



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA:**

**“DISEÑO DE UN MOLDE PERMANENTE DE INYECCIÓN DE  
PLÁSTICO PARA LA PRODUCCIÓN DE LA CARCASA DE UN  
INCINERADOR ELÉCTRICO PORTÁTIL DE AGUJAS  
HIPODÉRMICAS”**

**AUTOR:** Randy Shoell Ruiz Mendez

**DIRECTOR:** Ing. Fernando Vinicio Valencia Aguirre Msc.

**Ibarra, 2022**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**  
**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN**  
**A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DEL CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1050354594		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	RUIZ MENDEZ RANDY SHOELL		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Calle Sucre y Segundo Luis Moreno		
<b>EMAIL:</b>	rsruizm@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	2916 238	<b>TELÉFONO O MOVIL:</b>	0991241720

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	Molde permanente de inyección de plástico para la producción de la carcasa de un incinerador eléctrico portátil de agujas hipodérmicas
<b>AUTOR (ES):</b>	Randy Shoell Ruiz Mendez
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	16/10/2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	Pregrado
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	<b>Ingeniero en Mecatrónica.</b>
<b>ASESOR/DIRECTOR:</b>	Ing. Fernando Valencia.

## 1. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 11 días del mes de Noviembre del 2022

**EL AUTOR:**



Randy Shoell Ruiz Mendez

Cedula: 1050354594



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica, con el tema DISEÑO DEL MOLDE DE LA CARCASA DE UN INCINERADOR ELÉCTRICO PORTÁTIL DE AGUJAS HIPODÉRMICAS, fue desarrollado por el Sr. Randy Shoell Ruiz Méndez, bajo mi dirección.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Fernando Valencia Aguirre", is written over a horizontal dotted line.

Ing. Fernando Vinicio Valencia Aguirre  
DIRECTOR

## **AGRADECIMIENTO**

Primero quiero agradecer a Dios padre por darme la fuerza y sabiduría que día a día me ayudan a cumplir mis metas y sueños a lo largo de mi vida. A mis padres que con su ejemplo de perseverancia, bondad y dedicación han sido mi motor de impulso para seguir adelante frente a las adversidades de la vida. A mis hermanos por brindarme su apoyo y amor incondicional en todo momento.

En especial quiero agradecer a la Empresa Salux por ser los impulsores de este trabajo de investigación, quienes me brindaron su apoyo y me guiaron a lo largo de este proceso demostrando su compromiso y entrega con los nuevos jóvenes profesionales y con su institución.

Agradezco a todos mis docentes que impartieron su conocimiento y experiencias en cada uno de los semestres cursados y en especial a mi tutor y cotutores de tesis, Ingeniero Fernando Valencia, Ingeniero David Ojeda e Ingeniera Brizeida Gámez, quienes me brindaron su apoyo incondicional y entrega para llegar a cumplir este objetivo.

Gracias infinitas a todos mis compañeros con quienes compartí vivencias y experiencias únicas a diario que jamás se borrarán de mi mente y quedarán guardados siempre en mi corazón.

## DEDICATORIA

Este trabajo de titulación va dedicado a mis padres y hermanos ya que todo honor y gloria son gracias a ellos que siempre me han apoyado para seguir adelante y quienes estarán para mí en cada etapa de la vida brindándome su amor incondicionalmente, y también de manera especial a los Ingenieros David Ojeda, Iván Iglesias y el Doctor Marco Jaramillo, que a más de ser mis docentes fueron mis amigos a lo largo de mi vida universitaria y me enseñaron valores de perseverancia, dedicación y bondad, valores que practicare a diario en mi vida profesional y como persona.

## RESUMEN

El alto costo en la producción de moldes seriales para procesos de inyección motivó a realizar este proyecto de diseño del molde de la carcasa de un incinerador eléctrico portátil de agujas hipodérmicas apoyándose en herramientas de modelado CAD, así como de simulación CFD y CAD/CAM. El proyecto inicia mediante la aplicación de ingeniería inversa con la finalidad de obtener la geometría de las partes de la carcasa del incinerador para posteriormente con ayuda de software de modelado 3D SolidWorks obtener sus dimensiones con la finalidad de obtener los moldes y contra moldes respectivos. Con la versión digital de estos elementos se procede a utilizar la suite SolidWorks CAM para obtener el código G que permita la correcta manufactura de los moldes de inyección mediante un proceso de mecanizado CNC. Finalmente, se traslada estos modelos tridimensionales hasta la suite SolidWorks Plastics para realizar el proceso de simulación de inyección de polímero verificando que el producto final cumpla con los parámetros necesarios para pasar como un producto de calidad. Con las simulaciones se ha logrado encontrar, analizar y verificar los puntos críticos de las propiedades del fluido de trabajo cuando este se encuentra dentro de la cavidad del molde. Así mismo, este proceso de simulación permite realizar una correcta obtención del código G al corregir posibles fallas en la simulación del mecanizado. Se recomienda trabajar con un espesor constante para cada elemento de la carcasa con el fin de evitar posibles fracturas o daños ocasionados por golpes.

## SUMMARY

The high cost in the production of serial molds for injection processes motivated to carry out this design project for the housing mold of a portable electric incinerator for hypodermic needles, based on CAD modeling tools, as well as CFD and CAD/CAM simulation. The project begins through the application of reverse engineering in order to obtain the geometry of the parts of the incinerator casing and later, with the help of SolidWorks 3D modeling software, obtain its dimensions in order to obtain the respective molds and counter-molds. With the digital version of these elements, the SolidWorks CAM suite is used to obtain the G code that allows the correct manufacture of the injection molds through a CNC machining process. Finally, these three-dimensional models are transferred to the SolidWorks Plastics suite to carry out the polymer injection simulation process, verifying that the final product meets the necessary parameters to pass as a quality product. With the simulations it has been possible to find, analyze and verify the critical points of the properties of the working fluid when it is inside the mold cavity. Likewise, this simulation process allows a correct obtaining of the G code by correcting possible faults in the machining simulation. It is recommended to work with a constant thickness for each element of the casing in order to avoid possible fractures or damage caused by impacts.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
EL PROBLEMA	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivos Específicos	3
1.3. Justificación	3
1.4. Alcance	3
CAPÍTULO II	5
MARCO REFERENCIAL	5
2.1. Antecedentes	5
2.2. Marco teórico	6
2.2.1. Polímeros	6
2.2.2. Proceso de inyección	11
2.2.3. Moldes	14
3.1.1. Análisis de convergencia	28
3.1.2. Post-procesamiento	29
3.1.3. Código G	30
CAPÍTULO III	31
METODOLOGÍA	31
3.2. Modelo de investigación	31
3.3. Diseño de la investigación	31
3.3.1. Fase 1: Procesos y parámetros de inyección de plástico	32
3.3.2. Fase 2: Diseño de los moldes	32

	X
3.3.3 Fase 3: Simulación de los moldes	33
3.3.4 Fase 4: Pruebas de funcionamiento	33
CAPÍTULO IV	34
RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	34
4.1 Procesos para la elaboración del molde de inyección	34
4.2 Parámetros de temperatura y enfriamiento	35
4.3 Selección del material	36
4.4 Diseño del molde de inyección	38
4.4.1 Extracción de la geometría de la carcasa.	41
4.4.2 Extracción del código G de los moldes	41
4.5 Descripción de los componentes de los moldes	45
4.6 Simulación del proceso de inyección	48
4.6.1 Pruebas de inyección	53
4.7 Análisis de convergencia de los moldes	62
4.7.1 Análisis numérico del molde de la tapa superior	62
4.7.2 Análisis numérico del molde de la base	66
4.7.3 Análisis numérico del molde del portaagujas	69
4.7.4 Análisis del factor de seguridad	72
4.8 Análisis de costos	73
4.9 Prototipado de moldes en impresión 3D	77
CAPÍTULO V	80
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
5.1 CONCLUSIONES	80
5.2 RECOMENDACIONES	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Composición química - Polyethylene terephthalate (PET) [12].....	7
Figura 2.2. Estructura molecular química – Polypropylene [13].....	8
Figura 2.3. Estructura molecular – Polystyrene (PS) [16].....	9
Figura 2.4. Estructura molecular – Expanded Polystyrene (EPS) [18].....	9
Figura 2.5. Reacción molecular – Polyvinyl chloride (PVC) [20] .....	10
Figura 2.6. Reacción molecular – Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) [17].....	11
Figura 2.7. Máquina de fundición de presión en cámara fría y sus unidades [25] .....	12
Figura 2.8 Diagrama de una inyectora de polímeros [25] .....	13
Figura 2.9. Molde de inyección con deslizador para sobre moldeo [26].....	15
Figura 2.10. Proceso de fundido para moldes permanentes. (a) Molde de inyección abierto (b) Molde de inyección cerrado (c) Abastecimiento de fluido (d) Apertura del molde (e) Extracción de la pieza inyectada [27] .....	16
Figura 2.11. Puesta en escena de prototipo de molde de inyección. (a) Matriz abierta (b) Matriz cerrada [29] .....	17
Figura 2.12. Serie de piezas [30] .....	18
Figura 2.13. Efectos de la temperatura de precalentamiento en el molde [25].....	23
Figura 2.14. Proceso de identificación de elementos para MFA [32] .....	25
Figura 2.15. Nodos y elementos finitos de una malla [29] .....	26
Figura 2.16. Simulación CFD de SolidWorks Plastics con moldes de inyección [32].....	28
Figura 2.17. Programación CAM de una pieza en SolidWorks [33].....	29
Figura 4.1. Proceso de obtención del molde de inyección a partir del uso de ingeniería inversa basado en un modelo digital 3D.....	34
Figura 4.2. Forma de la materia prima previo al mecanizado por CNC.....	38
Figura 4.3. Cubierta superior del incinerador .....	39
Figura 4.4. Base del incinerador .....	40
Figura 4.5. Porta agujas de desecho.....	40
Figura 4.6. Proceso de obtención del código G mediante SolidCAM.....	41
Figura 4.7. Etapa 1 de los pasos requeridos para obtener el código G [37].....	42
Figura 4.8. Etapa 2 de los pasos requeridos para obtener el código G [37].....	43
Figura 4.9. Moldes para la cubierta superior. a) Molde b) Contra molde.....	44
Figura 4.10. Moldes para la base de la carcasa. a) Molde b) Contra molde .....	45
Figura 4.11. Moldes para el portaagujas de la carcasa. a) Molde b) Contra molde.....	45
Figura 4.12. Vista explosionada del sistema de sujeción del molde de la base .....	46
Figura 4.13. Vista explosionada del sistema de sujeción del molde de la cubierta .....	47
Figura 4.14. Vista explosionada del sistema de sujeción del molde del portaagujas .....	48
Figura 4.15. Árbol de configuraciones para la simulación en Plastics .....	50
Figura 4.16. Asignación de malla sobre el molde.....	51
Figura 4.17. Apariencia de la malla del molde y cavidad de la cubierta superior .....	51
Figura 4.18. Mallado de tipo tetraédrico sobre el molde y la cavidad de la cubierta superior .....	52
Figura 4.19. Simulación del tiempo de llenado del molde de la tapa superior en SolidWorks Plastics .....	53

Figura 4.20. Simulación de las presiones internas del molde de la tapa superior en SolidWorks Plastics .....	54
Figura 4.21. Simulación de las temperaturas internas de la tapa superior en SolidWorks Plastics .....	54
Figura 4.22. Simulación del tiempo de llenado del molde del portaagujas en SolidWorks Plastics .....	55
Figura 4.23. Simulación de las presiones internas en el molde del portaagujas en SolidWorks Plastics .....	56
Figura 4.24. Simulación de las temperaturas internas del molde del portaagujas en SolidWorks Plastics .....	57
Figura 4.25. Tiempo de llenado del molde de la base del incinerador .....	58
Figura 4.26. Presión de llenado del molde de la base del incinerador al final de la inyección ....	59
Figura 4.27. Temperatura central frente al flujo de la base del incinerador .....	59
Figura 4.28. Presión en el molde al final del empaquetado de la base del incinerador .....	60
Figura 4.29. Zonas de desplazamiento de material en la cavidad del molde de la base del incinerador .....	61
Figura 4.30. Esfuerzo máximo de von Mises cavidad de tapa.....	63
Figura 4.31. Análisis de convergencia de cavidad de tapa .....	64
Figura 4.32. Esfuerzo máximo de von Mises núcleo de la tapa .....	64
Figura 4.33. Análisis de convergencia del núcleo de la tapa .....	65
Figura 4.34. Esfuerzo máximo de von Mises cavidad de la base .....	66
Figura 4.35. Análisis de convergencia de cavidad de la base .....	67
Figura 4.36. Esfuerzo máximo de von Mises núcleo de la base .....	67
Figura 4.37. Análisis de convergencia del núcleo de la base.....	68
Figura 4.38. Esfuerzo máximo de von Mises cavidad del portaagujas.....	69
Figura 4.39. Análisis de convergencia de cavidad del portaagujas .....	70
Figura 4.40. Esfuerzo máximo de von Mises núcleo del portaagujas .....	70
Figura 4.41. Análisis de convergencia del núcleo del portaagujas .....	71
Figura 4.42. Prototipado del molde de la tapa superior. a) Núcleo b) Cavidad.....	77
Figura 4.43. Prototipado del molde de la base. a) Núcleo b) Cavidad .....	78
Figura 4.44. Prototipado del molde del portaagujas. a) Núcleo b) Cavidad.....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Familia de polímeros [9].....	7
Tabla 2.2 Características de polímeros .....	11
Tabla 2.3. Medidas de referencia para ángulo de desmoldeo para modelo [31] .....	20
Tabla 2.4. Aspectos de manufactura base de estudio para aleaciones [31] .....	21
Tabla 4.1. Propiedades mecánicas del acero y aluminio [36].....	36
Tabla 4.2. Dimensiones de la materia prima.....	38
Tabla 4.3. Líneas de código obtenidos para el mecanizado de cada elemento .....	43
Tabla 4.4. Parámetros de inyección de los polímeros seleccionados .....	49
Tabla 4.5. Datos de operación de la máquina inyectora [38].....	52
Tabla 4.6. Parámetros de llenado del molde de la tapa superior del incinerador .....	55
Tabla 4.7. Parámetros de llenado del molde del portaagujas del incinerador.....	57
Tabla 4.8. Parámetros de llenado del molde de la base del incinerador .....	61
Tabla 4.9. Análisis de convergencia de la cavidad del molde de la tapa superior.....	63
Tabla 4.10. Análisis de convergencia del núcleo de la tapa superior .....	65
Tabla 4.11. Análisis de convergencia de la cavidad de la base del incinerador .....	66
Tabla 4.12. Análisis de convergencia del núcleo de la base del incinerador.....	68
Tabla 4.13. Análisis de convergencia de la cavidad del portaagujas.....	69
Tabla 4.14. Análisis de convergencia del núcleo del portaagujas .....	71
Tabla 4.15. Factor de seguridad de los moldes.....	72
Tabla 4.16. Inversión de la materia prima .....	73
Tabla 4.17. Inversión del modelado en 3D .....	73
Tabla 4.18. Inversión de manufactura del molde de la cubierta superior de la carcasa.....	74
Tabla 4.19. Inversión de manufactura del molde de la base de incinerador .....	74
Tabla 4.20. Inversión de manufactura del molde del portaagujas .....	75
Tabla 4.21. Inversión de la manufactura de los moldes.....	75
Tabla 4.22. Inversión en el montaje de los moldes.....	75
Tabla 4.23. Inversión de la fabricación de los moldes.....	76
Tabla 4.24. Inversión de prototipado en impresión 3D .....	76

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

En este apartado se considera revisar la situación actual de la empresa para identificar el problema de mejor manera enfocando así los objetivos de esta investigación en la obtención de una solución práctica aplicando el diseño industrial.

### **1.1. Planteamiento del problema**

La tecnología ha evolucionado en el campo de la manufactura de productos de manera que ha generado grandes cambios y avances en la solución de las necesidades de los seres humanos permitiendo una mejora en su estilo y calidad de vida. A su vez esto ha permitido el impulso en la creación de nuevas industrias y actualización tecnológica de las ya existentes tal como la industria carrocería, alimenticia, salud, computación entre otras [1].

En Ecuador, la industria manufacturera se encuentra en proceso de auge notando un crecimiento exponencial en los últimos tiempos. Este crecimiento va de la mano entre la pequeña, mediana y gran industria. Sin embargo, al ser un área en crecimiento esta presenta dificultades, especialmente en la pequeña industria dado que no cuenta con el capital necesario para la adquisición y modernización de sus equipos tecnológicos y de producción. Esto se percibe con más claridad en la industria de la salud, puesto que la manufactura de equipos médicos es escasa. Hasta septiembre de 2020 las cifras indican un 0.266% de un crecimiento total del 11.04% [2].

Como punto adicional se puede mencionar que la pandemia de COVID – 19 ocasionó un aumento sustancial en la generación de desechos sanitarios en casas de salud, esto especialmente por el uso de agujas e inyecciones empleadas en distintos tratamientos convirtiéndose en un

problema real puesto que estos desechos deben ser tratados correctamente para someterse a un proceso de eliminación [3].

El no tratar estos desechos de una manera adecuada puede incurrir en la propagación de enfermedades infecciosas altamente contagiosas razón por la cual una de las alternativas de eliminación de este material es su incineración eliminando así los riesgos existentes. [4].

Bajo este contexto, la empresa SALUX actualmente cuenta con los recursos necesarios para realizar procesos de manufactura de productos enfocados al sector salud. Entre uno de sus estudios recientes se encuentra el diseño integral de un equipo incinerador de agujas hipodérmicas, mismo que facilita la destrucción de las agujas de jeringas una vez que estas hayan sido utilizadas. El problema cae sobre el alto costo que tiene elaborar la carcasa de este equipo, alcanzando un valor aproximado de USD 36 mediante impresión 3D. Esto conlleva a buscar nuevas alternativas para la construcción de esta carcasa como lo es el empleo de moldes de inyección que reducirían su costo de producción hasta en un 90% (USD 3.5 como valor final), adicionalmente se utilizaría mano de obra local, lo que genera un mayor ahorro.

Analizando estas razones el problema de la investigación se centra en la falta de alternativas de diseño, construcción y producción que no ha permitido que la empresa genere mayor cantidad de carcasas para incineradores de agujas hipodérmicas a un costo más bajo.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Diseñar un molde de inyección de plástico para la producción de la carcasa de un incinerador eléctrico portátil de agujas hipodérmicas.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Definir el proceso y los parámetros de inyección de plástico para producción de la carcasa.
- Diseñar el molde a partir de los parámetros principales y estrategias de mecanizado.
- Simular los procesos de fabricación e inyección.
- Validar el molde de inyección de plástico.

### **1.3. Justificación**

Una buena técnica de manufactura implica una correcta planificación y aplicación del proceso, desde la correcta selección de la máquina inyectora, adecuada selección de los moldes y materiales a utilizar, esto con la finalidad de obtener un producto de alta calidad, bajo costo, competitivo en el mercado nacional y sobre todo cuidando que no estos productos no sean contaminantes dado que su objetivo principal es emplearlos en casas de salud y hospitales.

Adicionalmente con el uso de este equipo incinerador eléctrico portátil, se facilita el proceso de eliminación de desechos médicos filosos como es el caso de las agujas hipodérmicas disminuyendo así la probabilidad de la propagación de enfermedades y contaminación ambiental al no desechar las agujas adecuadamente.

### **1.4. Alcance**

El alcance del proyecto es el diseñar un conjunto de 3 moldes para inyección de polímero que permita producir la carcasa de un incinerador eléctrico de agujas hipodérmicas determinando los parámetros principales de geometría, volumen, temperatura de trabajo del equipo, selección de materiales, flujo de salida de la inyectora y demás condiciones de frontera que permitan elegir la mejor alternativa para el diseño de los moldes obteniendo los resultados finales esperados.

Además, con la ayuda de software informático como SolidWorks Plastics, se realiza la simulación del comportamiento del fluido dentro del molde de inyección con la finalidad de conocer la variación de ciertos parámetros como la temperatura, trayectoria de flujo, presión. Con ello se logra validar el diseño del molde y realizar los respectivos planos de construcción.

## CAPÍTULO II

### MARCO REFERENCIAL

En este apartado se estudian los aspectos referenciales teóricos de la investigación que permitan conocer el estado del arte de proyectos previos aportando con datos verificados al contenido generado en este proyecto.

#### 2.1. Antecedentes

El moldeo por inyección y su uso a nivel general en la producción de plásticos utilizando diferentes técnicas de moldeo. Esto permite tener un mejor conocimiento sobre el proceso de inyección permitiendo que la empresa SALUX optimice sus tiempos y costos de producción obteniendo los resultados esperados [5].

El diseño de un molde y su construcción mediante el empleo de máquinas herramientas como proceso de manufactura haciendo énfasis en la correcta selección de las herramientas a utilizar como también las velocidades de corte y acabados superficiales correspondientes. Esta información permitirá obtener un molde con mejores acabados y apariencia, lo que conlleva a obtener un producto final con mejor apariencia estética [6].

Es necesario establecer lineamientos de control de temperatura del molde de acero y el plástico de inyección. Adicionalmente establecer tiempos basados en la transferencia del calor del plástico hacia el molde. Información que resultará útil al momento de iniciar el proceso de diseño de molde para la carcasa [7].

Se realiza un proceso de ingeniería inversa para obtener los modelos 3D de los elementos que conforman el incinerador de agujas hipodérmicas y con ello poder obtener información del código

G de mecanizado, así como análisis por simulación que permitan conocer datos precisos del comportamiento del fluido cuando este sea inyectado al interior de la cavidad del molde.

En este trabajo se realiza la obtención del código G con el que se puede mecanizar los moldes de inyección de las partes del incinerador lo cual permite una fabricación en serie del producto.

## **2.2. Marco teórico**

En esta sección se establecen las propiedades mecánicas de los materiales, características de los moldes de inyección, cálculos previos para su diseño y parámetros de simulación de inyección de polímeros. Fundamentos que representan un aporte para el desarrollo de este proyecto.

### **2.2.1. Polímeros**

Los polímeros son materiales conformados por la unión de moléculas llamados monómeros, mediante enlaces covalentes, por procesos de polimerización. La gran mayoría de los polímeros son de origen sintéticos fabricados a partir de petróleo o gas natural, mediante procesos industriales, existen polímeros naturales, sin embargo, estos materiales tardan muchos siglos en degradarse; actualmente, se han desarrollado biopolímeros a partir de distintos componentes y principios, estos son considerados biodegradables; a nivel comercial el mercado los divide en PET, PP, PS, PVC [8] y EPS [9] con diferentes aplicaciones en la industria, por lo gracias a sus características y propiedades mecánicas, su relación resistencia-peso, adaptándose a las necesidades del consumidor. Otro aspecto fundamental es que estos materiales presentan propiedades estructurales, electrónicas y químicas siendo la mejor opción para distintas aplicaciones [10]. Estas propiedades varían según la metodología utilizada para su obtención. Otro aspecto fundamental para mencionar son las propiedades estructurales, electrónicas y químicas que poseen estos materiales según su uso [10]. Estas propiedades varían según la metodología

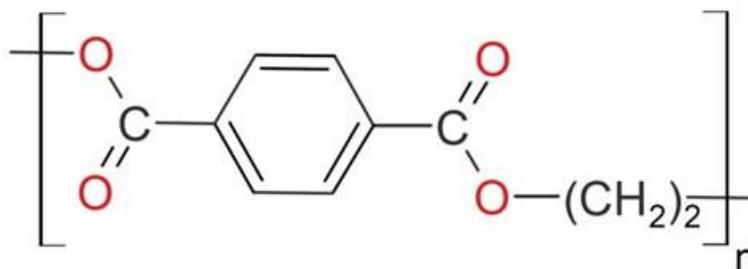
utilizada para su obtención. Los materiales más conocidos y utilizados en el proceso de inyección se mencionan en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1. Familia de polímeros [9]**

Polímero	Abreviatura	Producto industrial	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Tereftalato de polietileno.	PET	Botella de agua	1,29-1,40
Polipropileno.	PP	Envase plástico	0,89-0,91
Poliestireno.	PS	Cuchara	1,04-1,08
Poliestireno Expandido.	EPS	Embalaje de espuma de poliestireno	0,015-0,03
Cloruro de polivinilo.	PVC	Tubería	1,30-1,50
Acrilonitrilo butadieno estireno	ABS	Tubería e instrumentos	0,9-1,53

### **PET**

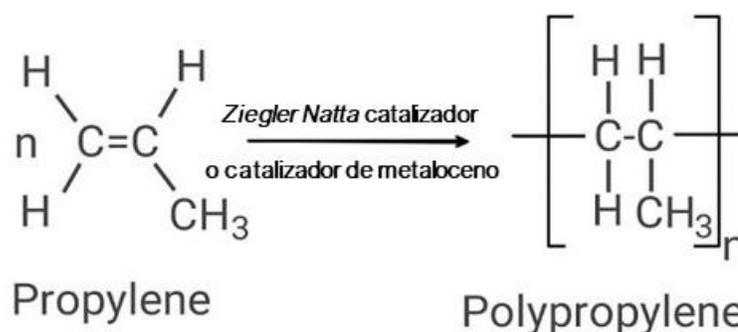
Constituye casi el 18 % de la producción mundial de polímeros, siendo utilizado en gran número en envases plásticos; Hoy en día, los materiales de desecho de PET se utilizan en otras industrias, como: construcción (hormigón, asfalto) [11] empresa textil y producción de fibras abrasivas. Este material plástico es usado también en la fabricación de distintas prendas de vestir, convirtiéndose en sustituto del hilo (lana) de algodón, por su cristalinidad y transparencia. La cadena molecular del PET se muestra en la Figura 2.1 **Composición química - Polyethylene terephthalate (PET)** [12]



**Figura 2.1 Composición química - Polyethylene terephthalate (PET) [12]**

**PP**

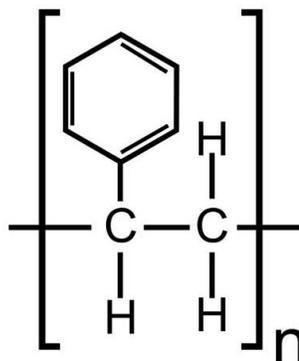
Las fibras de polipropileno (PP) se han utilizado ampliamente en estructuras de hormigón para mejorar sus propiedades y durabilidad. Las fibras del PP se pueden dividir en microfibras del PP y macrofibras del PP. La superioridad de las microfibras del PP con respecto al control de grietas por contracción y el rendimiento de durabilidad fueron ampliamente reportadas [12]. Además, por su baja densidad este incide de cierta manera en su bajo costo. La Figura 2.2 representa la estructura molecular química del Propileno (monómero) y la obtención del polipropileno a partir de gas propileno en presencia de un catalizador.



