com/7ade/0900766b81698006.pdf>
- Universidad de Málaga. (2007, octubre). *Manipulación manual de cargas: Factores de riesgo que están presentes y forma de prevenir los riesgos asociados*. <https://www.uma.es/publicadores/prevencion/wwwuma/FACTORESPRESENTESENLAMANIPULACIONMANUALDECARGAS.pdf>

- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). (s. f.). *Lineamientos COVID-19. Sitio de la Dirección General de Personal*. Recuperado 4 de agosto de 2021, de <https://www.personal.unam.mx/dgpe/lineamientos-covid.action>
- Universidad Politécnica de Madrid, & Palomo Cano, M. (2017, junio). AISLANTES TÉRMICOS. CRITERIOS DE SELECCIÓN POR REQUISITOS ENERGÉTICOS (TFG). Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. http://oa.upm.es/47071/1/TFG_Palomo_Cano_Marta.pdf