**Figura 2.2. Estructura molecular química – Polypropylene [13]**

**PS**

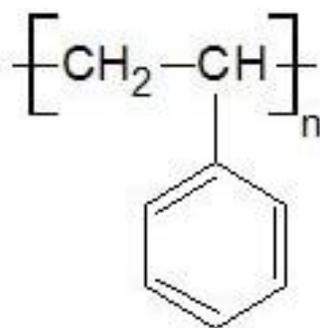
Uno de los plásticos más utilizados es el poliestireno (PS), producto de la polimerización de monómeros de estireno. El PS es un polímero aromático formado como resultado de la polimerización de monómeros de estireno. El estireno (vinil benceno) se produce a partir de etileno y benceno. La producción masiva de PS se lleva a cabo mediante la deshidrogenación catalítica del etilbenceno que, en la industria de los polímeros, normalmente no supera las 20 ppm [14], por tal este es un material versátil para la elaboración de variedad de plástico hasta electrodomésticos. La Figura 2.3 muestra la estructura molecular del Poliestireno.



**Figura 2.3. Estructura molecular – Polystyrene (PS) [16]**

### ***EPS***

Es conocido como un material ligero y respetuoso con el medio ambiente con propiedades adecuadas para la absorción de energía que se fabrica mediante la sustitución parcial o total de los materiales de piedra natural con granos artificiales no absorbentes. En los últimos años, dependiendo de los requisitos de densidad y resistencia del concreto [15] en cuanto al concreto EPS se usa ampliamente en diferentes elementos estructurales, dado su formación química relacionado con el poliestireno. En la Figura 2.4 se muestra la cadena molecular del Poliestireno expandido.

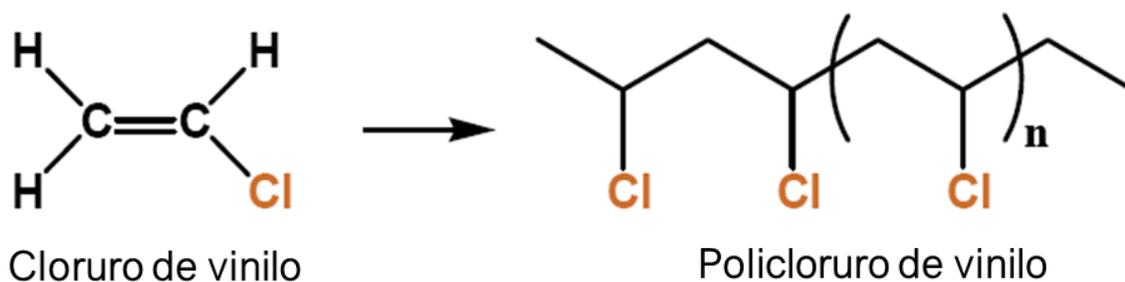


**Figura 2.4. Estructura molecular – Expanded Polystyrene (EPS) [18]**

## PVC

El PVC se ha convertido en un material importante debido a su bajo costo de fabricación, elasticidad, peso ligero y resistencia a la corrosión; plástico sintético [16] materia prima más producido en el mundo por su producto más demandada la tubería. Otros productos se pueden mencionar a: pavimentos de interiores y exteriores, puertas, mangueras.

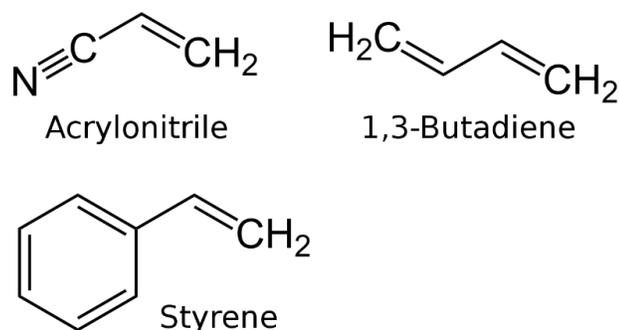
Es necesario particularizar que PP, PS y PET son materiales que se han usado mayormente dentro del medio. La Figura 2.5 muestra la obtención del Policloruro de vinilo a partir del Cloruro de vinilo.



**Figura 2.5. Reacción molecular – Polyvinyl chloride (PVC) [20]**

## ABS

Material termoplástico amorfo de alta capacidad de procesamiento formado a partir de la polimerización de monómero en dos fases, fase continua (estireno-acro nitrilo) y una fase dispersa (caucho de polibutadieno), su composición química es  $(C_8H_8 C_4H_6 C_3H_3N)_n$  [20]. La Figura 2.6 muestra la reacción molecular para obtención del Acrilonitrilo butadieno estireno.



**Figura 2.6. Reacción molecular – Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) [17]**

### *Propiedades de los polímeros*

Los polímeros poseen una relación entre su resistencia y su alta densidad que los caracteriza, son materiales con excelentes propiedades de aislamiento térmico, eléctrico y acústico, presentan una buena resistencia a agentes químicos (ácidos, álcalis y disolventes). Los polímeros más usados y sus propiedades se describen en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2 Características de polímeros**

Polímero	Carga rotura (MPa)	Temperatura de fusión (°C)	Viscosidad	Propiedades
PET	55 – 72	225	0,75-0,9	Resistencia abrasión - desgaste.
PP	25 - 40	160	1,0 – 1,2	Resistencia química y al ambiente.
PS	22 - 55	270	1,0	Resistencia química.
EPS	25 – 41	217	1,7 – 2,0	Estabilidad dimensional y térmica.
PVC	34 - 62	250	2,0	Resistente al ataque de organismos.
ABS	32 - 45	200	1,3 – 1,5	Resistencia a impactos.

### **2.2.2. Proceso de inyección**

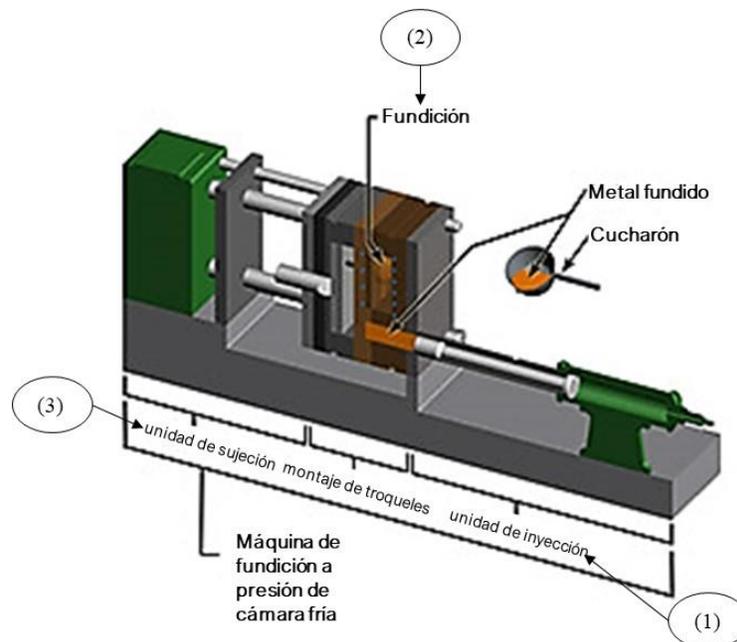
Proceso semicontinuo empleado para el moldeo de elementos y piezas fabricadas en polímeros, el cual se lleva a cabo al inyectar a presión el material fundido (polímeros termoestables o termoplásticos) en un molde cerrado, la presión permanece constante hasta que el material se solidifica y se retira de la máquina.

### *Inyectora de plástico*

Es una máquina hidráulica integrada y mecanizada que permite obtener un molde en base a tres unidades principales: (1) unidad de inyección, (2) molde y (3) unidad de cierre [17]. El moldeo por inyección es un proceso de fabricación que transforma material plastificado en componentes o piezas.

Estas piezas mecanizadas lo más cercanas a una base (denominada molde) preestablecido. Se puede decir entonces que la precisión del molde es su mejor característica al entregar una pieza de calidad a lo que se debe su alto valor económico y comercial.

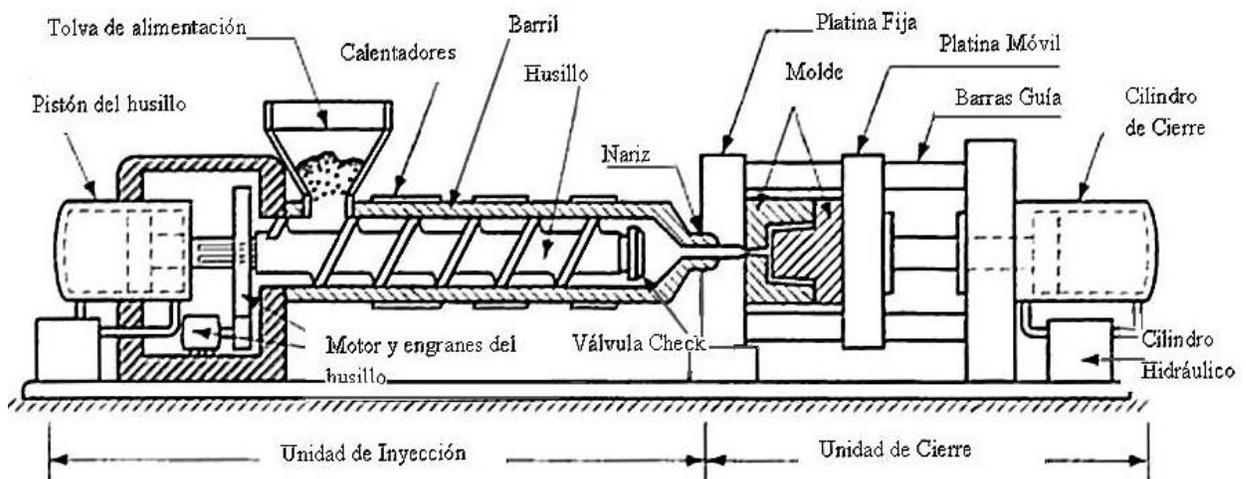
Se pueden evidenciar los elementos básicos de toda inyectora de plástico en la Figura 2.7. Cabe destacar la importancia de una adecuada dosificación de polímero y resina dentro del molde para obtener un producto final que cumpla con los parámetros y estándares de producción deseados.



**Figura 2.7. Máquina de fundición de presión en cámara fría y sus unidades [25]**

En la Figura 2.8 se observa las principales partes de una inyectora de plástico, entre sus componentes principales se pueden señalar los siguientes:

- La unidad de cierre
- La unidad de inyección
- La unidad de potencia
- La unidad de control



**Figura 2.8 Diagrama de una inyectora de polímeros [25]**

### *Unidad de cierre*

Prensa conformada por dos placas, una móvil y una fija donde se colocan las partes del molde y el sistema de expulsión del elemento. Es fundamental establecer los parámetros de cierre, la distancia entre moldes, distancia de apertura.

### *Unidad de inyección [25]*

Mezcla el material en la tolva, funde e inyecta el polímero, a través de distintos tipos de husillos (tornillos) de acuerdo con las características del material utilizado. En esta unidad se establecen los parámetros de accionamiento (temperaturas, avance y velocidad).

#### *Unidad de potencia [25]*

Esta unidad está encargada de suministrar la potencia para el accionamiento de las unidades de inyección y cierre, existen varios sistemas de potencia, sin embargo, se destacan los siguientes:

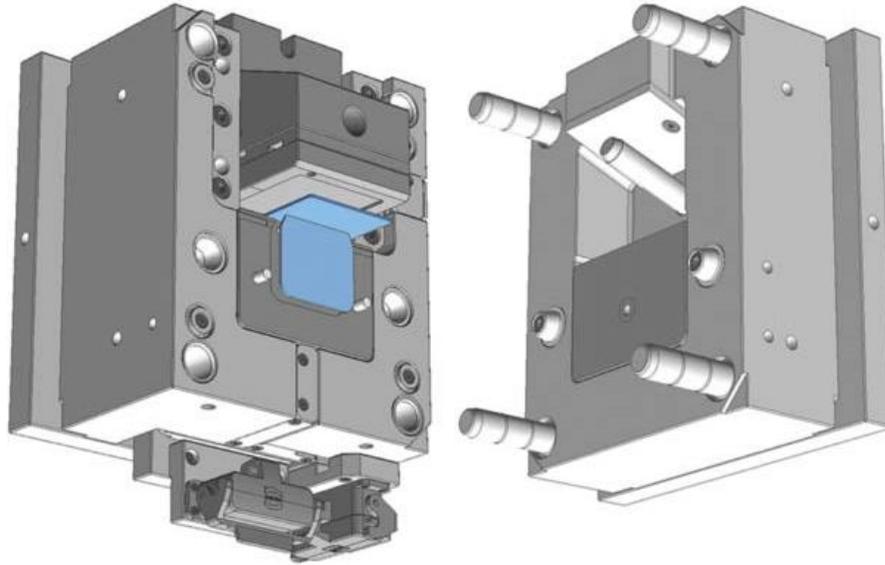
- Eléctrico, este tipo de sistemas se emplea en máquinas pequeñas.
- Hidráulico: permite controlar de mejor manera la variación de velocidades y volumen; trabaja con presiones altas (70 a 140 kg/cm<sup>2</sup>).

#### *Unidad de control [25].*

Esta unidad está compuesta por la parte electrónica, controladores PLC y PID de las resistencias eléctricas del tambor (barril) y la boquilla. El controlador PLC se encarga de las secuencias programadas del ciclo, señales de alarma (sobrepresión, final de carrera, fin de ciclo o parada de emergencia). Las temperaturas se controlan mediante PID, las características de estos controladores aseguran los niveles de temperatura requeridos durante el proceso.

### **2.2.3. Moldes**

Es un contenedor sólido que da forma al producto deseado, su geometría varía en función a la forma estructural del elemento y está formado por dos partes fundamentales conocidas como molde (elemento cóncavo) y contra molde (elemento convexo). Un ejemplo de molde se ilustra en la Figura 2.9.



**Figura 2.9. Molde de inyección con deslizador para sobre moldeo [26]**

La técnica de moldeo es un proceso que va desde la recepción de pellets de plástico (resina), almacenamiento, pre-acondicionamiento, optar por la máquina inyección requerida, selección del molde, eyección del molde, empaque y envío [18].

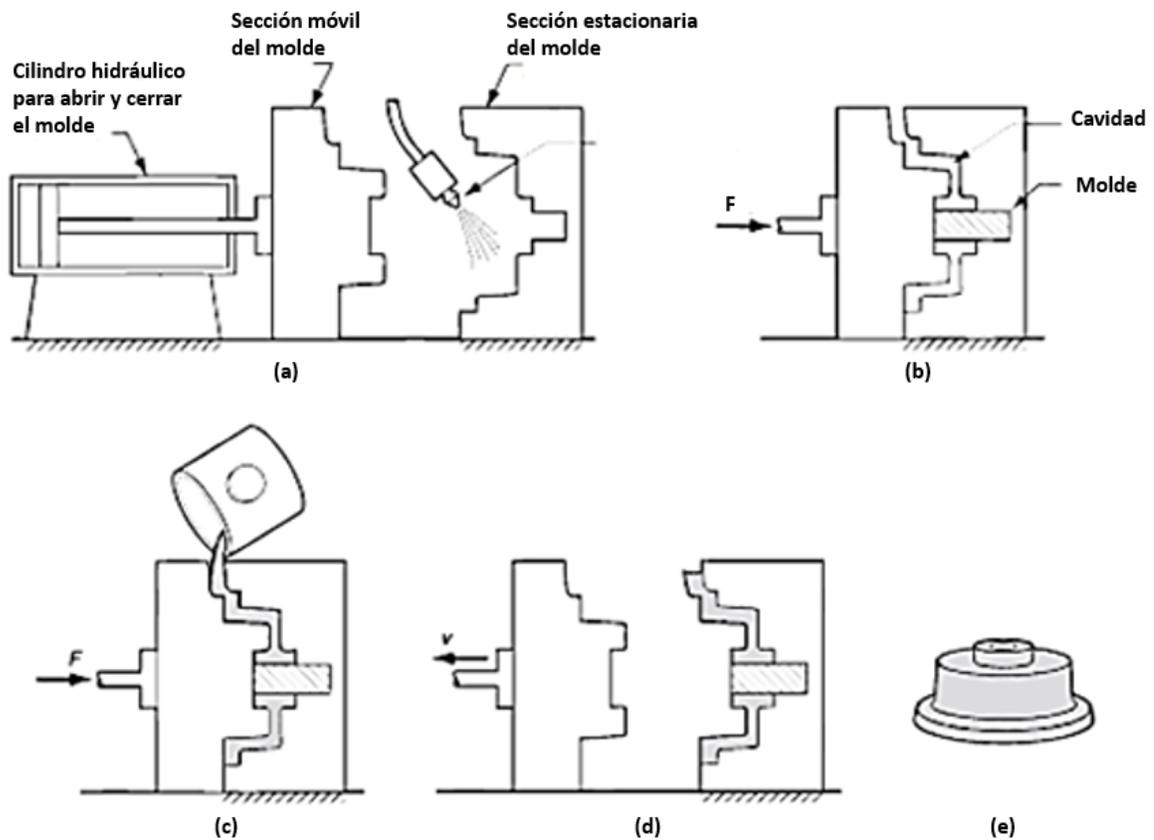
### ***Tipos de moldes***

De acuerdo con su compactación con otros materiales, esta investigación considera la revisión de moldes permanentes e inyección de moldes de plástico.

### ***Moldes permanentes***

Mecanismos contruidos generalmente en metal o hierro fundido con dos secciones para facilitar el cierre y apertura. Tiene una cavidad interna que da paso al plástico fundido [19]. En cuanto a su aplicación se utiliza generalmente para envases rígidos o semirrígidos de plástico de acuerdo con la forma mecanizada.

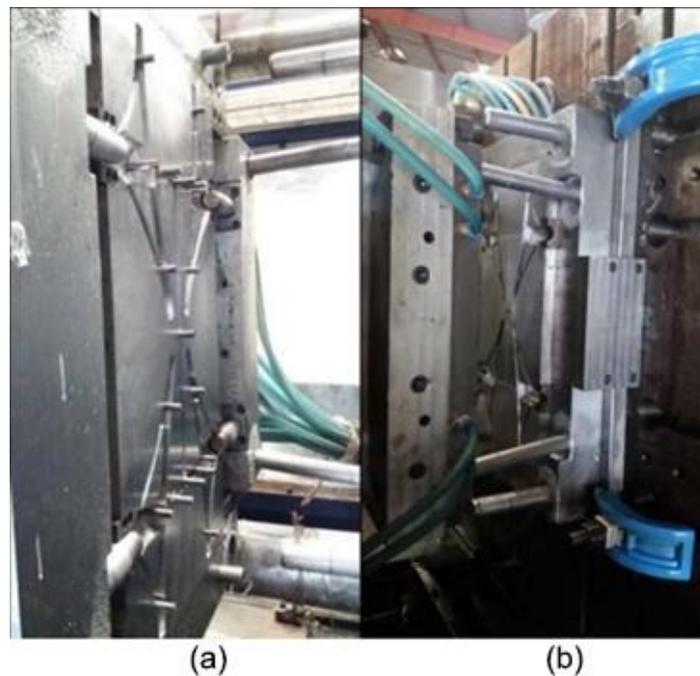
Dentro de la Figura 2.10, el apartado (a) permite observar el sistema de moldeo en donde el contra molde se encuentra conectado a un brazo hidráulico encargado de abrir y cerrar el sistema. La gráfica (b) muestra una vista en corte del molde completamente cerrado donde se puede apreciar su cavidad interna. La gráfica (c) muestra el proceso de llenado de la cámara interna del molde permitiendo que el polímero fundido ingrese al molde. La gráfica (d) permite observar la apertura del molde aplicando una fuerza externa. Esto permite retirar el elemento del interior del molde. La figura (e) muestra la pieza obtenida una vez que se la retira de la cavidad interna.



**Figura 2.10. Proceso de fundido para moldes permanentes. (a) Molde de inyección abierto (b) Molde de inyección cerrado (c) Abastecimiento de fluido (d) Apertura del molde (e) Extracción de la pieza inyectada [27]**

### *Moldes de Inyección de Plástico*

Este tipo de moldeo se realiza a través de la inyección de polímero fundido a través de una matriz como se observa en la Figura 2.11, su proceso parte de una máquina inyectora donde con ayuda de la punta de inyección ingresa al molde a una cierta temperatura, hasta lograr la temperatura de trabajo. Se realizan varios moldes evitando el mantener zonas quemadas (puntos negros) y logrando una estructura lo suficientemente firme a lo requerido.



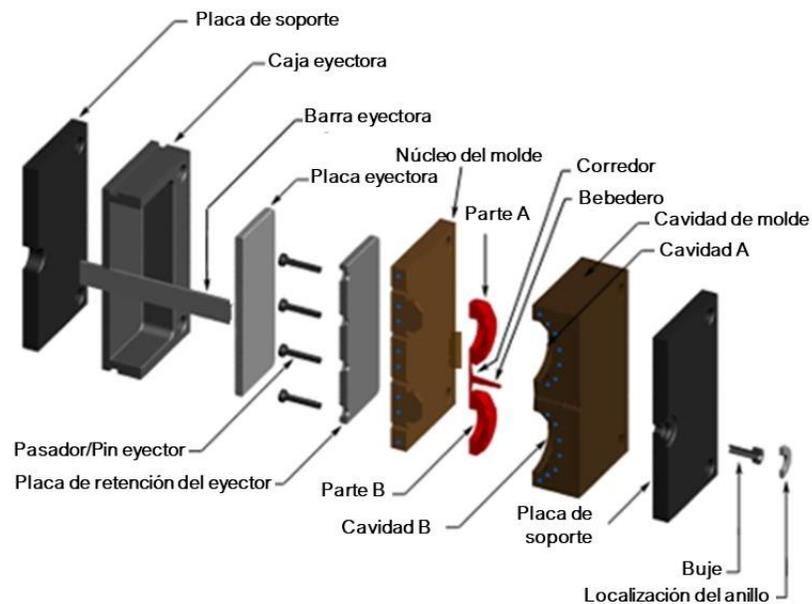
**Figura 2.11. Puesta en escena de prototipo de molde de inyección. (a) Matriz abierta (b) Matriz cerrada [29]**

El proyecto de moldeo se adapta de manera factible mediante el uso y simulación de herramientas CD/CAM/CAE específicas propios del Diseño Asistido por Computadora CAD para el proceso de fabricación por la empresa mediante prototipos que adhieren la complejidad de la inyección [20]. La integración de estas herramientas permite una simulación con resultados lo más

cercanos al proceso real, para lo cual además de admitir la pieza permite una optimización del producto.

### *Partes del molde*

Los moldes son formados en su mayoría por bloques de acero rectangular que se fijan a inyectoras para realizar inyecciones de diferentes polímeros, estos moldes cuentan con piezas para sujeción, respiradores y moldeado. Estas piezas se describen en la siguiente Figura 2.12.



**Figura 2.12. Serie de piezas [30]**

### *Buje y pasadores*

El buje y los pasadores son la guía de expulsión e inyección respectivamente. En tanto, la inyección del molde genera un ángulo de salida (ángulo de desmoldeo) con valores de 5 – 15 mm/m  $0,5 - 3^\circ$ , describiendo un valor óptimo de uso según la altura producto del desprendimiento del sentido de extracción y el propio modelo [21]. En la caja eyectora se localiza el núcleo. Proceso

de fabricación de una articulación policéntrica de rodilla, usando la metodología de diseño para la fabricación y manufactura (DFMA).

### ***Canales***

Son conductos del molde por los cuales viaja el material fundido (polímero) hacia la parte interna del molde, esto gracias a la presión ejercida por la máquina inyectora sobre el fluido.

### ***Cavidad***

Es el espacio interno comprendido entre el molde y contra molde en el cual se llenará el polímero fundido para obtener la forma final de la pieza deseada.

### ***Respiradores***

Son conductos que permiten la salida del aire contenido en la cavidad del molde a medida que el polímero fundido va ocupando espacio.

### ***Sistema de enfriamiento***

Son conductos que permiten la circulación de un fluido que tiene la función de controlar la temperatura interna del molde debido a los cambios térmicos que genera la inyección del polímero. Este sistema es fundamental para que la pieza no presente problemas de deformaciones o daños superficiales.

### ***Botadores***

Son elementos encargados de ayudar en el proceso de expulsión de la pieza para separarla del molde.

### ***Bebedero***

Es la zona que conecta la boquilla de la máquina inyectora con el molde y permite el paso del polímero fundido. Tiene por función el permitir que el flujo ingrese de manera uniforme y suave.

### ***Aro centrador***

Es un elemento que permite orientar de manera adecuada el molde manteniendo centrada la boquilla de la inyectora con el bebedero del molde de inyección. Una correcta ubicación de estos elementos evita que se produzcan fugas.

De esto depende la valoración contenida dentro del rango y altura requerida para considerar el ángulo resultante, por tanto, es una base de diseño y simulación.

Adicionalmente, de acuerdo con los aspectos de manufactura correspondientes a las aleaciones se considera para el material del molde los datos mostrados en la Tabla 2.3.

**Tabla 2.3. Medidas de referencia para ángulo de desmoldeo para modelo [31]**

<b>Altura* (mm)</b>	<b>Ángulos de salida y pendientes</b>
1 -10	3 °
11-20	2 °
21-35	1 °
36-65	0 ° 45'
66-150	0 ° 30'
151-250	1,5 mm
251-400	2,5 mm
401-600	3,5 mm
601-800	4,5 mm
801-1000	5,5 mm

*Nota.* \* Rango de altura (mínimo y máximo).

La capacidad del molde depende de la mayor resistencia que tenga, por tal incide en el costo, esta variable también se considera cuando la presión requerida es alta. En la Tabla 2.4, se muestra la capacidad que tiene cada material con respecto a la fundición, soldadura y maquinabilidad. Otra variable importante para analizar es el factor de seguridad que es el cálculo de funcionamiento real de la máquina para evitar sobrecalentamiento y daños en el molde.

**Tabla 2.4. Aspectos de manufactura base de estudio para aleaciones [31]**

<b>Aleación</b>	<b>Capacidad de fundición</b>	<b>Capacidad de soldadura</b>	<b>Maquinabilidad</b>
Aluminio	E	F	G-E
Aceros	F	E	F
Cobre	F-G	F	F-G
Fundición blanca	G	VP	VP
Fundición gris	E	D	G
Níquel	F	F	F
Zinc	E	D	E

*Nota.* Sean E = excelente; G = bueno; F = aceptable; D = difícil; VP = muy pobre [21].

### ***Control de Temperatura en el molde***

El control de la temperatura es fundamental para evitar la deformación de los elementos durante la fabricación mediante moldeo por inyección, para lo cual se emplean cámaras térmicas. Al abrir el molde, las cámaras registran las temperaturas en elemento, se puede observar las regiones donde la temperatura se excede o es muy baja, estas regiones se denominan puntos calientes o puntos fríos respectivamente, este control sirve para corregir la temperatura inicial del molde [22].

### ***Cavidad del molde***

Se denomina cavidad al espacio interno del molde de inyección en el cual el polímero a ser inyectado tomará la forma geométrica de la pieza. Es decir, una vez llenado este espacio se formarán las superficies exteriores de la pieza o elemento. Las cavidades pueden ser de tipo sencillo o múltiple. Sencillo para el caso de requerir la manufactura de una única pieza por molde y múltiples cuando el molde de inyección está diseñado para producir más de una pieza o elemento. [23].

### ***Presión de inyección***

Es la presión necesaria que debe ejercer la máquina inyectora para lograr bombear el material cubriendo toda la cavidad del molde y lograr un correcto llenado. Es importante mencionar que esta presión debe estar dentro de los parámetros de cargas tolerables por el molde, es decir esta presión de inyección no debe causar fisuras o roturas en la estructura del molde.

Para asignar esta presión es necesario tomar en cuenta parámetros como el tipo de polímero que se desea inyectar, así como un factor de seguridad que garantice que estos valores estén dentro de un rango adecuado garantizando el proceso sin causar daños en el molde, lo que evitará fallas en el producto final. Se recomienda multiplicar un factor de 2,5 por el número de pulgadas cuadradas que tiene la superficie del producto y así estimar la presión que se necesita aplicar [24].

### ***Pre calentamiento del molde de inyección***

La temperatura que el molde tenga previo a iniciar el proceso de inyección en la cavidad es importante para la calidad final del producto ya que de esto dependerán sus propiedades mecánicas.

Una temperatura baja del molde de inyección provoca que el tiempo de enfriamiento de la pieza sea rápida, es decir la velocidad de enfriamiento será alta produciendo alto stress interno dentro del elemento con posibilidades que este sea frágil y tienda a romperse o fallar.

Mientras que una temperatura alta del molde provoca que el tiempo de enfriamiento del elemento sea bajo, dándole tiempo a su estructura interna de estabilizarse lo que hará que el elemento tenga buenas propiedades mecánicas incluso con un mejor aspecto en su superficie.

La Figura 2.13 describe de mejor manera los efectos positivos o adversos que tienen las temperaturas de pre calentamiento del molde sobre el producto final.



**Figura 2.13. Efectos de la temperatura de precalentamiento en el molde [25]**

### *Vida útil de los moldes de inyección*

Por defecto un molde de inyección debe estar diseñado para soportar la mayor cantidad de ciclos de inyección posibles, de preferencia cientos de miles de ciclos para que la producción en serie sea efectiva.

Sin embargo, el paso del tiempo en conjunto con el uso del molde provoca que esta tienda a desgastarse superficialmente, lo que provoca que el producto final empiece a presentar fallas en su superficie o estructura.

Una de las principales causas del desgaste en moldes de inyección es la fatiga térmica que no es más que el repetido proceso de sometimiento de un material a cambios en su temperatura lo que provoca que con el paso del tiempo su estructura se vaya debilitando, llevándolo a fallar.

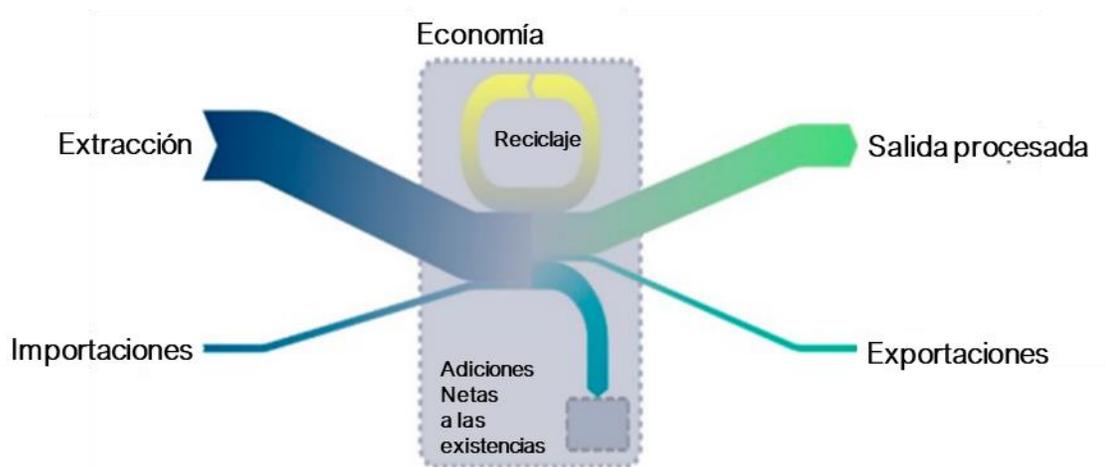
La fatiga térmica guarda una estrecha relación con las propiedades mecánicas del molde tal como la tensión de fluencia, módulo de Young, resistencia a la deformación. Esto sumado a la geometría del molde que puede tener concentradores de esfuerzo en zonas que presenten cambios de sección bruscos terminan afectando su tiempo de vida.

Según estudios realizados en moldes de inyección de plástico y aluminio se pudo concluir que la mayor influencia de desgaste se debe a la intensidad de inyección del polímero indicando también que un correcto posicionamiento de los canales refrigerantes del molde bajo la zona de inyección junto con un mayor diámetro del canal ayudaría a mitigar estos efectos de desgaste [26].

Otras vías de desgaste que reducen la vida útil del molde son la corrosión, la erosión y la abrasión.

### ***Análisis de flujo del material***

Esta es una metodología (*Material Flow Analysis* por sus siglas en inglés MFA) que permite visualizar los recursos dentro de un medio de transformación como se muestra en la Figura 2.14, lo cual es más asequible su control por tanto permite generar una trazabilidad del flujo de los recursos a través de su medio de transformación [27].



**Figura 2.14. Proceso de identificación de elementos para MFA [32]**

Este método se usa generalmente con material de fibra, polímeros o metal. Adicionalmente, este es un proceso bastante común dentro de muchas empresas dado su versatilidad sistemática [28].

### *Análisis de elementos finitos*

Este es un modelo computacional (por sus siglas latinas AEF) cuya experimentación con las cargas de estructuras sobre los materiales físicos permite diseñar modelos con parámetros estructurales óptimos, por esta razón tiene una amplitud de aplicaciones. En tanto, este análisis divide en medida de lo posible la pieza en pequeñas partes o volúmenes llamados elementos que a su vez generan nodos (puntos de unión entre cada región generada).

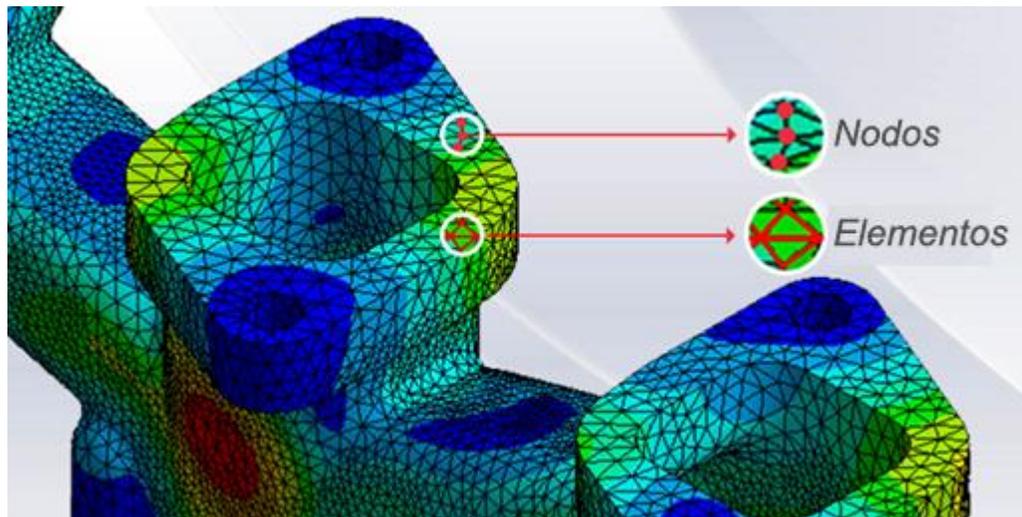
El método hace que un número infinito de variables físicas desconocidas sean sustituidas por valores conocidos realizando un proceso de iteración múltiple que permita hallar el valor real de las variables mencionadas.

### *Nodos*

Son puntos que conectan los elementos finitos mencionados anteriormente, el conjunto de todos estos puntos de conexión se conoce como malla puesto que generan subdivisiones en la geometría del elemento de análisis [29].

### *Malla*

Los subdominios del sistema para todo el dominio del modelo matemático se denominan malla de elementos finitos [30], en otras palabras, cuando se unen los nodos de los elementos que se han dividido para el presente método, se considera una malla para lo cual dependerá la cantidad de elementos y nodos, siendo que, a mayor presencia de estos elementos, mayor será su precisión. Una representación gráfica de los elementos finitos se lo observa en la Figura 2.15.



**Figura 2.15. Nodos y elementos finitos de una malla [29]**

Por tal, este análisis permite converger entre un sistema continuo modelamiento matemático a uno discreto descriptivo por puntos o nodos de corte.

### *Condiciones de frontera*

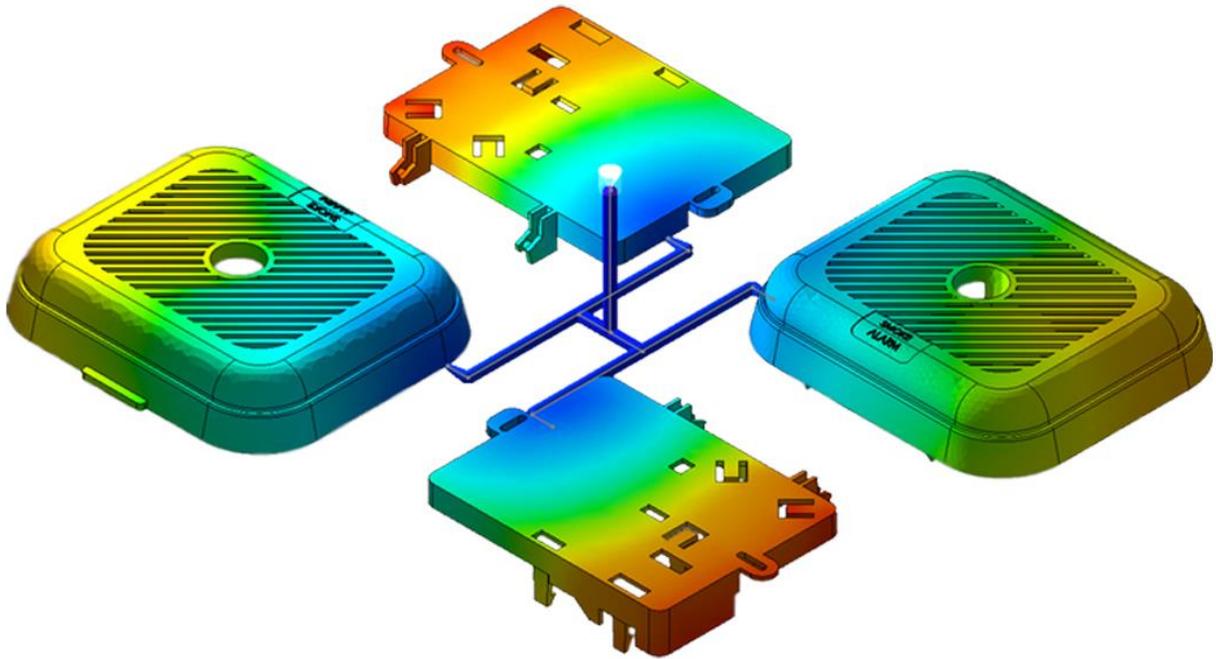
Son condiciones externas al elemento en análisis que están vinculadas con él o lo afectan directamente, estas pueden ser fuerzas, presiones, temperaturas, flujos volumétricos. De estas condiciones dependen los cálculos y el correcto resultado de la variable física que se está buscando.

Estas condiciones de frontera tienen una relación directa con el mallado del elemento, puesto que estas propiedades físicas se encuentran interconectadas mediante los nodos [30]. Una vez descrito el mallado, nodos, aplicación de cargas, a continuación, se describe los volúmenes de la superficie donde interviene este concepto en función del cuerpo, para limitar el modelo. Los elementos comunes para establecer las condiciones de frontera pueden ser descritos como el soporte de la pieza (eje de apoyo), soporte auxiliar de la pieza, soporte móvil y movimiento.

### ***SolidWorks Plastics***

Es un complemento perteneciente a la suite de SolidWorks, cuya principal función es la simulación de un flujo para la obtención de un elemento. En otras palabras, simula el comportamiento de un fluido plástico cuando se encuentra en interacción con la cavidad interna de un molde. El mallado que este complemento ofrece permite trabajar con superficies grandes o pequeñas con paredes gruesas o delgadas [31].

La Figura 2.16 muestra una simulación CFD de inyección de plástico realizada en la suite SolidWorks Plastics, la que permite observar de mejor manera el comportamiento del fluido una vez que ha llenado la cavidad interna del molde.



**Figura 2.16. Simulación CFD de SolidWorks Plastics con moldes de inyección [32]**

### **3.1.1 Análisis de convergencia**

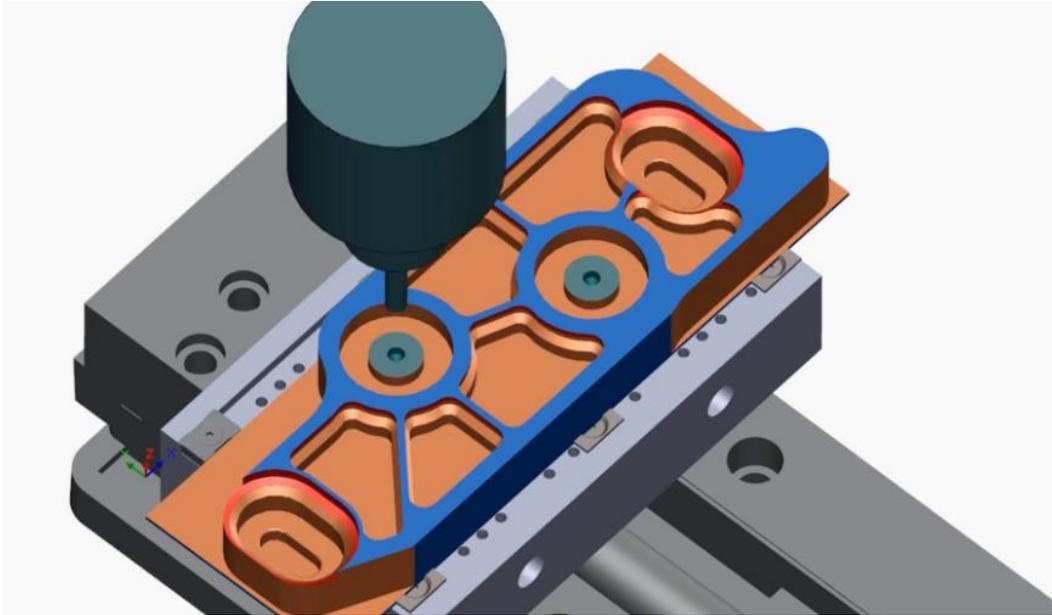
La convergencia es la etapa final del análisis siendo el proceso que realiza los cálculos respectivos del proyecto basado en los parámetros iniciales de configuración tales como malla, presiones, temperaturas y demás condiciones físicas asignadas.

La precisión de los resultados de la convergencia de datos dependerá de las condiciones de frontera, así como de la malla asignada al elemento, ya que de ella depende el número de celdas en análisis.

### ***SolidWorks CAM***

Es un complemento de simulación de mecanizado perteneciente a la suite SolidWorks, cuya principal función es el diseño de rutas para tornos y fresadoras entre 2,5 a 5 ejes para la

manufactura de elementos. En la Figura 2.17 se observa la simulación del recorrido de la herramienta mientras mecaniza un bloque de materia prima hasta obtener el elemento deseado.



**Figura 2.17. Programación CAM de una pieza en SolidWorks [33]**

Este programa permite la generación de caminos de mecanizado para la elaboración de piezas en máquinas herramientas CNC previa generación de un código G que contiene las coordenadas y movimientos que la máquina deberá tomar para obtener el resultado deseado [34].

### **3.1.2 Post-procesamiento**

Es el paso final dentro del proceso de simulación de mecanizado CAD/CAM en SolidWorks y consiste en generar el código G que se cargará en la máquina herramienta con que se trabajará.

Este código se genera una vez que se ha comprobado a detalle que las trayectorias que seguirán las herramientas y las medidas del elemento a fabricar sean las correctas.

### 3.1.3 Código G

Es un código que contiene múltiples líneas de comando que indican acciones específicas a realizar a una máquina herramienta como por ejemplo funciones de taladro, movimientos longitudinales, profundidades.

Este código está formado por un finito número de grupos con comandos específicos. Así por ejemplo el primer grupo ordena a la máquina movimientos de un punto hasta otro mientras los demás grupos contienen información en específico.

Una técnica adecuada de programación debe considerar a detalle las operaciones de construcción necesarias para que el elemento tome su forma final sin complicaciones [35].

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

En este capítulo se presenta la metodología utilizada para el desarrollo de las actividades del trabajo de grado, con el fin de llevar un orden adecuado de los procesos y cumplir cada uno de los objetivos planteados en el diseño de un molde permanente de inyección de plástico para la producción de la carcasa de un incinerador eléctrico portátil de agujas hipodérmicas.

#### **3.2 Modelo de investigación**

Se desarrolla la investigación aplicada, ya que tiene como objetivo la creación de un diseño de un molde de inyección de plástico a partir de los conocimientos adquiridos en el campo de la ingeniería y la resolución de problemas [46].

Se aplica la investigación documental, basada en la búsqueda de información relevante para determinar los procesos y parámetros de inyección de plástico por medio de documentos como revistas científicas, catálogos, libros y artículos [47].

Por último, se desarrolla la investigación descriptiva, ya que se especifica propiedades importantes de los procesos y parámetros que se utilizan para un adecuado desarrollo del modelo [48].

#### **3.3 Diseño de la investigación**

En esta sección se describen las actividades necesarias para cumplir con cada una de las fases planteadas, con el fin de cumplir con los objetivos específicos y detallar de manera secuencial cada

uno de los procesos desarrollados para el diseño de un molde permanente de inyección de plástico para la producción de la carcasa de un incinerador eléctrico portátil de agujas hipodérmicas.

### **3.3.1 Fase 1: Procesos y parámetros de inyección de plástico**

En la primera fase se describen los aspectos más importantes de la búsqueda de información, en donde se extraen datos específicos y relevantes que sirvan como apoyo teórico de los procesos y parámetros de inyección de moldes.

**Actividad 1:** Se describen los procesos para la elaboración de los moldes de inyección, para llevar a cabo un correcto procedimiento acorde a las necesidades y requerimientos de diseño.

**Actividad 2:** Se especifican los cálculos de temperatura y de enfriamiento del proceso de inyección en moldes para determinar los tiempos de inyección.

**Actividad 3:** Se realiza la selección del material de los moldes y se determinan las medidas de las materias primas para una adecuada elaboración de los moldes.

### **3.3.2 Fase 2: Diseño de los moldes**

En esta sección se describen los procesos para realizar el diseño de los moldes considerando los procesos y parámetros obtenidos en la revisión de literatura.

**Actividad 1:** Se determina la estructura del modelado de la carcasa del incinerador y se identifican cada una de sus partes.

**Actividad 2:** Se realiza la extracción de la geometría de cada una de las partes que conforman la carcasa del incinerador.

**Actividad 3:** Se diseña la cavidad y núcleo de cada una de las piezas de la carcasa, se determinan los códigos G y el mallado de los moldes para su estudio.

### 3.3.3 Fase 3: Simulación de los moldes

En esta fase se realizan las simulaciones de la inyección de plástico en los moldes diseñados mediante el software SolidWorks Plastics, se especifica los parámetros como el tiempo de inyección, el tiempo de enfriamiento, la temperatura y presión de inyección del material.

**Actividad 1:** Se describen los parámetros obtenidos de la simulación del proceso de inyección en los moldes diseñados.

### 3.3.4 Fase 4: Pruebas de funcionamiento

En la última fase, se presentan los análisis de elementos finitos de los moldes para la carcasa del incinerador. Tomando en cuenta la presión de inyección se determina el factor de seguridad para la fabricación de los moldes, se determinan los costos y el prototipado de los modelos.

**Actividad 1:** Se realizan análisis de convergencia para determinar la precisión de los resultados de cada simulación de los análisis estáticos.

**Actividad 2:** Se determinan los factores de seguridad de los diferentes moldes, de acuerdo con el análisis de convergencia.

**Actividad 3:** Se realizan análisis de costos para comparar el precio de fabricación industrial de los moldes con el prototipado en impresión 3D.

**Actividad 4:** Se presentan los prototipos en impresión 3D de los moldes de la carcasa del incinerador para su verificación en cuanto a medidas y funcionamiento.

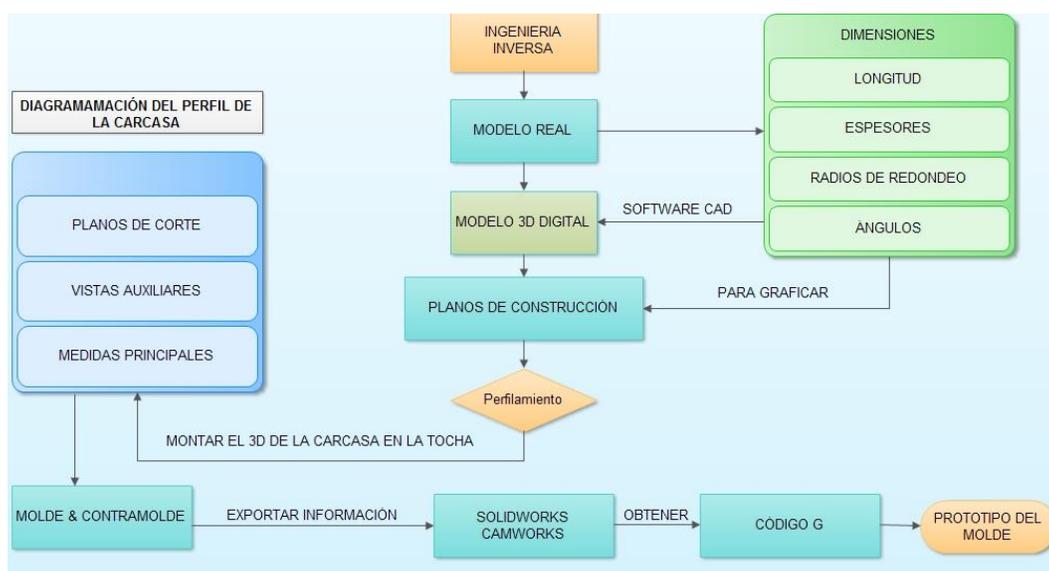
## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se describen los procesos y parámetros utilizados para el diseño de un molde permanente de inyección de plástico, se analizaron los resultados obtenidos tras las simulaciones del proceso de inyección sobre los moldes de acero aleado. Se realizó un análisis CFD mediante la suite SolidWorks Plastics, mismo que arrojó resultados que permitieron familiarizarse con el proceso de inyección del polímero en la cavidad y núcleo del molde.

#### 4.1 Procesos para la elaboración del molde de inyección

Se llevó a cabo el siguiente procedimiento acorde a las necesidades y requerimientos de diseño para la obtención del molde de inyección. Se siguieron los pasos indicados en el diagrama de flujo de trabajo en la Figura 4.1.



**Figura 4.1. Proceso de obtención del molde de inyección a partir del uso de ingeniería inversa basado en un modelo digital 3D**

## 4.2 Parámetros de temperatura y enfriamiento

Los valores de temperatura utilizados durante el proceso de inyección están dados en las especificaciones técnicas del material seleccionado. Se determinó el tiempo de enfriamiento de la pieza considerando el periodo comprendido entre la finalización de la inyección, la aplicación de la presión y la apertura del molde, esta es la etapa de mayor duración del proceso (50-85% del tiempo total), en la cual se aseguró la solidificación del material. Se determinó el tiempo de enfriamiento o solidificación empleando la ecuación 1 y ecuación 2:

$$t_{ANF} = \frac{-e_{\max}^2}{2 \cdot \pi \cdot \alpha_n} \cdot \ln \left[ \frac{\pi \cdot (T_{\text{map}} - T_{\text{man}})}{4 \cdot (T_{\text{mat}} - T_{\text{mas } \sigma})} \right] \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$e_{\max}$  Espesor máximo de la pieza ( $cm$ )

$T_{\text{exp}}$  Temperatura de la pieza en la expulsión ( $^{\circ}C$ )

$T_{\text{mold}}$  Temperatura del molde ( $^{\circ}C$ )

$T_{\text{mat}}$  Temperatura del material fundido ( $^{\circ}C$ )

$\alpha_n$  Difusividad térmica del material ( $cm^2/^{\circ}C$ )

$$\alpha_n = \frac{\lambda_n}{\rho_n \cdot c_p} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$\lambda_s$  Conductividad térmica ( $J/s \cdot cm \cdot ^{\circ}C$ )

$c_p$  Calor específico ( $J/g \cdot ^{\circ}C$ )

$\rho_n$  Densidad del material ( $g/cm^3$ )

El valor de la difusividad térmica generalmente se encuentra en las hojas de datos de los materiales.

### 4.3 Selección del material

Un parámetro necesario que se consideró es el material para la construcción de los moldes de fundición de los elementos que forman parte del incinerador portátil, para ello se tomaron en cuenta diferentes materiales como el acero inoxidable, el acero pulvimetalúrgico y el aluminio aleado. Las propiedades físicas de estos materiales se pueden observar en la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1. Propiedades mecánicas del acero y aluminio [36]**

Material	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Resistencia a la tracción (MPa) ≥	Esfuerzo de fluencia (MPa) ≥	Elongación 50 mm (%) ≥	Reducción de área %	Dureza (HBw)	Propiedades Condiciones
INOX 304	7900	690	415	45	70	212	Alto punto de fusión Recocido y estirado en frío
AISI 4140	7870	655	414	25,7	56,9	197	Alto punto de fusión Recocido a 815 °C
Aluminio aleado	2700	105-145	75	3	-	33	Baja densidad Fácil mecanizado

La selección del material dependió directamente de factores como:

- Durabilidad
- Material no contaminante
- Costo de adquisición
- Facilidad de adquisición

El acero inoxidable al igual que el acero pulvimetalúrgico son materiales fáciles de conseguir, presentan una alta densidad, no son contaminantes, su punto de fusión es alto lo que los hace ideales para moldes de inyección al resistir altas temperaturas, no se oxidan, su mecanizado es de mediana complejidad y su vida útil es extensa.

Mientras tanto la aleación de aluminio como material es de fácil acceso, densidad liviana, no contaminante, punto de fusión medio en comparación al acero, se puede preparar para evitar la formación de óxidos y de mecanizado más fácil que los aceros. Sin embargo, su vida útil puede ser un poco menor debido a sus propiedades mecánicas.

Si se considera el factor económico como factor de selección, entre estos materiales el aluminio representa la mejor opción, puesto que para obtener una materia prima no se necesitan altas temperaturas de fusión (600 °C) a diferencia del acero que necesitaría 1400 °C. Adicional a ello es liviano y no representaría problema al momento de mecanizarlo en la fresadora.

Si se considera la durabilidad como criterio de selección entonces uno de los dos aceros sería la elección correcta para asegurar una larga vida para el molde, la pequeña desventaja se presentaría en obtener la materia prima matriz que deberá mecanizarse para la obtención del molde.

De acuerdo con los criterios mencionados, se seleccionó el material acero aleado para realizar posteriores análisis y simulaciones de sus propiedades físicas.

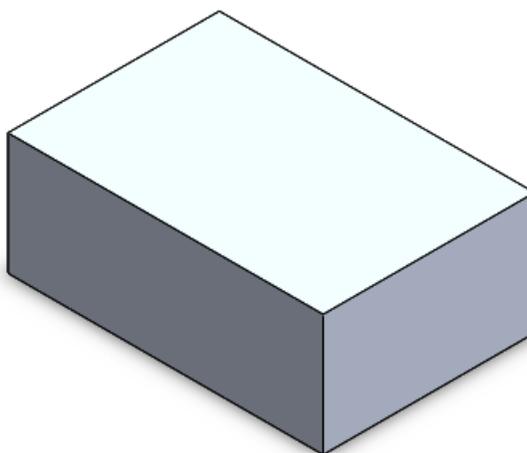
### ***Dimensiones de la materia prima***

En la Tabla 4.2, se presentan las dimensiones de la materia prima. Estas dimensiones se obtuvieron en base a las dimensiones principales de cada elemento de la carcasa del incinerador portátil de agujas hipodérmicas.

**Tabla 4.2. Dimensiones de la materia prima**

<b>Elemento</b>	<b>Largo (mm)</b>	<b>Profundidad (mm)</b>	<b>Altura (mm)</b>
Tapa superior	243	163	94
Base del incinerador	243	163	84
Caja de desechos	122	90	73

Se consideró que las 3 piezas de la carcasa están conformadas por 2 componentes (molde y contra molde), el número total de piezas requeridas fueron 6, en la Figura 4.2 se muestra el material en bruto que se utilizó para el mecanizado.



**Figura 4.2. Forma de la materia prima previo al mecanizado por CNC**

#### **4.4 Diseño del molde de inyección**

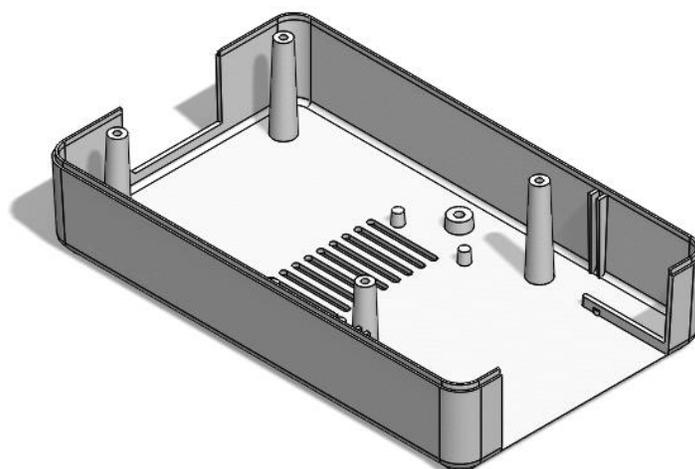
Los moldes para la creación de la carcasa del incinerador portátil de agujas hipodérmicas se obtuvieron mediante mecanizado por CNC, por lo que se necesitó materia prima matriz a partir de la cual se obtuvo la geometría deseada mediante procesos de mecanizado por desbaste.

Se consideró la estructura de la carcasa previo a iniciar con el proceso de diseño. Los elementos de la carcasa identificados fueron la cubierta superior, base del incinerador, porta agujas. La Figura 4.3 muestra la cubierta superior de la carcasa o la tapa del incinerador.



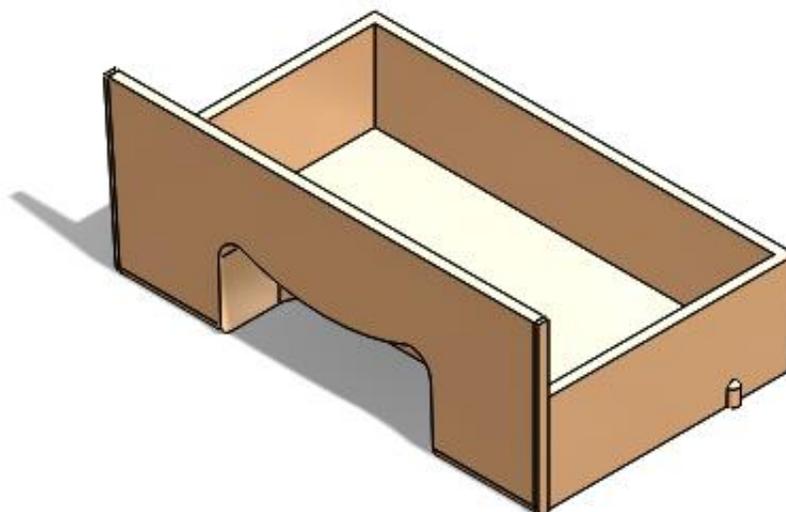
**Figura 4.3. Cubierta superior del incinerador**

La Figura 4.4 indica la base del incinerador, sobre este elemento se apoyará la placa electrónica del dispositivo, razón por la cual fue importante dimensionar con exactitud la pieza.



**Figura 4.4. Base del incinerador**

La Figura 4.5 permite observar la caja donde se depositarán las agujas de desecho previo a ser incineradas.



**Figura 4.5. Porta agujas de desecho**

Se diseñó un molde independiente para la fabricación de cada uno de estos elementos. Cada molde estuvo compuesto por un “núcleo y cavidad”.

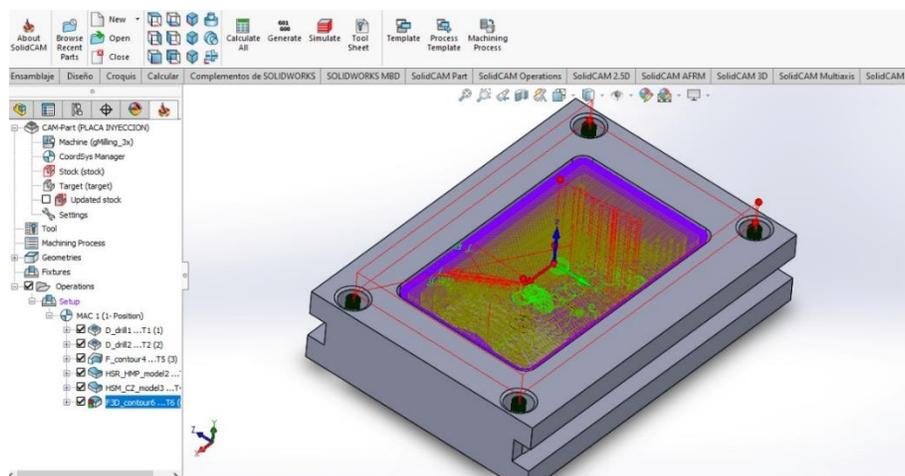
#### 4.4.1 Extracción de la geometría de la carcasa.

Se aplicó ingeniería inversa para lo cual fue necesario conocer las medidas nominales de la geometría de la carcasa, es decir las longitudes, alturas, espesores, ángulos de inclinación, radios de curvatura de cada uno de sus elementos. Con el fin de realizar el modelo 3D de la carcasa con la ayuda de software CAD.

Una vez se obtuvieron los modelos 3D se utilizó su geometría para obtener los moldes y contra moldes respectivos para cada una de las 3 piezas de la carcasa.

#### 4.4.2 Extracción del código G de los moldes

La Figura 4.6 permite observar parte del procedimiento de generación del código G del molde de inyección de la carcasa. Mediante operaciones básicas realizadas en el complemento SolidCAM se generó el mapa de trayectorias y operaciones respectivas para que la fresadora realice el proceso de desbaste y mecanizado de la materia prima matriz obteniendo finalmente el modelo deseado.



**Figura 4.6. Proceso de obtención del código G mediante SolidCAM**

Se generó el código G para cada uno de los elementos de la carcasa (molde y contra molde). Los procesos requeridos de código G fueron descritos en cincuenta y un mil trece líneas. Se definió dos etapas del proceso, en la Figura 4.7. **Etapa 1 de los pasos requeridos para obtener el código G** se observa la primera etapa la cuál consistió en definir el material del mecanizado.



**Figura 4.7. Etapa 1 de los pasos requeridos para obtener el código G [37]**

Se observa en la Figura 4.8 la descripción de la segunda etapa de los procesos para la obtención del código G, donde se definió las trayectorias y operaciones de mecanizado a realizar en los moldes hasta llegar a la obtención de archivo con el código G del mecanizado de los moldes.



**Figura 4.8. Etapa 2 de los pasos requeridos para obtener el código G [37].**

Una vez se obtuvo el post procesado del código G se extrajo la siguiente información representada en la Tabla 4.3, la cual indica las líneas de códigos G necesarias para la manufactura CNC de cada molde y contra molde.

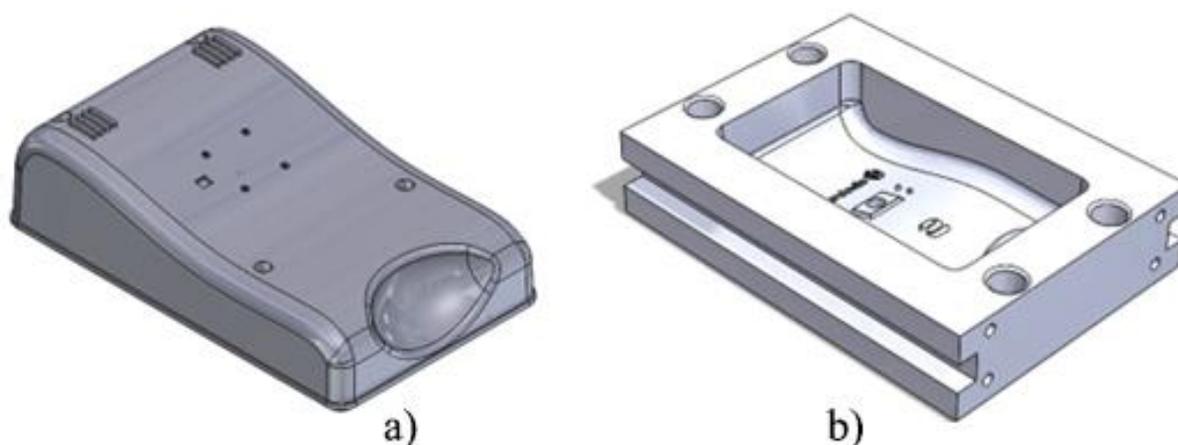
**Tabla 4.3. Líneas de código obtenidos para el mecanizado de cada elemento**

ELEMENTO	TIPO	LÍNEAS DE CÓDIGO
Tapa superior	Molde	102004
	Contra molde	300108
Base	Molde	122456
	Contra molde	345005
Portaagujas	Molde	98567
	Contra molde	234845

Finalmente se realizaron simulaciones CFD genéricas (sin un polímero específico de análisis), que permitieron visualizar de mejor manera el comportamiento del fluido ingresado en los moldes.

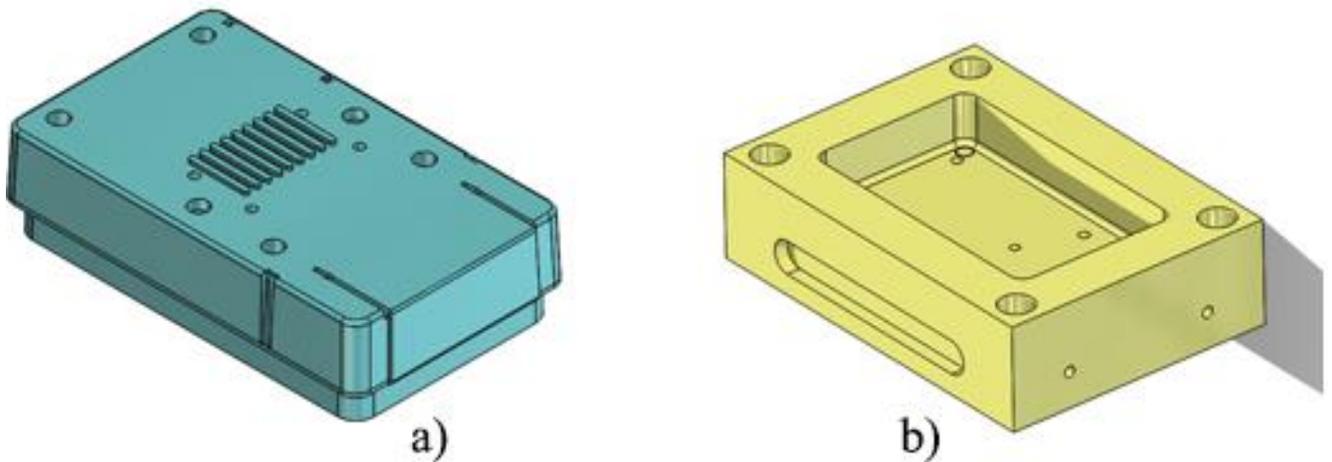
Fue importante el uso de software para las simulaciones ya que en caso de presentarse algún error de hermeticidad (fugas de fluido) se pueden realizar las correcciones respectivas en el software evitando fallas de funcionamiento a futuro una vez elaborados los moldes en físico.

La Figura 4.9 permite visualizar parte de los moldes 3D realizados en SolidWorks para poder elaborar el proceso de inyección de la cubierta superior de la carcasa. Tal como se puede apreciar ambos moldes tienen la geometría superficial de la cubierta.



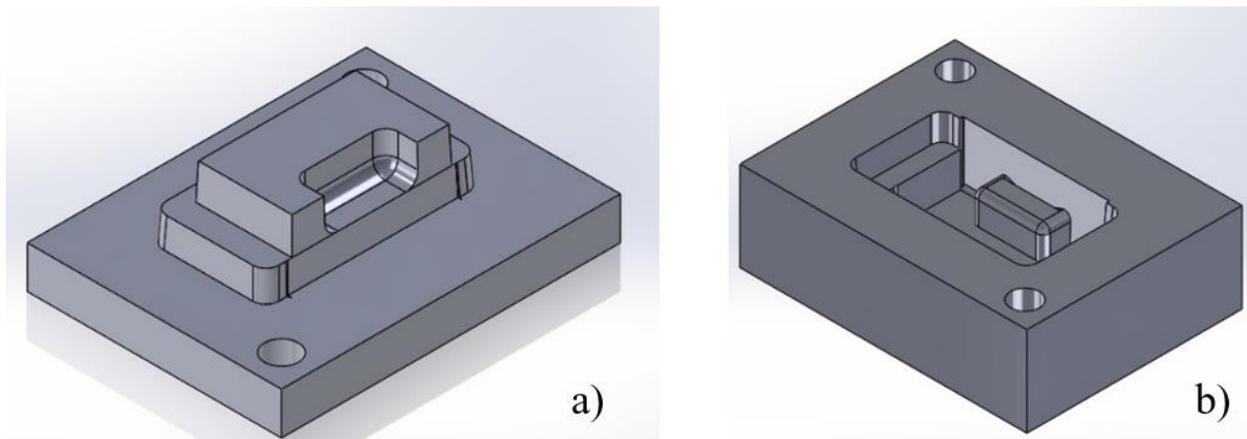
**Figura 4.9. Moldes para la cubierta superior. a) Molde b) Contra molde**

La Figura 4.10 a su vez permite apreciar el molde y contra molde de la tapa inferior de la carcasa como parte del molde de inyección. Ambos elementos encajaron uno dentro de otro permitiendo que el proceso de inyección suceda de manera efectiva sin que se generen fugas de material.



**Figura 4.10. Moldes para la base de la carcasa. a) Molde b) Contra molde**

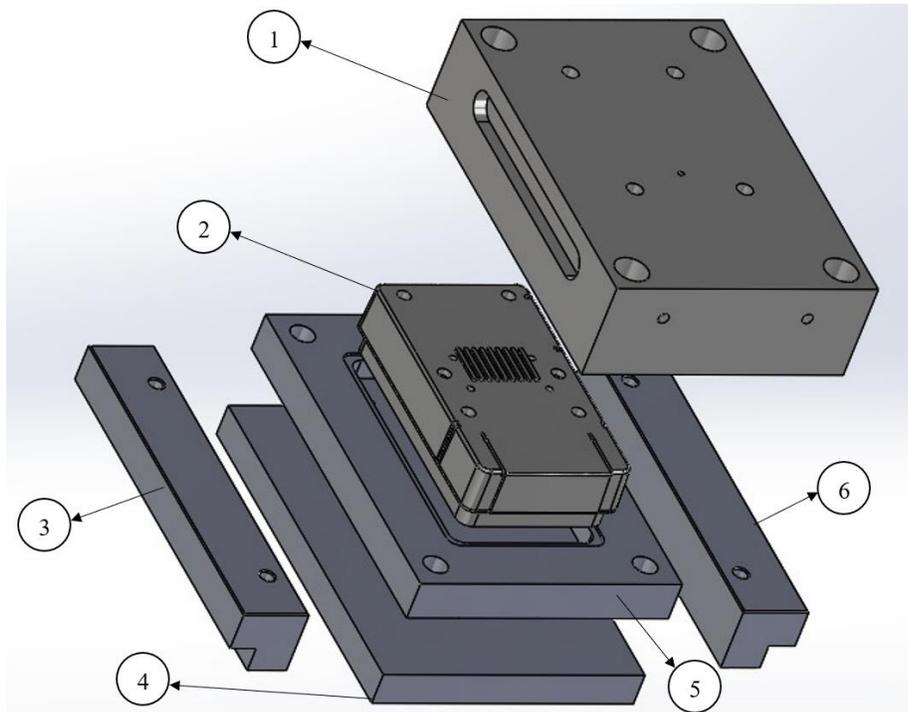
El portaagujas presentó una geometría más pequeña y simple a comparación de los demás moldes, por lo que se realizó un sistema de sujeción directo en las placas como se observa en la Figura 4.11.



**Figura 4.11. Moldes para el portaagujas de la carcasa. a) Molde b) Contra molde**

#### 4.5 Descripción de los componentes de los moldes

Los núcleos y las cavidades de los moldes contaron con piezas adicionales, las cuales ayudaron a la sujeción y compactación de los moldes en la máquina de inyección, es así como se describen las partes que conforman el ensamblaje del molde, como se observa en la Figura 4.12.

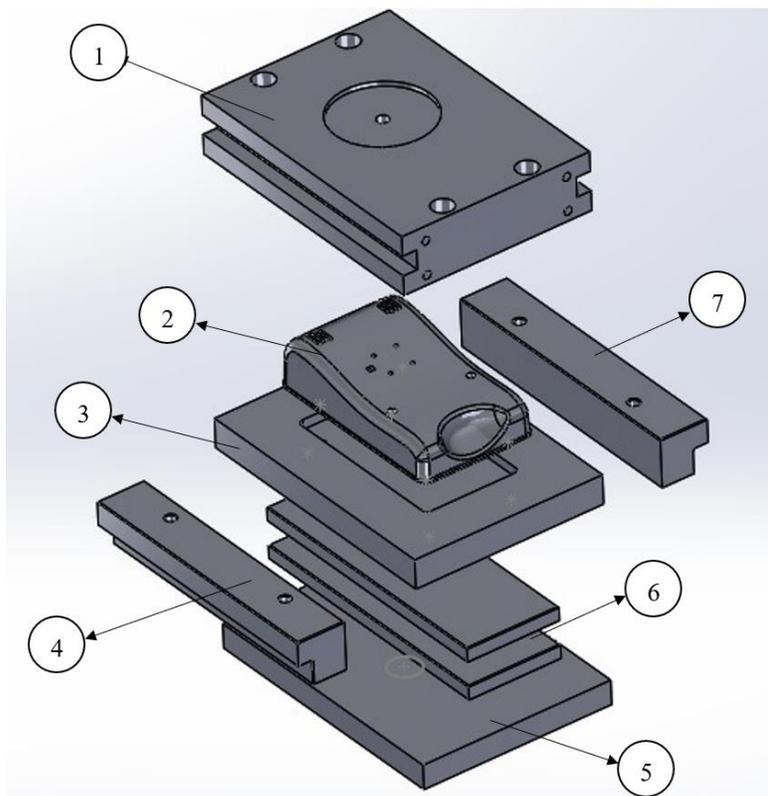


**Figura 4.12. Vista explosionada del sistema de sujeción del molde de la base**

Los elementos que conforman el molde de la base se identifican como:

1. Cavidad
2. Núcleo
3. Espaciador derecho
4. Placa de Expulsión.
5. Base-Núcleo
6. Espaciador Izquierdo

En la Figura 4.13, se muestra la vista explosionada de las piezas adicionales al núcleo y la cavidad para la sujeción de este en la máquina de inyección.

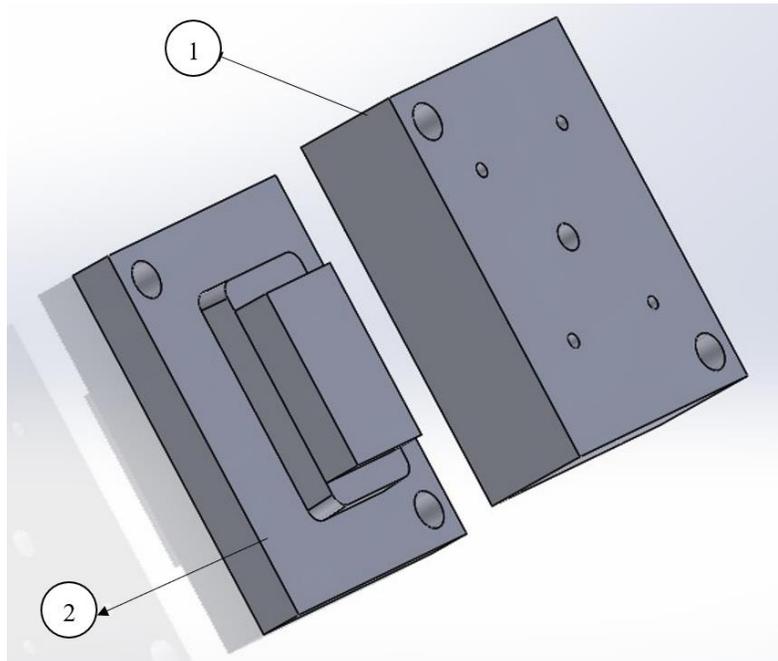


**Figura 4.13. Vista explosionada del sistema de sujeción del molde de la cubierta**

Los elementos que conforman el molde de la cubierta se identifican como:

1. Cavidad
2. Núcleo
3. Base-Núcleo
4. Espaciador derecho
5. Placa de Expulsión.
6. Porta botadores
7. Espaciador Izquierdo

En la Figura 4.14, se muestra a diferencia de los anteriores moldes que no cuenta con piezas adicionales para la sujeción de la pieza portaagujas ya que los modelos contaron con sujeción propia en cada una de las piezas que conforman el molde.



**Figura 4.14. Vista explosionada del sistema de sujeción del molde del portaagujas**

Los elementos que conforman el molde del portaagujas se identifican como:

1. Cavidad
2. Núcleo

#### **4.6 Simulación del proceso de inyección**

Se realizó un estudio térmico del material inyectado con ayuda de herramientas CFD como es la suite SolidWorks Plastics. Esta simulación permitió visualizar de mejor manera el

comportamiento de los diferentes polímeros al ingresar a los moldes de inyección y así tomar decisiones sobre la mejor opción de material para la construcción de la carcasa, en la Tabla 4.4.

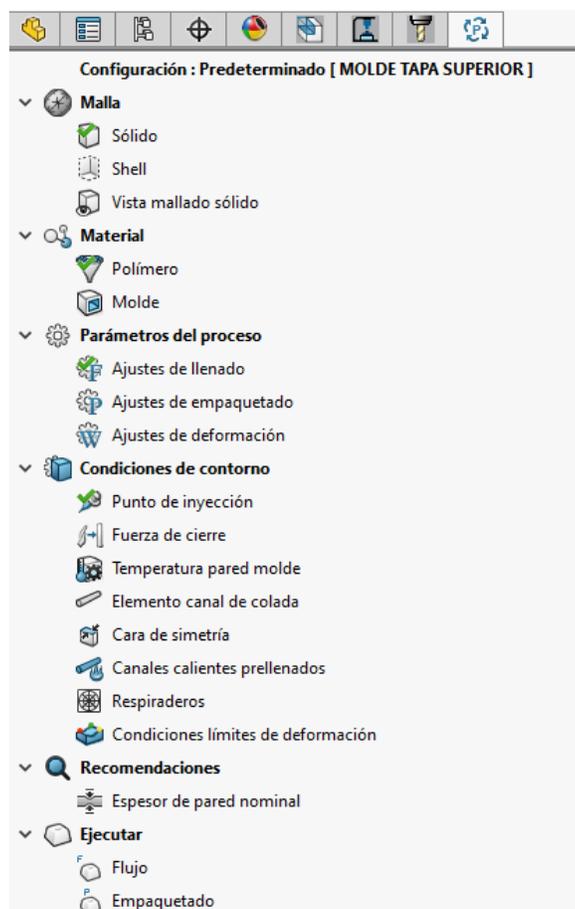
**Parámetros de inyección de los polímeros seleccionados** se muestran las propiedades de los polímeros ABS y PVC. Se realizaron distintas simulaciones considerando como condiciones de frontera los parámetros de trabajo que ofrece la inyectora que se utilizará para este proceso.

**Tabla 4.4. Parámetros de inyección de los polímeros seleccionados**

Material	Temperatura de inyección (boquilla) °C	Temperatura del Molde °C
ABS	205 - 245	50 – 70
PVC	225	80

#### *Configuración de las condiciones iniciales de la simulación*

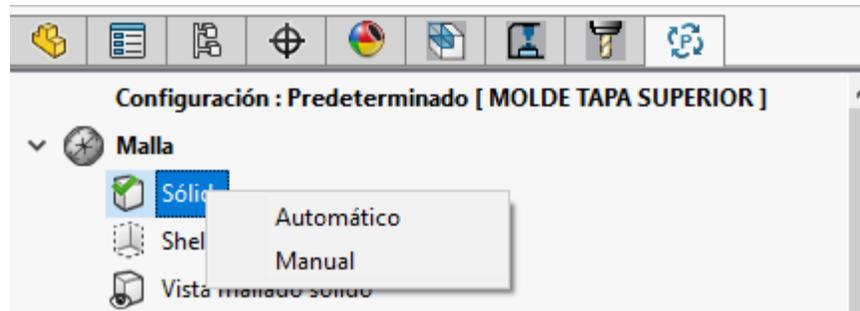
Para configurar los parámetros de entrada fue necesario activar el complemento de SolidWorks Plastics, una vez dentro del acceso al árbol de configuraciones para la simulación que se desea realizar se editó ciertos parámetros de acuerdo a los materiales utilizados. El árbol de configuraciones se muestra en la Figura 4.15.



**Figura 4.15. Árbol de configuraciones para la simulación en Plastics**

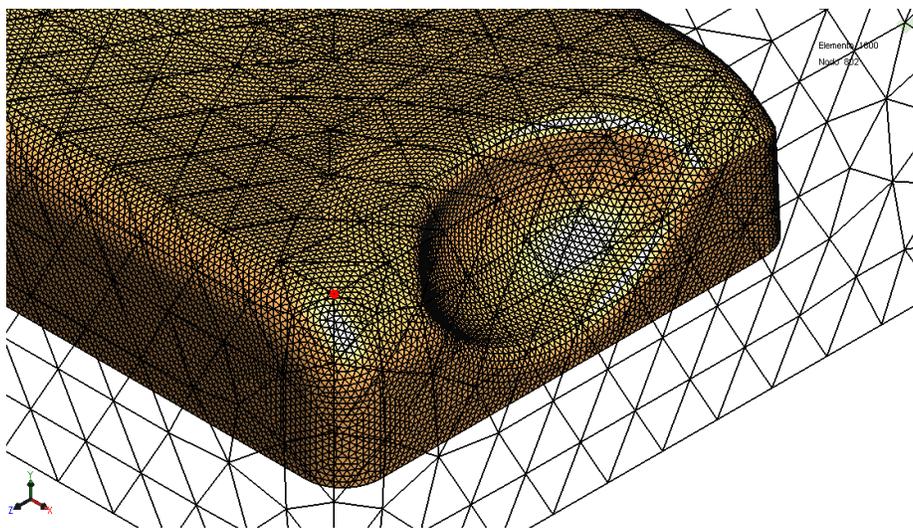
### *Asignación de malla al molde*

Como primer paso se asignó una malla al molde de inyección como se observa en la Figura 4.16. La precisión del cálculo radicó en el tamaño de la malla. La malla fina, localizada sobre la geometría de mayor complejidad del molde arrojó resultados más exactos, mientras que la malla gruesa arrojó resultados más genéricos al final de la simulación. Así mismo cabe destacar que el mallado más fino ocupó mayores recursos computacionales del ordenador tal como procesador y memoria RAM.



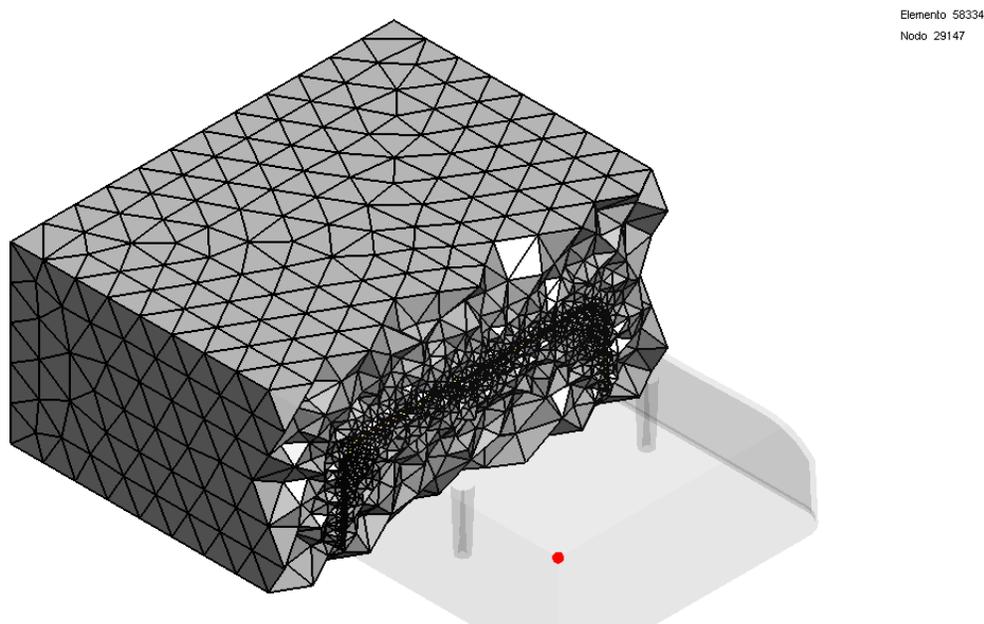
**Figura 4.16. Asignación de malla sobre el molde**

Para la generación del mallado se configuró el análisis en el apartado sólido, donde se generó una malla automática y manual. La malla automática generó un mallado sobre la superficie del molde según Plastics lo creyó conveniente, mientras que la malla manual permitió generar la malla analizando las zonas críticas del molde. Se seleccionó el área en donde se necesitaba mayor precisión en los cálculos finales, el mallado se graficó con triángulos en toda la geometría de la pieza como se observa en la Figura 4.17.



**Figura 4.17. Apariencia de la malla del molde y cavidad de la cubierta superior**

Se seccionó la vista del sólido por la mitad y el mallado se representó por medio de tetraedros formando parte de la geometría de la pieza, segmentado el sólido en pequeños tetraedros en su interior como se visualiza en la Figura 4.18.



**Figura 4.18. Mallado de tipo tetraédrico sobre el molde y la cavidad de la cubierta superior**

Para la simulación de la máquina inyectora se tomaron en cuenta parámetros de una unidad inyectora, la cual cuenta con diferentes propiedades dependiendo del tipo. En la Tabla 4.5. **Datos de operación de la máquina inyectora** se muestran las propiedades de la inyectora [38].

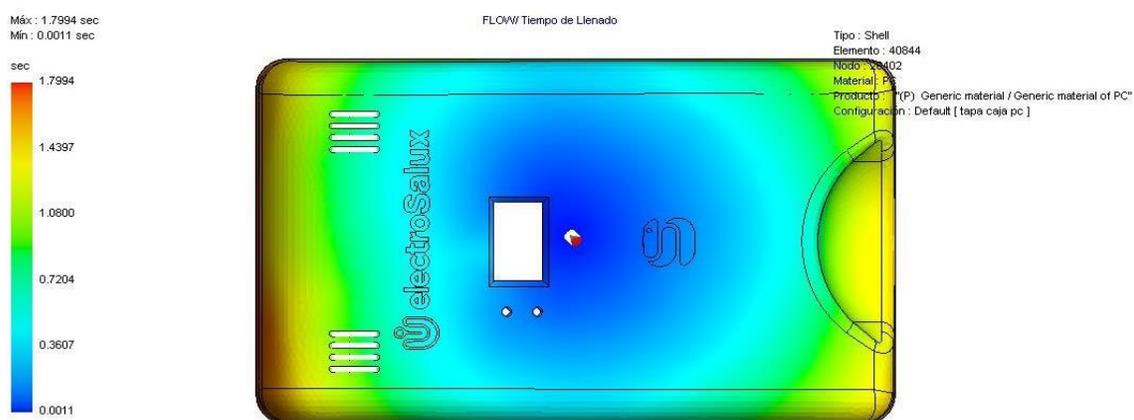
**Tabla 4.5. Datos de operación de la máquina inyectora [38]**

Unidad de inyección	Tipo	Diámetro de husillo	L/D Radio	Capacidad teórica (cm <sup>3</sup> )	Presión de inyección (Mpa)	Carrera inyección (mm)	Velocidad Máxima (mm/s)	Fuerza de cierre (kN)
220	A	25	23	79	290	160	162	900
	B	28	23	98	231	160	162	900
	C	32	20	129	177	160	162	900

#### 4.6.1 Pruebas de inyección

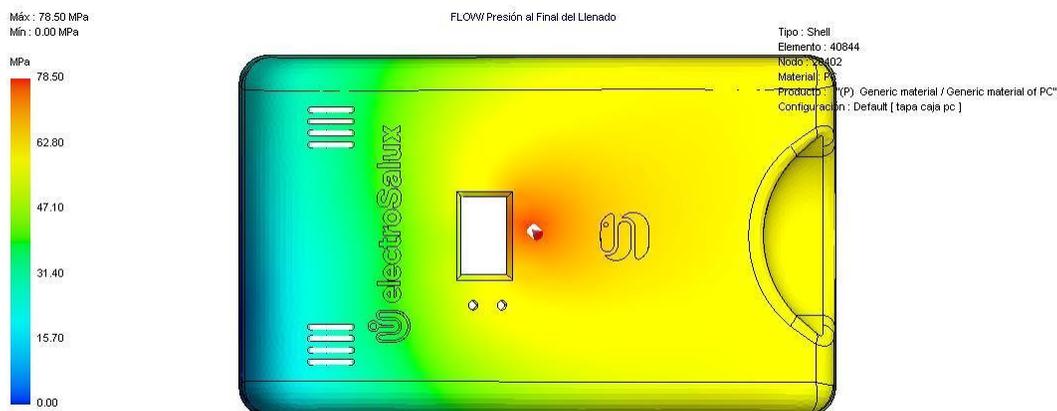
Tras realizar las configuraciones respectivas del fluido de trabajo y los parámetros del molde se ejecutó el proyecto para cada uno de los elementos de la carcasa obteniendo los siguientes resultados:

La Figura 4.19 permite observar en su gráfica de colores el tiempo que le tomó al inyector llenar el espacio interno del molde. Alcanzando un tiempo de 1,79 segundos de llenado.



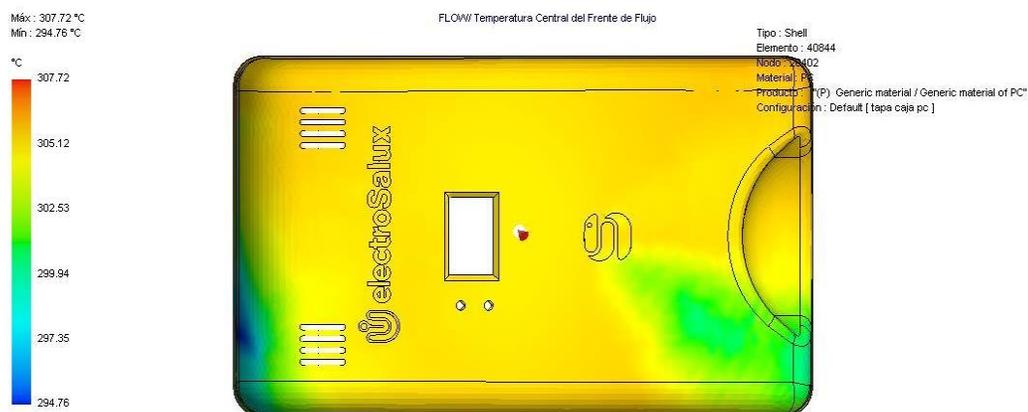
**Figura 4.19. Simulación del tiempo de llenado del molde de la tapa superior en SolidWorks Plastics**

La Figura 4.20 a su vez permite observar el comportamiento de las presiones internas del polímero al entrar en la cámara de inyección. Se obtuvieron las presiones más altas en la parte derecha del molde, donde se observó la coloración amarilla naranja. Los valores de estas presiones se apreciaron con claridad en la gráfica vertical.



**Figura 4.20. Simulación de las presiones internas del molde de la tapa superior en SolidWorks Plastics**

La Figura 4.21 permite observar la distribución de temperaturas del polímero en la cámara de inyección. Las temperaturas fueron casi constantes a lo largo de la extensión del elemento. Las temperaturas más bajas se presentaron en las esquinas inferiores de la gráfica.



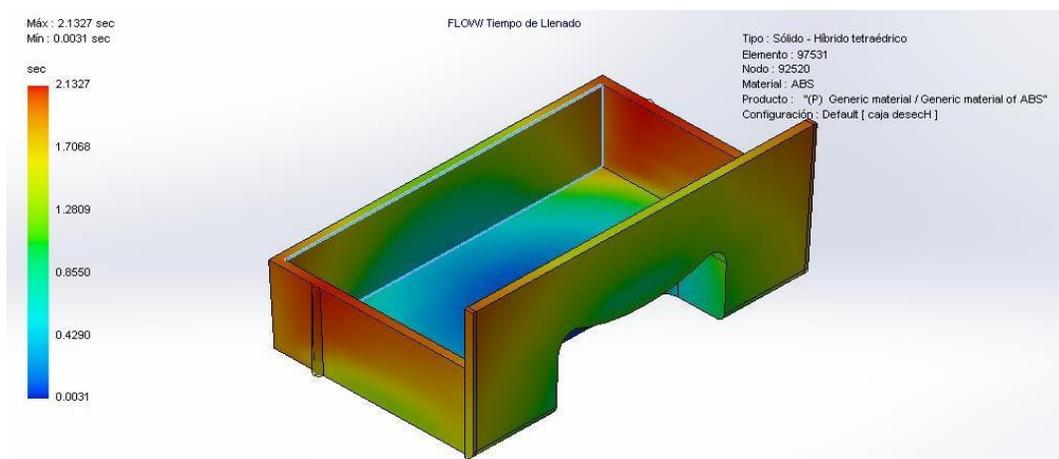
**Figura 4.21. Simulación de las temperaturas internas de la tapa superior en SolidWorks Plastics**

En la Tabla 4.6, se observan los resultados del proceso de simulación de inyección de la tapa superior del incinerador, en donde se puede observar principalmente el tiempo de llenado, presión máxima y temperaturas de inyección.

**Tabla 4.6. Parámetros de llenado del molde de la tapa superior del incinerador**

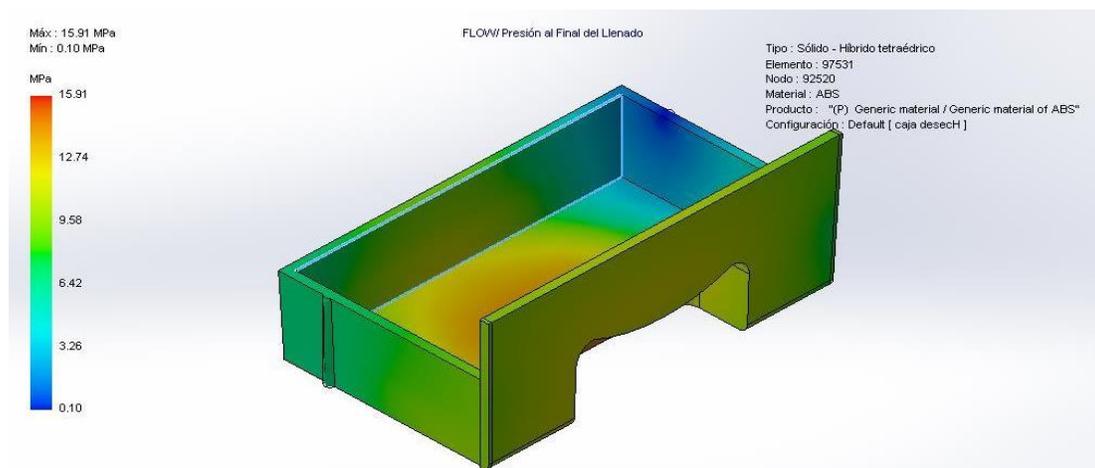
Descripción	Unidades
Tiempo de llenado	1,79 seg
Temperatura Fusión Material Principal	230 °C
Temperatura pared molde	50 °C
Presión máxima de inyección	78,50 MPa
Límite de flujo	194 cc/s
Punto de cambio de flujo/empaquetado	100 %
Tiempo de mantenimiento de la presión	3,92 seg
Tiempo Total de la Etapa de Empaquetado	18,02 seg
Presión Inicial del Aire de la Cavidad	0,1 MPa
Temperatura Inicial del Aire de la Cavidad	25 °C
Criterios de temperatura para llenado incompleto	100 °C
Límite de fuerza de cierre	100 t
Temperatura ambiente	30 °C

En la Figura 4.22 se puede visualizar el tiempo que le toma al inyector llenar el espacio del molde de la caja de desechos. El tiempo alcanzado según SolidWorks Plastics es de 2,13 segundos.



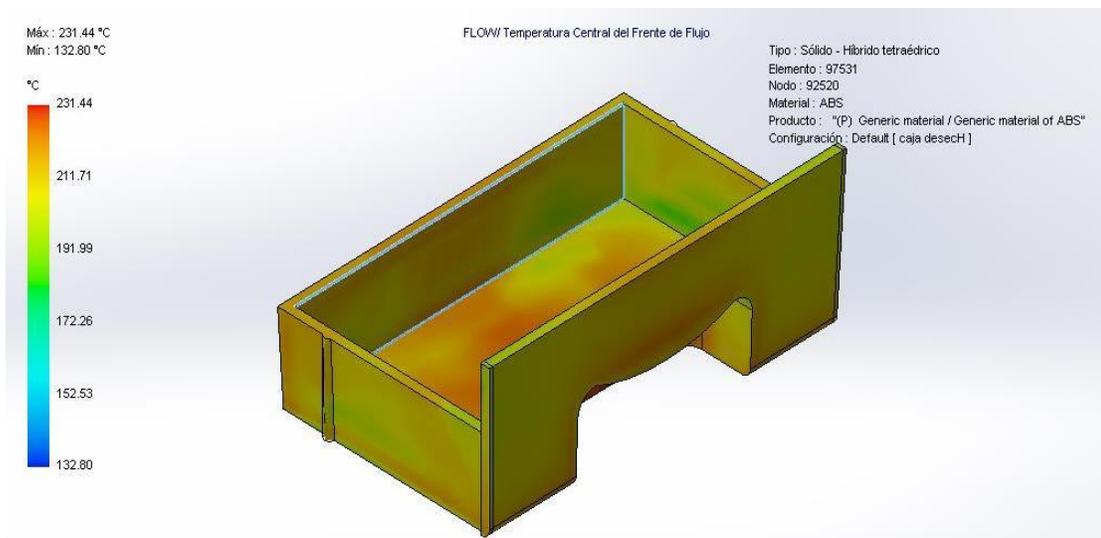
**Figura 4.22. Simulación del tiempo de llenado del molde del portaagujas en SolidWorks Plastics**

Para el caso de la Figura 4.23 se puede observar la distribución de presiones a lo largo de la cámara de inyección. Las presiones más altas se representan con una coloración amarilla y naranja, mientras las presiones más bajas se registran en una tonalidad turquesa celeste.



**Figura 4.23. Simulación de las presiones internas en el molde del portaagujas en SolidWorks Plastics**

A su vez la Figura 4.24 permite identificar la transferencia de calor mediante la distribución de temperaturas en la cámara de inyección de la caja de desechos. La temperatura permanece casi uniforme a lo largo de la extensión del elemento. Las temperaturas más altas representadas con una coloración naranja se pueden observar en la parte central de la pieza.



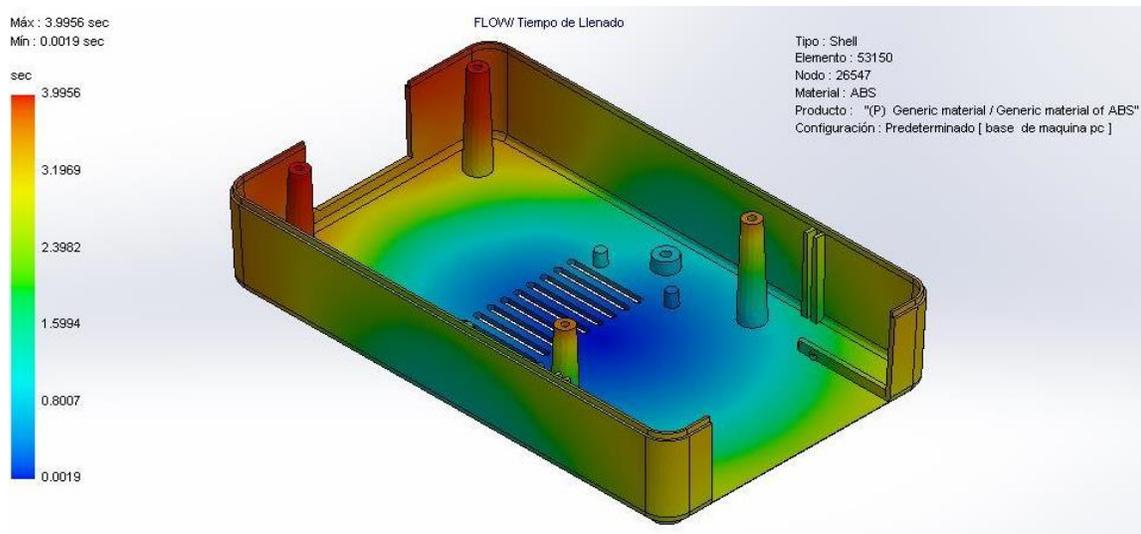
**Figura 4.24. Simulación de las temperaturas internas del molde del portaagujas en SolidWorks Plastics**

En la Tabla 4.7, se observan los resultados del proceso de simulación de inyección del portaagujas del incinerador, en donde se puede observar principalmente el tiempo de llenado, presión máxima y temperaturas de inyección.

**Tabla 4.7. Parámetros de llenado del molde del portaagujas del incinerador**

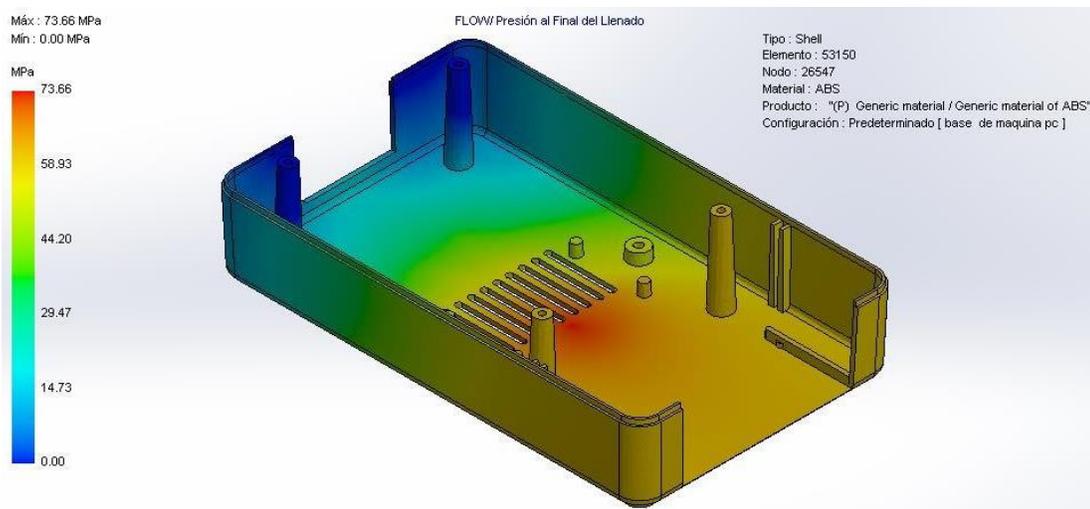
Descripción	Unidades
Tiempo de llenado	2,13 seg
Temperatura Fusión Material Principal	230 °C
Temperatura pared molde	50 °C
Presión máxima de inyección	15,91 MPa
Límite de flujo	194 cc/s
Punto de cambio de flujo/empaquetado	100 %
Tiempo de mantenimiento de la presión	22,02 seg
Tiempo Total de la Etapa de Empaquetado	16,22 seg
Presión Inicial del Aire de la Cavidad	0,1 MPa
Temperatura Inicial del Aire de la Cavidad	25 °C
Criterios de temperatura para llenado incompleto	100 °C
Límite de fuerza de cierre	100 t
Temperatura ambiente	30 °C

La Figura 4.25 permite visualizar el tiempo que le toma al proceso de inyección llenar el molde de la base del incinerador. Arrojando como resultado un tiempo de 4 segundos.



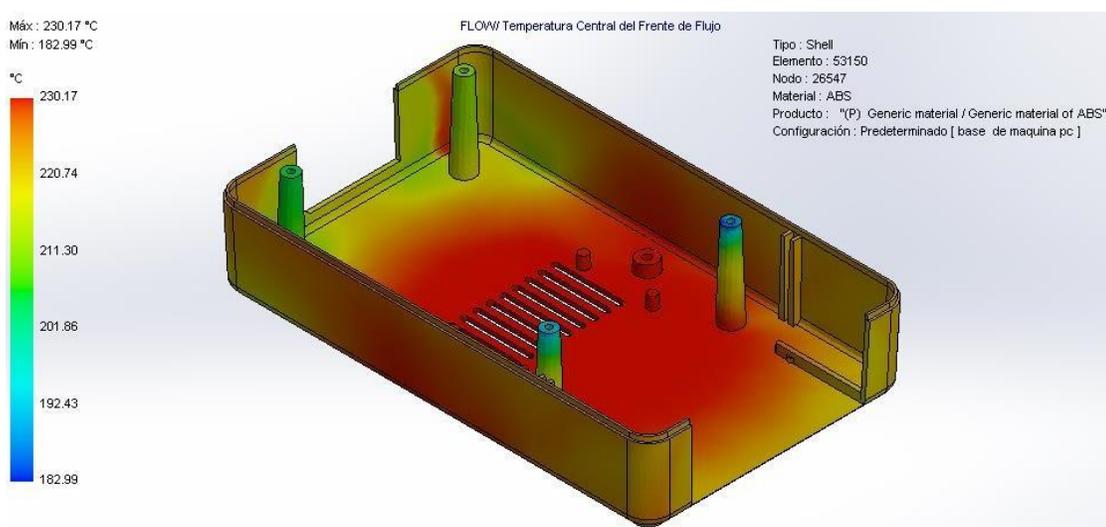
**Figura 4.25. Tiempo de llenado del molde de la base del incinerador**

En la Figura 4.26 se visualiza la presión distribuida sobre el molde después que este ha sido llenado por completo. Se puede observar que las zonas de color rojizo soportan las presiones más altas.



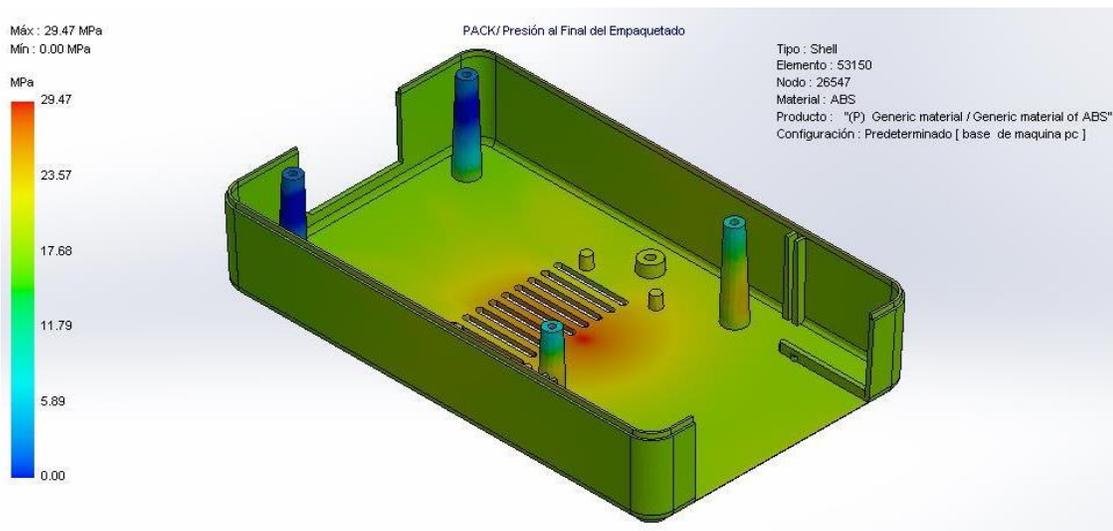
**Figura 4.26. Presión de llenado del molde de la base del incinerador al final de la inyección**

En la Figura 4.27 se visualiza el mapa de colores representativo de la temperatura del flujo. Se puede observar que la temperatura más alta se presenta en la zona central de la base del incinerador con un valor aproximado de 230 °C. Las temperaturas más bajas se presentan en la periferia del elemento.



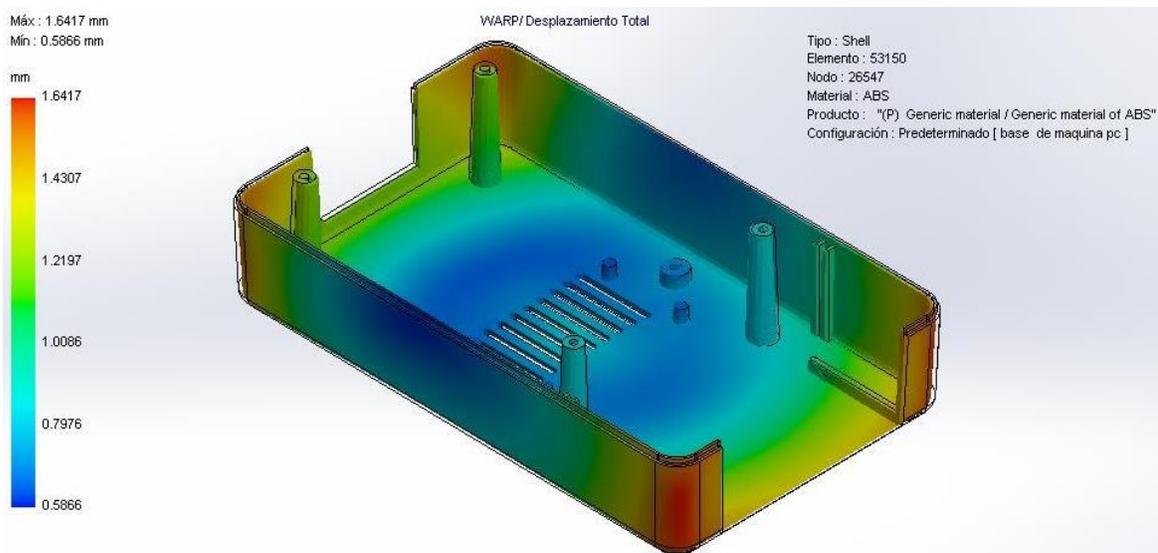
**Figura 4.27. Temperatura central frente al flujo de la base del incinerador**

La Figura 4.28 presenta la presión final del empaquetado en la base del incinerador. El punto de presión más alto se focaliza en la zona media de la base del incinerador, así como en las torres de sujeción.



**Figura 4.28. Presión en el molde al final del empaquetado de la base del incinerador**

La Figura 4.29 permite observar las zonas donde se provoca desplazamiento de material debido al proceso de inyección y el contacto del material con la superficie del molde. Esta medida se registra en mm y permite tomar correcciones en caso de que estos desplazamientos sean excesivos. Para el caso de la base del incinerador el desplazamiento máximo es de 1,6417 mm.



**Figura 4.29. Zonas de desplazamiento de material en la cavidad del molde de la base del incinerador**

En la Tabla 4.8, se observan los resultados del proceso de simulación de inyección de la base del incinerador, en donde se puede observar principalmente el tiempo de llenado, presión máxima y temperaturas de inyección.

**Tabla 4.8. Parámetros de llenado del molde de la base del incinerador**

Descripción	Unidades
Tiempo de llenado	4 seg
Temperatura Fusión Material Principal	230 °C
Temperatura pared molde	50 °C
Presión máxima de inyección	73,66 MPa
Límite de flujo	194 cc/s
Punto de cambio de flujo/empaquetado	100 %
Tiempo de mantenimiento de la presión	3,72 seg
Tiempo Total de la Etapa de Empaquetado	16,22 seg
Presión Inicial del Aire de la Cavidad	0,1 MPa
Temperatura Inicial del Aire de la Cavidad	25 °C
Criterios de temperatura para llenado incompleto	100 °C
Límite de fuerza de cierre	100 t
Temperatura ambiente	30 °C

## 4.7 Análisis de convergencia de los moldes

En esta sección se realizó el análisis de convergencia del método de elementos finitos de SolidWorks, para determinar el factor de seguridad de los moldes utilizando la precisión de las respuestas de convergencia de cada simulación.

El proceso para determinar la convergencia del modelo viene dado por la iteración de cada simulación variando el mallado del modelo desde un mallado grueso hasta un mallado fino. Para visualizar de mejor manera la convergencia del sistema se tomó en cuenta realizar diez iteraciones de elementos finitos, mallado libre basado en curvatura, presión máxima de inyección de cada uno de los moldes y restricciones de sujeción.

Por último, para obtener la mejor respuesta del análisis de convergencia se utilizó la Ecuación 3, para determinar el error porcentual de las discretizaciones y así tomar en cuenta la discretización que más se acerque al error porcentual de cero para determinar el factor de seguridad del modelo.

$$E_p = \left( \frac{\sigma_n - \sigma_{n-1}}{\sigma_{n-1}} \right) * 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

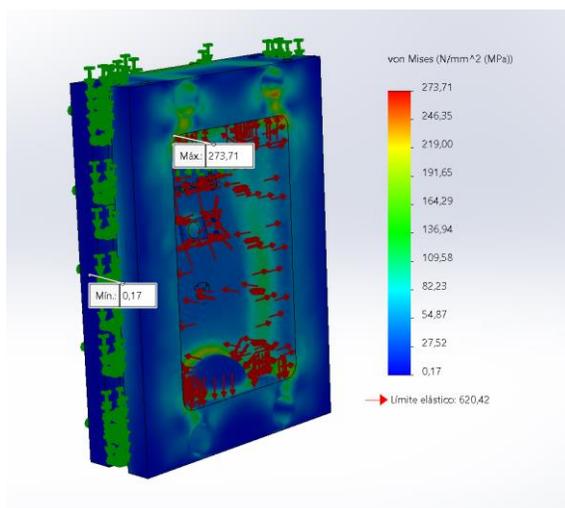
$E_p$  Error porcentual (%)

$\sigma_n$  Valor del esfuerzo de von Mises (MPa)

$\sigma_{n-1}$  Valor del esfuerzo de von Mises del anterior mallado (MPa)

### 4.7.1 Análisis numérico del molde de la tapa superior

El primer análisis de convergencia fue realizado a la cavidad de la tapa superior de la carcasa, se consideró la presión máxima de inyección de 78,50 MPa y restricciones de sujeción como se muestran en la Figura 4.30.



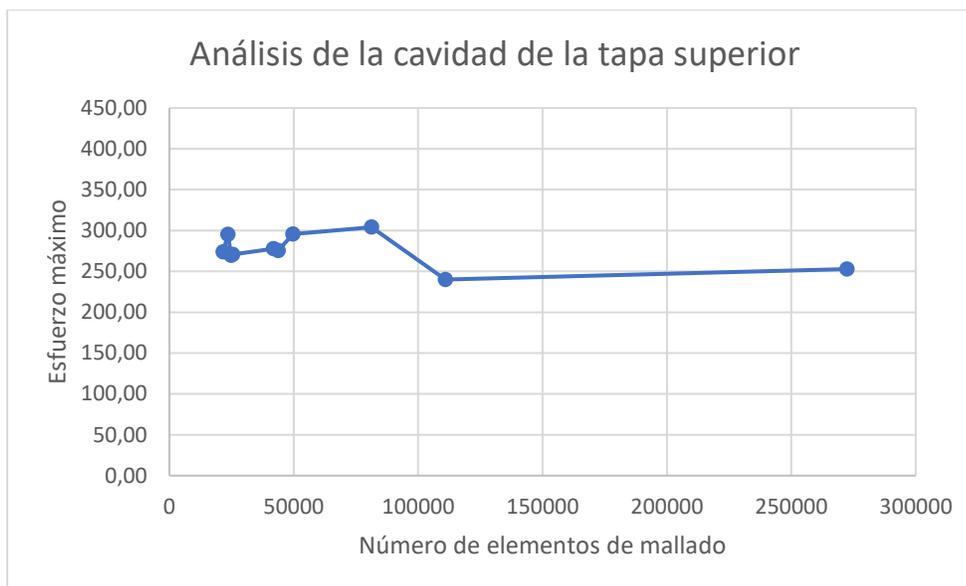
**Figura 4.30. Esfuerzo máximo de von Mises cavidad de tapa**

En la Tabla 4.9, se muestran los resultados de la variación de mallado en el diseño de la cavidad del molde de la tapa superior, tomando en cuenta el esfuerzo máximo de von Mises respecto a cada una de las discretizaciones.

**Tabla 4.9. Análisis de convergencia de la cavidad del molde de la tapa superior**

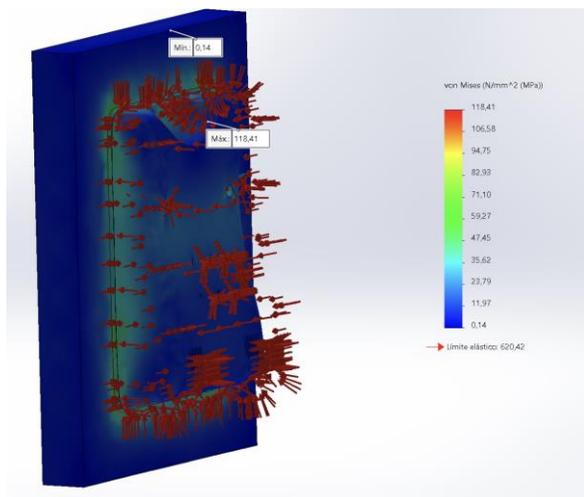
Mallado	Elementos finitos	Esfuerzo máximo	Error porcentual
1	21611	273,71	
2	23520	295,33	7,90%
3	24884	269,40	-8,78%
4	25401	270,69	0,48%
5	41893	277,87	2,65%
6	43717	275,36	-0,90%
7	49692	295,76	7,41%
8	81279	304,04	2,80%
9	111011	240,04	-21,05%
10	272406	252,77	5,30%

De acuerdo con la Tabla 4.9, los resultados gráficos de dispersión del número de elementos de mallado comparado con los esfuerzos máximos de von Mises dan como resultado la siguiente Figura 4.31.



**Figura 4.31. Análisis de convergencia de cavidad de tapa**

A continuación, se realizó el análisis de convergencia del núcleo de la tapa superior de la carcasa, se consideró la presión máxima de inyección de 78,50 MPa y restricciones de sujeción como se muestra en la Figura 4.32.



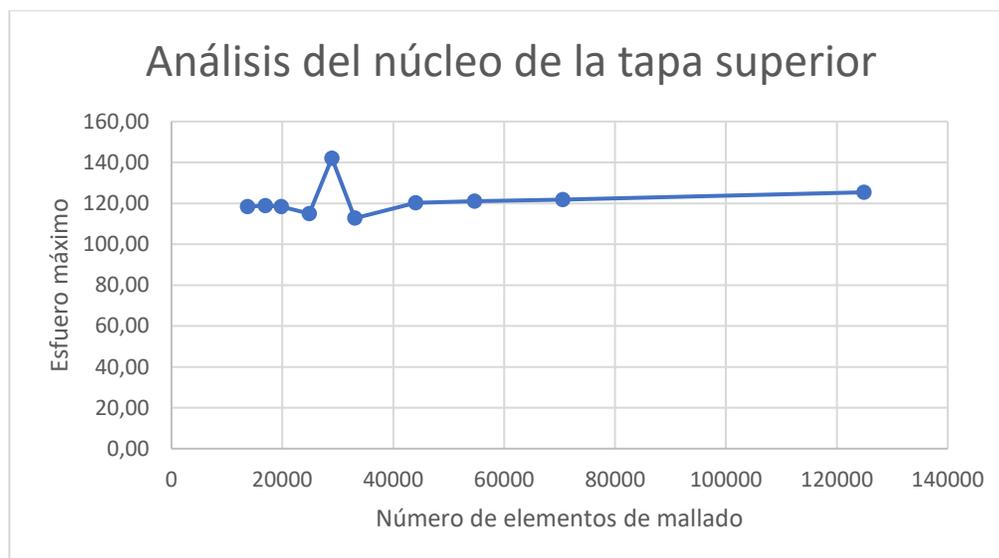
**Figura 4.32. Esfuerzo máximo de von Mises núcleo de la tapa**

En la Tabla 4.10, se muestran los resultados de la variación de mallado en el diseño del núcleo del molde de la tapa superior, tomando en cuenta el esfuerzo máximo de von Mises respecto a cada una de las discretizaciones.

**Tabla 4.10. Análisis de convergencia del núcleo de la tapa superior**

Mallado	Elementos finitos	Esfuerzo máximo	Error porcentual
1	13709	118,41	
2	16922	118,79	0,32%
3	19790	118,35	-0,37%
4	24853	115,01	-2,82%
5	28943	142,09	23,55%
6	33084	112,70	-20,68%
7	44028	120,17	6,63%
8	54681	120,98	0,67%
9	70566	121,84	0,71%
10	124899	125,36	2,89%

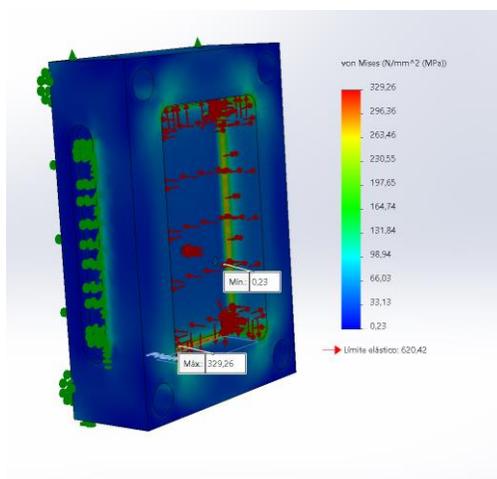
De acuerdo con la Tabla 4.10, los resultados gráficos de dispersión del número de elementos de mallado comparado con los esfuerzos máximos de von Mises dan como resultado la siguiente Figura 4.33.



**Figura 4.33. Análisis de convergencia del núcleo de la tapa**

#### 4.7.2 Análisis numérico del molde de la base

Se realizó el análisis de convergencia de la cavidad de la base de la carcasa, se consideró la presión máxima de inyección de 73,66 MPa y restricciones de sujeción como se muestra en la Figura 4.34.



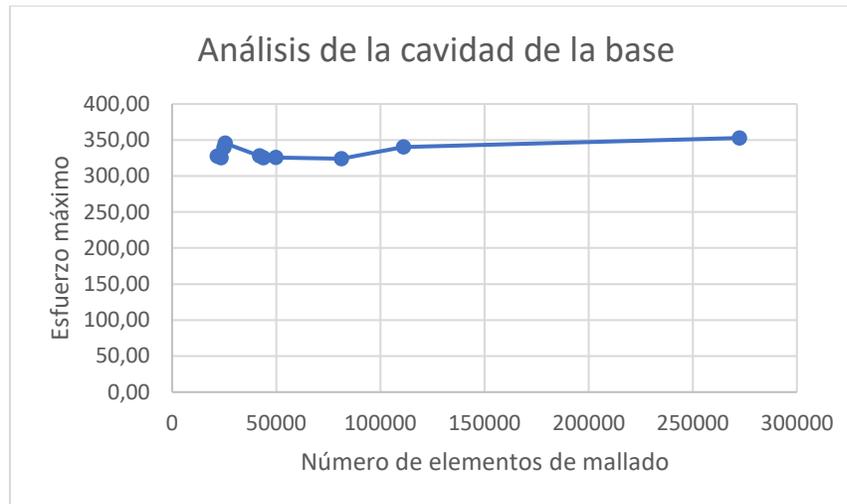
**Figura 4.34. Esfuerzo máximo de von Mises cavidad de la base**

En la Tabla 4.11, se muestran los resultados de la variación de mallado en el diseño de la cavidad del molde de la base, tomando en cuenta el esfuerzo máximo de von Mises respecto a cada una de las discretizaciones.

**Tabla 4.11. Análisis de convergencia de la cavidad de la base del incinerador**

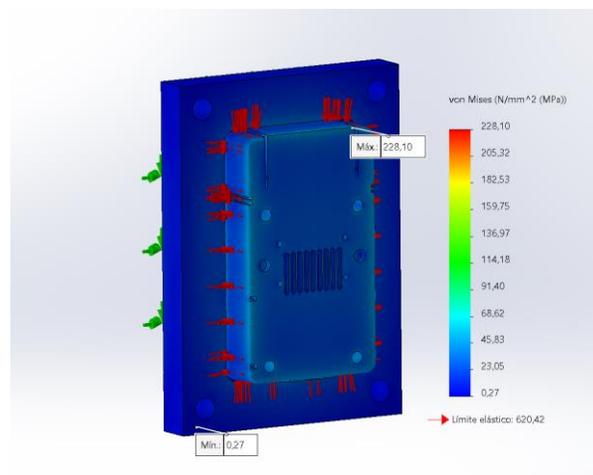
Mallado	Elementos finitos	Esfuerzo máximo	Error porcentual
1	21611	327,47	
2	23520	325,33	-0,65%
3	24884	339,40	4,32%
4	25401	345,69	1,85%
5	41893	327,87	-5,15%
6	43717	325,36	-0,77%
7	49692	325,76	0,12%
8	81279	324,04	-0,53%
9	111011	340,04	4,94%
10	272406	352,77	3,74%

De acuerdo con la Tabla 4.11, los resultados gráficos de dispersión del número de elementos de mallado comparado con los esfuerzos máximos de von Mises dan como resultado la siguiente Figura 4.35.



**Figura 4.35. Análisis de convergencia de cavidad de la base**

Se realizó el análisis de convergencia del núcleo del molde de la base, se consideró la presión máxima de inyección de 73,66 MPa y restricciones de sujeción como se muestra en la Figura 4.36.



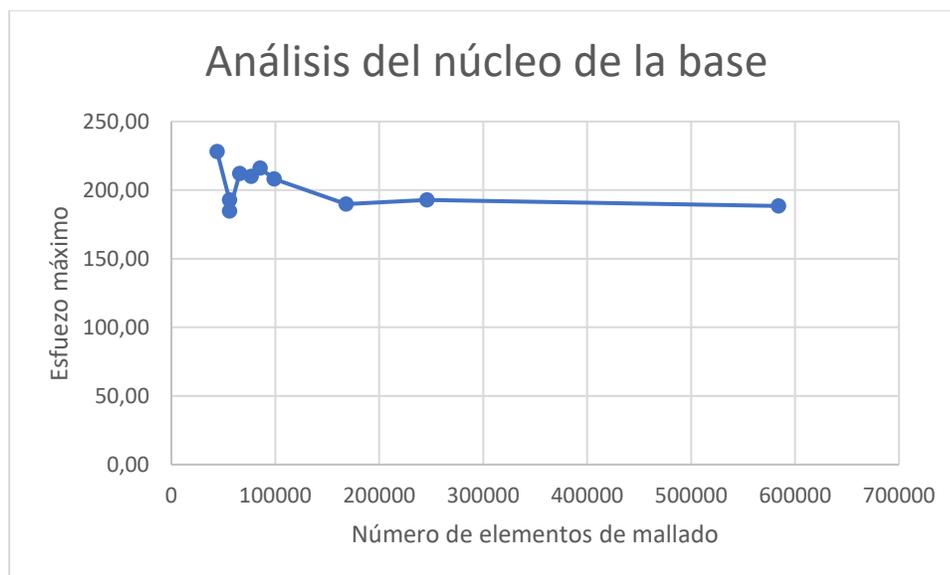
**Figura 4.36. Esfuerzo máximo de von Mises núcleo de la base**

En la Tabla 4.12, se muestran los resultados de la variación de mallado en el diseño del núcleo del molde de la base, tomando en cuenta el esfuerzo máximo de von Mises respecto a cada una de las discretizaciones.

**Tabla 4.12. Análisis de convergencia del núcleo de la base del incinerador**

Mallado	Elementos finitos	Esfuerzo máximo	Error porcentual
1	43994	228,10	
2	55982	192,87	-15,44%
3	55982	184,83	-4,17%
4	65854	212,13	14,77%
5	76854	209,98	-1,01%
6	85467	215,98	2,86%
7	98979	208,10	-3,65%
8	167933	189,87	-8,76%
9	245853	192,92	1,61%
10	584045	188,49	-2,30%

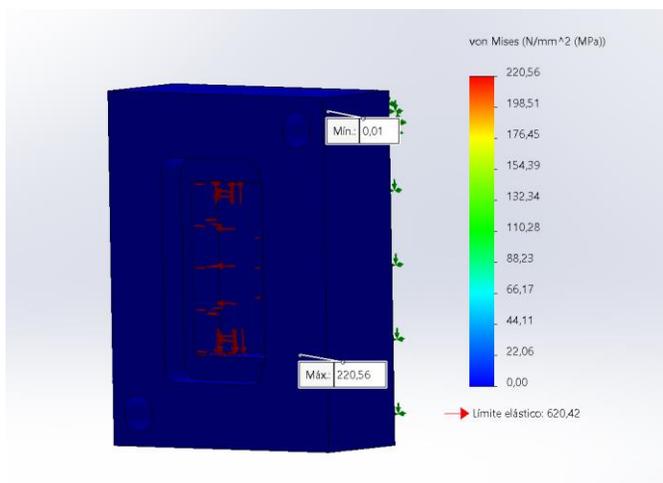
De acuerdo con la Tabla 4.12, los resultados gráficos de dispersión del número de elementos de mallado comparado con los esfuerzos máximos de von Mises dan como resultado la siguiente Figura 4.37.



**Figura 4.37. Análisis de convergencia del núcleo de la base**

### 4.7.3 Análisis numérico del molde del portaagujas

Se realizó el análisis de convergencia de la cavidad del portaagujas, se consideró la presión máxima de inyección de 15,91 MPa y restricciones de sujeción como se muestra en la Figura 4.38.



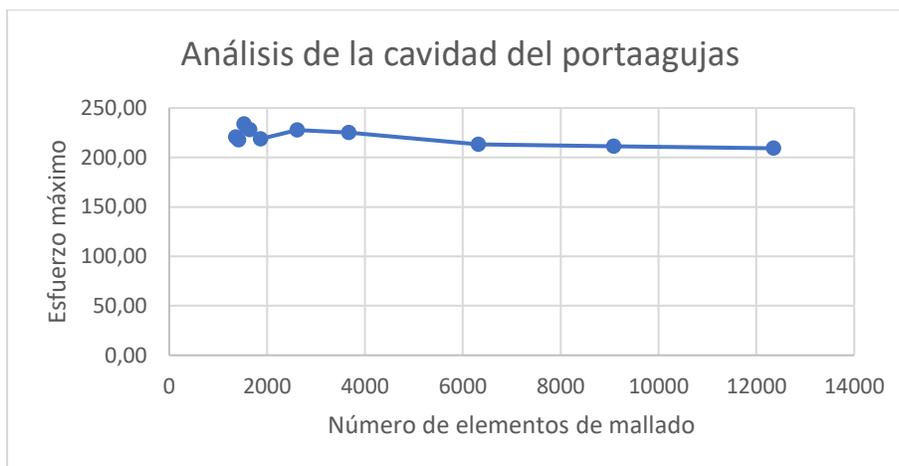
**Figura 4.38. Esfuerzo máximo de von Mises cavidad del portaagujas**

En la Tabla 4.13, se muestran los resultados de la variación de mallado en el diseño de la cavidad del molde del portaagujas, tomando en cuenta el esfuerzo máximo de von Mises respecto a cada una de las discretizaciones.

**Tabla 4.13. Análisis de convergencia de la cavidad del portaagujas**

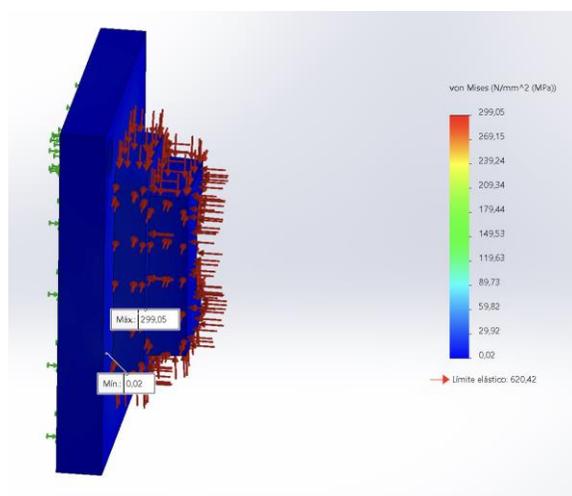
Mallado	Elementos finitos	Esfuerzo máximo	Error porcentual
1	1359	220,56	
2	1415	217,88	-1,22%
3	1526	233,93	7,37%
4	1647	227,89	-2,58%
5	1866	218,75	-4,01%
6	2614	227,58	4,04%
7	3666	225,04	-1,12%
8	6316	213,07	-5,32%
9	9080	211,42	-0,77%
10	12349	209,25	-1,03%

De acuerdo con la Tabla 4.13 los resultados gráficos de dispersión del número de elementos de mallado comparado con los esfuerzos máximos de von Mises dan como resultado la siguiente Figura 4.39.



**Figura 4.39. Análisis de convergencia de cavidad del portaagujas**

Se realizó el análisis de convergencia del núcleo del portaagujas, se consideró la presión máxima de inyección de 15,91 MPa y restricciones de sujeción como se muestra en la Figura 4.40.



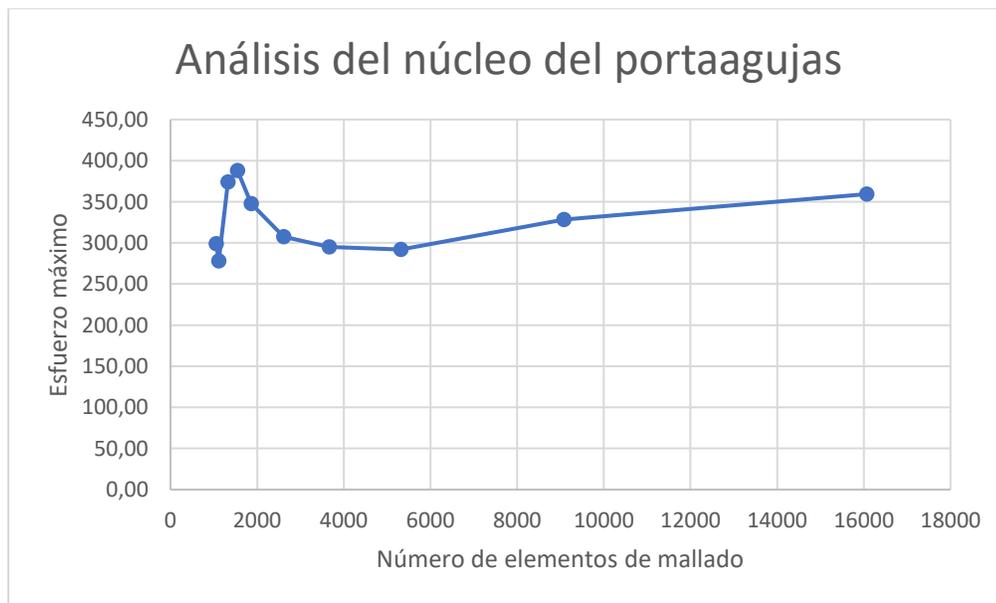
**Figura 4.40. Esfuerzo máximo de von Mises núcleo del portaagujas**

En la Tabla 4.14, se muestran los resultados de la variación de mallado en el diseño del núcleo del molde del portaagujas, tomando en cuenta el esfuerzo máximo de von Mises respecto a cada una de las discretizaciones.

**Tabla 4.14. Análisis de convergencia del núcleo del portaagujas**

Mallado	Elementos finitos	Esfuerzo máximo	Error porcentual
1	1059	299,05	
2	1115	277,88	-7,08%
3	1326	373,93	34,57%
4	1547	387,89	3,73%
5	1866	347,75	-10,35%
6	2614	307,58	-11,55%
7	3666	295,04	-4,08%
8	5316	292,07	-1,01%
9	9080	328,20	12,37%
10	16067	359,25	9,46%

De acuerdo con la Tabla 4.14 los resultados gráficos de dispersión del número de elementos de mallado comparado con los esfuerzos máximos de von Mises dan como resultado la siguiente Figura 4.41.



**Figura 4.41. Análisis de convergencia del núcleo del portaagujas**

#### 4.7.4 Análisis del factor de seguridad

En esta sección se determinó el factor de seguridad de cada uno de los moldes de inyección, se tomaron en cuenta los valores del error porcentual cercanos a cero de las diferentes tablas de análisis de convergencia. Para calcular el factor de seguridad se utilizó la Ecuación 4.

$$N = \left( \frac{S_y}{\sigma_{VM}} \right) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

$N$  Factor de seguridad

$S_y$  Límite elástico del material (MPa)

$\sigma_{VM}$  Esfuerzo máximo de von Mises (MPa)

De acuerdo con lo mencionado, se realizó el cálculo de los factores de seguridad de cada los núcleos y cavidades de los moldes asumiendo el límite elástico 620,42 MPa del acero aleado de acuerdo con el dato proporcionado por SolidWorks. Empleando la Ecuación 4, se presenta la Tabla 4.15.

**Tabla 4.15. Factor de seguridad de los moldes**

Pieza	Esfuerzo máximo (MPa)	Factor de seguridad
Cavidad de la cubierta superior	270,69	2,29
Núcleo de la cubierta superior	118,79	5,22
Cavidad de la base del incinerador	325,76	1,90
Núcleo de la base del incinerador	209,98	2,95
Cavidad de portaagujas	211,42	2,93
Núcleo de portaagujas	292,07	2,12

#### 4.8 Análisis de costos

En esta sección se realizó el análisis de costos para determinar la inversión en la fabricación del incinerador eléctrico portátil de agujas hipodérmicas. Se tomó en cuenta las siguientes características:

- Materia prima
- Diseño 3D
- Manufactura
- Montaje

De acuerdo con las características mencionadas se realizó el análisis de costos de la fabricación de los moldes. A continuación, se presenta la Tabla 4.16, en donde se muestra la inversión del acero aleado como materia prima referenciada del proveedor de aceros Hugo Guerrero.

**Tabla 4.16. Inversión de la materia prima**

<b>Elemento</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Precio (\$)</b>
Cubierta superior	100	500
Base del incinerador	88	440
Porta agujas	30	150
<b>TOTAL</b>	<b>218</b>	<b>1090</b>

La inversión del modelado en 3D de los moldes se determinó de acuerdo con las horas empleadas en el diseño. En la Tabla 4.17, se muestra el tiempo y el precio estimado en cada diseño referenciado de la empresa Servicios Industriales.

**Tabla 4.17. Inversión del modelado en 3D**

<b>Elemento</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Precio (\$)</b>
Cubierta superior	30	600
Base del incinerador	30	500
Porta agujas	20	300
<b>TOTAL</b>	<b>80</b>	<b>1400</b>

Se realizó el análisis de costos de la inversión de la manufactura industrial del incinerador eléctrico portátil de agujas Hipodérmicas con el propósito de comparar la inversión de la manufactura industrial referenciada de la empresa Servicios Industriales, con la inversión de un prototipo en impresión 3D de la empresa Ingenious Works. A continuación, se presenta en la Tabla 4.18, la justificación de la inversión de la fabricación de la cubierta superior de la carcasa.

**Tabla 4.18. Inversión de manufactura del molde de la cubierta superior de la carcasa**

<b>Proceso</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Precio (\$)</b>
Fresado de placas	20	300
Rectificado de placas	6	180
Erosionado de placas	20	400
Pulido de placas	40	600
Torneado de columnas y bujes	6	120
Torneado de botadores	5	100
Tratamiento térmico de botadores, bujes y columnas	2	80
<b>TOTAL</b>	<b>99</b>	<b>1780</b>

En la Tabla 4.19, se muestra el proceso, tiempo y costo de fabricación del molde de la base del incinerador.

**Tabla 4.19. Inversión de manufactura del molde de la base de incinerador**

<b>Proceso</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Precio (\$)</b>
Fresado de placas	20	300
Rectificado de placas	6	180
Erosionado de placas	20	300
Pulido de placas	40	500
Torneado de columnas y bujes	6	120
Torneado de botadores	5	100
Tratamiento térmico de botadores, bujes y columnas	2	80
<b>TOTAL</b>	<b>99</b>	<b>1580</b>

En la Tabla 4.20, se muestra el proceso, tiempo y costo de fabricación del molde del portaagujas.

**Tabla 4.20. Inversión de manufactura del molde del portaagujas**

<b>Proceso</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Precio (\$)</b>
Fresado de placas	10	100
Rectificado de placas	4	120
Erosionado de placas	5	100
Pulido de placas	20	300
Torneado de columnas y bujes	6	120
Torneado de botadores	2	60
Tratamiento térmico de botadores, bujes y columnas	2	80
<b>TOTAL</b>	<b>49</b>	<b>880</b>

De acuerdo con la Tabla 4.18, Tabla 4.19 y Tabla 4.20. Se realizó la sumatoria de la inversión de la manufactura empleada en cada uno de los moldes del incinerador eléctrico portátil de agujas hipodérmicas. Se presenta la Tabla 4.21, en donde se observa cada uno de los moldes con los tiempos empleados de manufactura y los precios estimados por cobrar.

**Tabla 4.21. Inversión de la manufactura de los moldes**

<b>Elemento</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Precio (\$)</b>
Cubierta superior	99	1780
Base del incinerador	99	1580
Porta agujas	49	880
<b>TOTAL</b>	<b>247</b>	<b>4240</b>

Por último, una de las características mencionadas fue el montaje de cada uno de los moldes, dicho proceso toma un tiempo prolongado por el peso de cada molde y la exactitud de ensamblado para lo cual se presenta la Tabla 4.22, en donde se muestran los precios estimados de cada montaje por la empresa Servicios Industriales.

**Tabla 4.22. Inversión en el montaje de los moldes**

<b>Elemento</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Precio (\$)</b>
Cubierta superior	16	320
Base del incinerador	16	320
Porta agujas	10	200
<b>TOTAL</b>	<b>42</b>	<b>840</b>

Los costos obtenidos en el proceso de fabricación del incinerador eléctrico portátil de agujas hipodérmicas se presentan en la

Tabla 4.23, en donde se muestran los detalles de la inversión de cada una de las características.

**Tabla 4.23. Inversión de la fabricación de los moldes**

<b>Descripción</b>	<b>Precio (\$)</b>
Materia prima	1090
Diseño 3D	1400
Manufactura	4240
Montaje	840
<b>TOTAL</b>	<b>7570</b>

Para realizar una comparación de inversión entre la manufactura industrial y el prototipado 3D, se presenta en la Tabla 4.24, el análisis de costos del prototipado en impresión 3D de los moldes, utilizando una impresora Prusa con filamento PETG. A continuación, se presenta el detalle del peso del filamento utilizado por pieza y el costo de impresión.

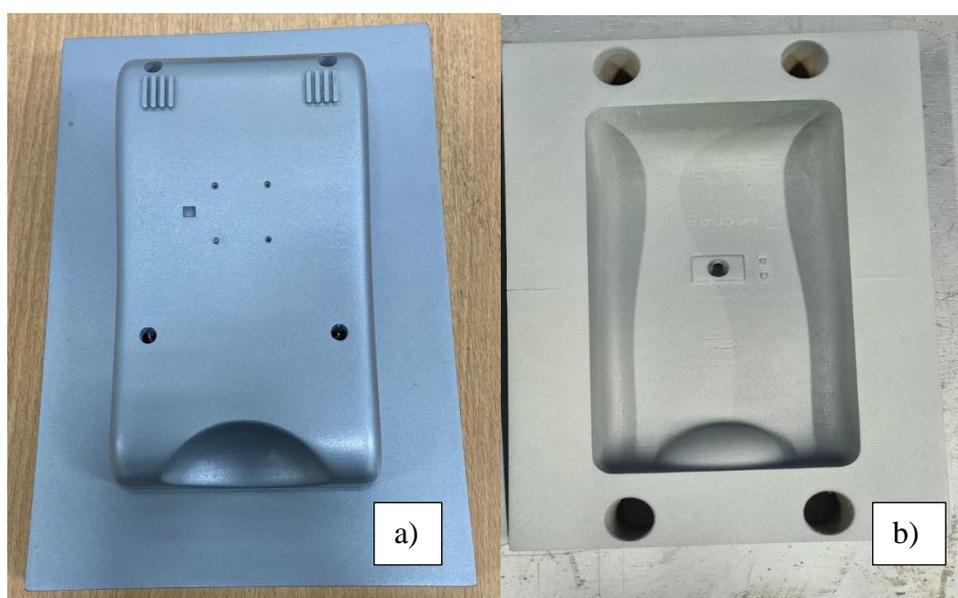
**Tabla 4.24. Inversión de prototipado en impresión 3D**

<b>Pieza</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Precio (\$)</b>
Molde de la cubierta superior	456	91,20
Contra molde de la cubierta superior	524	104,80
Molde de la base del incinerador	452	90,40
Contra molde de la base del incinerador	601	120,20
Molde de portaagujas	165	33,00
Contra molde de portaagujas	93	18,60
<b>TOTAL</b>	<b>2291</b>	<b>458,20</b>

De acuerdo con el análisis de costos de fabricación de los moldes por medio de manufactura industrial se estimó una versión total de 7570\$ y en impresión 3D se estimó una inversión de 458,20\$. Por lo tanto, se consideró realizar el prototipado de los moldes por medio de impresión 3D para reducir los costos de inversión. La validación de los moldes se realizó por medio de la empresa Servicios Industriales, los cuales cuentan con personal certificado en la fabricación de moldes.

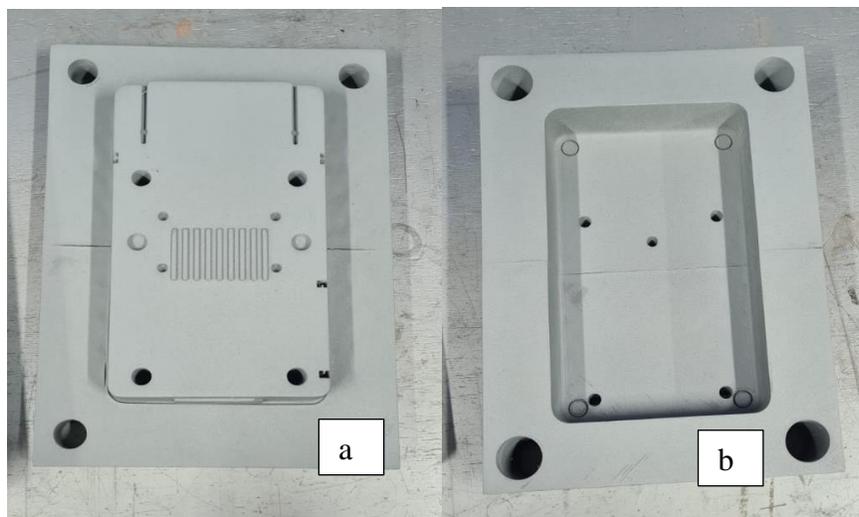
#### 4.9 Prototipado de moldes en impresión 3D

En esta sección se realizó el prototipado 3D de los moldes de inyección del incinerador eléctrico portátil de agujas Hipodérmicas. El prototipado se realizó a escala real para validar el cumplimiento dimensional y funcional de los moldes por medio de la empresa Servicios Industriales. En la Figura 4.42, se presentan los prototipados en impresión 3D con posprocesado de la cubierta superior de la carcasa.



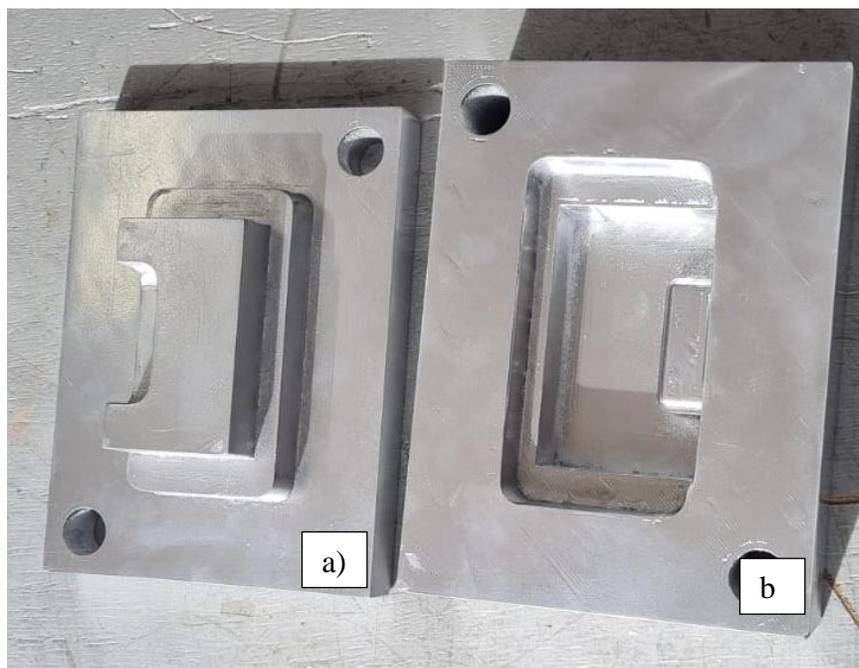
**Figura 4.42. Prototipado del molde de la tapa superior. a) Núcleo b) Cavidad**

En la Figura 4.43, se presentan los prototipados en impresión 3D con posprocesado de la base del incinerador.



**Figura 4.43. Prototipado del molde de la base. a) Núcleo b) Cavity**

En la Figura 4.44, se presentan los prototipados en impresión 3D con posprocesado del portaagujas.



**Figura 4.44. Prototipado del molde del portaagujas. a) Núcleo b) Cavity**

Con el objetivo de validar los prototipos de los moldes se realizó el análisis profesional por medio de la empresa Servicios Industriales de cada uno de los moldes fabricados en impresión en 3D, dicha empresa certificó mediante el anexo 19 la funcionalidad y viabilidad de dichos prototipos.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

En este capítulo se analiza de manera resumida las partes esenciales de este proyecto.

- Mediante la simulación de los procesos de inyección se determina que la presión de inyección para el correcto funcionamiento de los tres moldes es de 15,91 Mpa para el molde de la caja de desechos. 73,66 Mpa para la base del incinerador y 78,50 Mpa para la cubierta superior o tapa del incinerador, Otro parámetro importante es la temperatura de ingreso del material que es de aproximadamente 230 °C, también es necesario realizar un precalentamiento de 50 °C a cada uno de los moldes. Una vez finalizado el proceso de inyección al material le toma aproximadamente 12 segundos el solidificarse antes de la extracción de la pieza por desmoldeo. Al hacer uso de estos parámetros se garantiza un resultado libre de imperfecciones como porosidad, rechupes y fisuras en las piezas.
  
- El material seleccionado para la construcción de los moldes es el Acero Aleado, dada su alta dureza de 212 HBW, elongación de 45%, densidad de 7900 Kg/m<sup>3</sup> y alto punto de fusión para soportar las presiones y temperaturas de la inyectora BL90EKH/C220 cumpliendo con los 5000 ciclos mínimos requeridos por el cliente. Las dimensiones de los moldes que se observan en la tabla 4.2. cumplen con los requerimientos mínimos de la maquina inyectora, permitiendo una correcta sujeción y extracción de la pieza a inyectar-

- Los puntos de inyección idóneos para un correcto llenado de las cavidades fueron establecidos mediante simulación del proceso de inyección con Solidworks plastics donde se observó que la temperatura al final del ciclo de inyección es uniforme, lo que indica que el flujo de material de 194 cc/s es adecuado y evita defectos dimensionales. De igual manera la posición de los extractores y puntos de refrigeración fueron definidos con el uso de herramientas CAD-CAM que permitieron detectar errores de diseño con antelación para realizar las debidas correcciones.
- Mediante el uso de SolidCam, se establece un tiempo de 35 horas para el mecanizado de todas las piezas que conforman los 3 moldes con el herramental que se observa en el apartado de Anexos con esto fue posible determinar una metodología de fabricación CAD-CAM-CAE-PR.
- Con la finalidad de establecer los factores de seguridad de cada molde se realizó un análisis de convergencia en SolidWorks con un numero de 10 iteraciones con variación en el mallado para cada caso consiguiendo un diseño con un factor de seguridad mayor a 2 que asegura la vida útil de los moldes para los ciclos requeridos por el cliente.
- Con ayuda del desarrollo de un prototipo en impresión 3D, se consigue verificar las dimensiones de los moldes, obteniendo un error dimensional de 0,5%, y además se comprueba los ángulos de desmoldeo teórico de 8°. Otro factor determinante para el diseño es la comprobación del ensamble de todas sus partes y comprobación de correcto

funcionamiento del sistema de extracción y sujeción. Finalmente se envió los prototipos de los moldes a profesionales en moldes, los cuales certificaron la funcionalidad y viabilidad de los moldes para el proceso de inyección de ABS, tomando en cuenta las dimensiones, análisis de esfuerzos, presiones de inyección, tiempo de refrigeración, desmoldeo, y geometría de cada uno de los prototipos.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Para el proceso de mecanizado del molde se recomienda tomar en cuenta todas las consideraciones necesarias para obtener el código G de manufactura CNC, puesto que una mala elección de la herramienta ya sea en su diámetro o longitud puede provocar daños irreversibles en la superficie del molde mientras este se está mecanizando.
- Una mejor validación vendría dado por un prototipo funcional en metales blandos como aluminios, ya que esto podría evidenciar el correcto funcionamiento de los sistemas de inyección, expulsión y refrigeración dando un resultado mucho más factible.
- Basados en la experiencia en procesos de inyección de polímeros se pueden realizar nuevas simulaciones utilizando parámetros más exactos para obtener mejores resultados.
- Los costos del proceso de mecanizado pueden reducirse realizando modificaciones en los componentes electrónicos que permitan la reducción del tamaño de la maquina y por ende de su carcasa.

## REFERENCIAS

- [1] Organización Internacional del Trabajo, La evolución tecnológica y el empleo en las industrias de productos alimenticios y bebidas, Ginebra, Suiza: Organización Internacional del Trabajo, 2018.
- [2] Sistema de Indicadores de Producción SIPRO, «Índice de Producción de la Industria Manufacturera,» INEC, Quito, Ecuador, 2020.
- [3] E. Eljarrat, «The Conversation,» 7 Enero 2021. [En línea]. Available: <https://theconversation.com/danos-colaterales-de-la-covid-19-el-resurgir-del-plastico-137803>.
- [4] A. Tadesse, A. Worku y A. Nega, «Medical Waste Collectors in Eastern Ethiopia are exposed to High Sharp Injury,» *Journal of Prevention & Infection Control*, pp. 1-10, 2016.
- [5] W. D. J. Callister, Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales 2, Barcelona, España: Editorial Reverté S.A, 2007.
- [6] S. A. Zambrano Guayco, «Diseño y simulación de un molde de inyección para la fabricación de cuerpos dispensadores de agua para refrigeradoras,» Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, 2010.
- [7] A. F. Fonseca Muncha, «Diseño y construcción de un molde de inyección para el soporte de unión entre el casco y la carcasa de la orejera para la Empresa Halley Corporación,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2018.
- [8] S. R. Polanco y L. Quispe, «Aplicación e importancia de los polímeros reciclados y residuos de fibras en la obtención de compuestos poliméricos,» de *Eventos Científicos de la Universidad Peruana Unión, 7ma Jornada Científica de estudiantes-FIA*, 2018.
- [9] X. Han, X. Lu y R. Vogt, «An optimized density-based approach for extracting microplastics from soil and sediment samples,» *Environmental Pollution*, n° 254, 2019.
- [10] D. López Astorquiza, Artist, *Simulación computacional de propiedades estructurales de polímeros biodegradables*. [Art]. Universidad EAFIT, 2021.
- [11] A. S. Esfandabad, S. M. Motevalizadeh, R. Sedghi, P. Ayar y S. M. Asgharzadeh, «Fracture and mechanical properties of asphalt mixtures containing granular polyethylene terephthalate (PET),» *Construction and Building Materials*, n° 259, 2020.
- [12] J. Wang, Q. Dai, R. Si y S. Guo, «Mechanical, durability, and microstructural properties of macro synthetic polypropylene (PP) fiber-reinforced rubber concrete,» *Journal of Cleaner Production*, n° 234, pp. 1351-1364, 2019.

- [13] Polymers, «Polypropylene (PP),» 4 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://polymersinchemistry.blogspot.com/2020/05/polypropylene-pp.html>. [Último acceso: 2022 Abril 15].
- [14] K. Kik, B. Bukowska y P. Sicin'ska, «Polystyrene nanoparticles: Sources, occurrence in the environment, distribution in tissues, accumulation and toxicity to various organisms,» n° 262, 2020.
- [15] I. Nikbin y M. Golshekan, «The effect of expanded polystyrene synthetic particles on the fracture parameters, brittleness and mechanical properties of concrete,» *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 2018.
- [16] K. Mahmoud, E. Lacomme, M. Sayyed, Ö. Özpolat y O. Tashlykov, «Investigation of the gamma ray shielding properties for polyvinyl chloride reinforced with chalcocite and hematite minerals,» *Heliyon*, n° 6, 2020.
- [17] C. V. Aguirre Paredes y J. C. Proaño Nuñez, Artists, *Desarrollo de un sistema de automatización para una inyectora de plástico MIR 65 en la empresa Insoplastic*. [Art]. Universidad Politécnica Salesiana, 2018.
- [18] M. E. Ordoñez Rubio, «Moldeo Científico en el desarrollo de producto,» *Simiyá Revista Científica*, n° 11, pp. 33-42, 2018.
- [19] M. Á. Guandulay-Alcázar, M. Á. Ferrer-Almaraz, R. Ledesmajaime y G. Ramos Làzaro, «Diseño y análisis de estructura de apoyo para moldes de inyección,» *Revista de Tecnologías en Procesos Industriales*, vol. 2, n° 2, pp. 15-23, 2018.
- [20] E. I. Rosales, M. Armador Pineda, L. Ibañez y F. Huguet, «Fabricación de moldes de inyección de plásticos por medio de CAD/CAM/CAE,» de *I Seminario de Difusión de Investigación*, 2019.
- [21] J. A. Arellano Guevara, Artist, *Proceso de fabricación de una articulación policéntrica de rodilla, usando la metodología de diseño para la fabricación y manufactura (DFMA)*. [Art]. Universidad Técnica Del Norte, 2022.
- [22] Optris, «Optris Infrared Measurements,» [En línea]. Available: <https://www.optris.es/control-de-la-temperatura-en-la-industria-plastico>. [Último acceso: 31 07 2022].
- [23] N. m. solutions, «Blog Molde de Inyección,» 08 2022. [En línea]. Available: <https://npimoldingsolutions.com/molde-de-inyeccion-que-es-sus-caracteristicas-y-sus-partes#:~:text=Cavidad%3A%20Es%20el%20espacio%20donde,regular%20la%20temperatura%20del%20molde..>
- [24] NanoPlas, «Mold Maintenance Products,» 03 08 2022. [En línea]. Available: <https://nanomoldcoating.com/es/how-plastic-injection-molding-pressures-are->

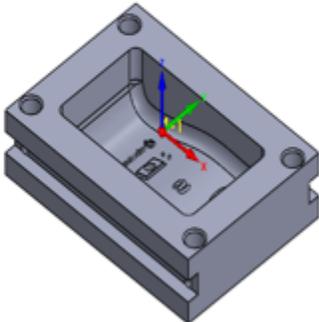
- classified/#:~:text=Las%20presiones%20de%20moldeo%20por%20inyecci%C3%B3n%20de%20pl%C3%A1stico%20se%20clasifican,a%20menudo%20se%20denomina%20tonelaje..
- [25] C. sectoriales, «Interempresas plástico,» 03 08 2022. [En línea]. Available: [https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/227098-Temperatura-de-molde-\(V\).html](https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/227098-Temperatura-de-molde-(V).html).
- [26] Borja y D. B. Zabala Igartua, «Predicción del desgaste de moldes de inyección de plástico y aluminio,» Bilbao, 2017.
- [27] T. E. Graedel, «Material Flow Analysis from Origin to Evolution,» *Environmental Science & Technology*, pp. A-I, 2019.
- [28] N. Rahishahanim Shahbudin y N. Ahmad Kamal, «Establishment of material flow analysis (MFA) for heavy metals in a wastewater system,» *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 12, pp. 1407-1418, 2021.
- [29] ESSSS, «Método de los elementos finitos: ¿Qué es?,» Blog ESSSS, [En línea]. Available: <https://www.esss.co/es/blog/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/>.
- [30] V. B. Colque Jamachi, Artist, *El análisis de elementos finitos en ortodoncia*. [Art]. Universidad Inca Garcilaso de la Vega, 2019.
- [31] nctech, «The new tech company Solidworks plastics,» 08 2022. [En línea]. Available: <https://nctech.com.mx/blog/ingenieria-digital/solidworks-plastics-2/>.
- [32] goengineer, «Solidworks Plastics, plastic melt flow simulation software,» 08 2022. [En línea]. Available: <https://www.goengineer.com/solidworks/simulation/plastics>.
- [33] alignex, «Alignex Blog: Which CAM Solution Fits you?,» 08 2022. [En línea]. Available: <https://blog.alignex.com/what-cam-they-all-do>.
- [34] 3DCadPortal, «3DCadPortal 1er portal CAD/CAM/CAE,» 08 2022. [En línea]. Available: <https://www.3dcadportal.com/cam-works.html>.
- [35] H. HAAS, «Haas F1 Team ¿Qué son los códigos G?,» 08 2022. [En línea]. Available: <https://www.haascnc.com/es/service/service-content/guide-procedures/what-are-g-codes.html>.
- [36] M. mundial, «Grados material mundial,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.materialmundial.com/sae-aisi-acero-4140-ficha-tecnica-propiedades/>.
- [37] easyworks, «9 PASOS PARA GENERAR EL CÓDIGO CNC CON SOLIDWORKS CAM,» [En línea]. Available: <https://easyworks.es/9-pasos-para-generar-el-codigo-cnc-con-solidworks-cam/>. [Último acceso: 05 08 2022].
- [38] Maquinaria industrial Cabrera S.A., «Catálogo de inyección,» Guadalajara.

- [39] «Polyethylene terephthalate (PET),» PHÚ AN PE , Enero 2021. [En línea]. Available: <https://phuanpe.com/wp-content/uploads/2021/01/PET2-735x400.jpg>. [Último acceso: Abril 2022].
- [40] C. Oliveria, M. Guimarañes, J. Teixeira y A. L. Nazareth, «Morphological, mechanical, and thermal properties of PP/SEBS/talc composites,» *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, pp. 1-19, 2019.
- [41] S. Madubhashini, «Polyethylene Terephthalate - PET,» Learnbin, 5 November 2021. [En línea]. Available: <https://learnbin.net/polyethylene-terephthalate/>. [Último acceso: 15 Abril 2022].
- [42] «PET (Polyethylene terephthalate),» PlasticFinder, [En línea]. Available: <https://www.plasticfinder.it/en/pet/pet-polietilen-tereftalato>. [Último acceso: 15 Abril 2022].
- [43] R. Larrainzar-Garijo, J. R. Caeiro, M. Marco, E. Giner y M. H. Miguélez, «Validación experimental de un modelo de análisis de elementos finitos en fractura de cadera y su aplicabilidad clínica,» *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología*, pp. 1-9, 2018.
- [44] A. Rama Krishna, K. Ranghavendra, V. Ritu y K. Anusha, «Conventional and Contemporary polymers for the fabrication of denture prosthesis: part I – Overview, composition and properties,» *International Journal of Applied Dental Sciences*, vol. 1, n° 4, pp. 82-85, 2015.
- [45] D. Systemes, «SOLIDWORKS LATAM y España: Los 5 Pasos de SolidWorks CAM,» Dassault Systemes, [En línea]. Available: [https://blogs.solidworks.com/solidworkslatamyesp/solidworks-blog/solidworks\\_cam/los-5-pasos-de-solidworks-cam/](https://blogs.solidworks.com/solidworkslatamyesp/solidworks-blog/solidworks_cam/los-5-pasos-de-solidworks-cam/). [Último acceso: 05 08 2022].
- [46] J. T. Málaga, G. Vera y R. O. Ramos, «Tipos, métodos y estrategias de investigación científica,» *Pensamiento y Acción*, n° 5, pp. 145-154, 2008.
- [47] G. M. E. B. Paz, *Metodología de la investigación*, México: Grupo Editorial Patria, 2014.
- [48] G. G. Dávila, *Metodología de la investigación*, México: Grupo editorial Pátria, 2015.

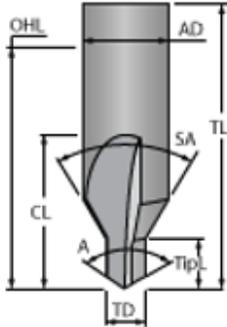
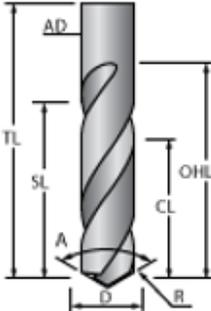
# **ANEXOS**

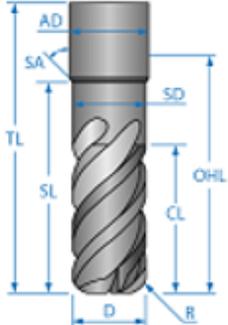
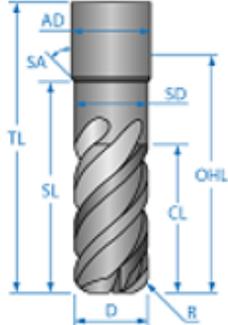
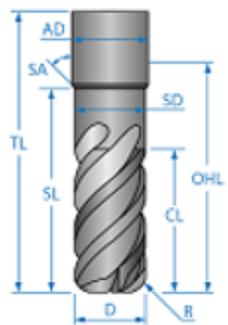
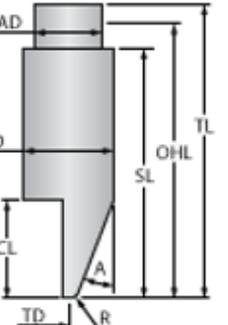
## ANEXO 1: HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA EL DESBASTE DEL MOLDE DE INYECCIÓN DE LA CUBIERTA SUPERIOR.

INFORMACIÓN DEL MECANIZADO	
UNIDADES	mm
TIPO DE MECANIZADO	Fresado
CONTROLADOR CNC	gMilling_3x
MATERIAL DEL MOLDE	Acero aleado



### TABLA DE HERRAMIENTAS PARA EL MECANIZADO

<p>1- Spindle - 1A</p>  <p>CENTER DRILL</p>		<p>TD: 4 mm</p> <p>A: 118</p> <p>SA: 0</p> <p>AD:10</p>	<p>TL: 60 mm</p> <p>OHL: 40 mm</p> <p>CL: 15 mm</p> <p>H: 100 mm</p>	<p>H1 D1</p> <p>Nº de filos: 1</p>
<p>2- Spindle - 1A</p>  <p>DRILL</p>		<p>D: 10 mm</p> <p>A: 118</p> <p>AD: 10</p>	<p>TL: 120 mm</p> <p>OHL: 60 mm</p> <p>CL: 24 mm</p> <p>SL: 30 mm</p> <p>H: 100 mm</p>	<p>H2 D2</p> <p>Nº de filos: 1</p>

<p>3- Spindle - 1A</p>  <p>BULL NOSE MILL</p>		<p>D: 16 mm</p> <p>R: 1 mm</p> <p>SA: 0</p> <p>AD: 16</p> <p>SD: 16</p>	<p>TL: 100 mm</p> <p>OHL: 60 mm</p> <p>CL: 24 mm</p> <p>SL: 30 mm</p> <p>H: 100 mm</p>	<p>H3 D3</p> <p>Nº de filos: 2</p>
<p>4- Spindle - 1A</p>  <p>BULL NOSE MILL</p>		<p>D: 6 mm</p> <p>R: 1 mm</p> <p>SA: 0</p> <p>AD: 6</p> <p>SD: 6</p>	<p>TL: 80 mm</p> <p>OHL: 60 mm</p> <p>CL: 24 mm</p> <p>SL: 30 mm</p> <p>H: 100 mm</p>	<p>H4 D4</p> <p>Nº de filos: 2</p>
<p>5- Spindle - 1A</p>  <p>BULL NOSE MILL</p>		<p>D: 12 mm</p> <p>R: 0,8 mm</p> <p>SA: 0</p> <p>AD: 12</p> <p>SD: 12</p>	<p>TL: 100 mm</p> <p>OHL: 60 mm</p> <p>CL: 24 mm</p> <p>SL: 30 mm</p> <p>H: 100 mm</p>	<p>H5 D5</p> <p>Nº de filos: 2</p>
<p>6- Spindle - 1A</p>  <p>BULL NOSE MILL</p>		<p>D: 6 mm</p> <p>R: 0 mm</p> <p>TD: 0,1 mm</p> <p>A: 10</p> <p>AD: 6</p>	<p>TL: 80 mm</p> <p>OHL: 40 mm</p> <p>CL: 6 mm</p> <p>SL: 30 mm</p> <p>H: 100 mm</p>	<p>H6 D6</p> <p>Nº de filos: 1</p>

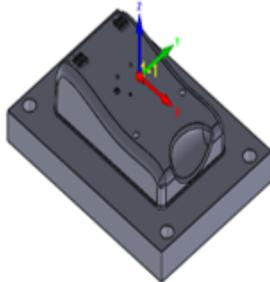
**ANEXO 2: OPERACIONES SUMARIAS PARA EL DESBASTE DEL MOLDE DE LA CUBIERTA SUPERIOR.**

<b>OPERACIONES SUMARIAS DEL MOLDE DE LA CUBIERTA SUPERIOR</b>						
#	Sistema de coordenadas		Giro - Acabado	Avance XY/Avance Normal	Avance Z/Avance - Acabado	Tiempo
	Número de herramienta		Fluido refrigerante Herramienta			
	DESCRIPCIÓN					
	X Min	X Máx	Y Min	Y Máx	Z Min	Z Máx
1	<b>D_drill 1 (Taladro)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		1200	40	40	0:00:22
	<b>1-Spindle - 1A</b>					
	-125	125	-75	75	-10	-8
2	<b>D_drill 2 (Taladro)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		1000	40	40	0:00:27
	<b>2-Spindle - 1A</b>					
	-125	125	-75	75	-65	-63
3	<b>F-contour 4 (Perfil)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		4000	1200	1000	0:31:46
	<b>5-Spindle - 1A</b>					
	-	129,995	-80	80	-60	2
4	<b>HSR_HMP_model 2 (HM Desbaste)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		2500	1200		0:59:09
	<b>3-Spindle - 1A</b>					
	-93,206	93,212	-53,795	59,795	-60	10
5	<b>HSM_CZ_model 3 (Z Constante)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		4000	1200		4:13:10
	<b>4-Spindle - 1A</b>					
	-98,795	98,795	-59,795	58,795	-60	10
6	<b>F3D_contour 6 (Perfil 3D)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		3500	1000	300	0:00:54
	<b>6-Spindle - 1A</b>					

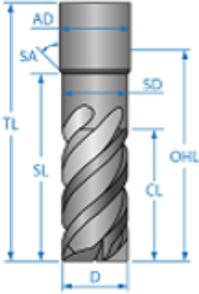
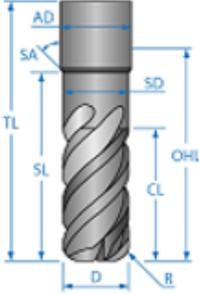
	-57,525	-43,123	-37,327	36,002	-0,1	1,9
<b>Tiempo total</b>						<b>5:45:50</b>

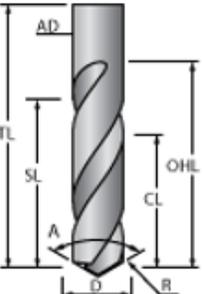
**ANEXO 3: HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA EL DESBASTE DEL CONTRA MOLDE DE LA CUBIERTA SUPERIOR.**

INFORMACIÓN DEL MECANIZADO	
UNIDADES	mm
TIPO DE MECANIZADO	Fresado
CONTROLADOR CNC	gMilling_3x
MATERIAL DEL MOLDE	Acero aleado



**TABLA DE HERRAMIENTAS PARA EL MECANIZADO**

<p><b>1- Spindle - 1A</b></p>  <p><b>END MILL</b></p>		<p>D: 25 mm</p> <p>SA: 0</p> <p>AD: 25</p> <p>SD: 25</p>	<p>TL: 80 mm</p> <p>OHL: 60 mm</p> <p>CL: 24 mm</p> <p>SL: 60 mm</p> <p>H: 100 mm</p>	<p>H1 D1</p> <p>Nº de filos: 2</p>
<p><b>2- Spindle - 1A</b></p>  <p><b>BULL NOSE MILL</b></p>		<p>D: 12 mm</p> <p>R: 0,8 mm</p> <p>SA: 0</p> <p>AD: 12</p> <p>SD: 12</p>	<p>TL: 80 mm</p> <p>OHL: 60 mm</p> <p>CL: 24 mm</p> <p>SL: 30 mm</p> <p>H: 100 mm</p>	<p>H2 D2</p> <p>Nº de filos: 2</p>

<p><b>3- Spindle - 1A</b></p>  <p><b>DRILL</b></p>		<p>D: 12 mm A: 118 AD: 12</p>	<p>TL: 120 mm OHL: 60 mm CL: 24 mm SL: 30 mm H: 100 mm</p>	<p>H3 D3 Nº de filos: 1</p>
---	---	---------------------------------------	--	---------------------------------

**ANEXO 4: OPERACIONES SUMARIAS PARA EL DESBASTE DEL CONTRA MOLDE DE LA CUBIERTA SUPERIOR.**

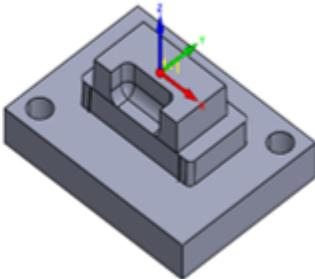
**OPERACIONES SUMARIAS DEL CONTRA MOLDE DE LA CUBIERTA SUPERIOR**

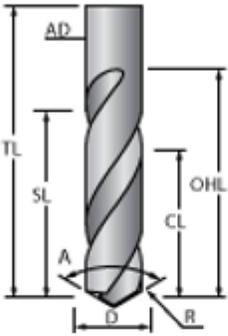
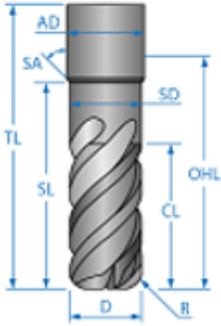
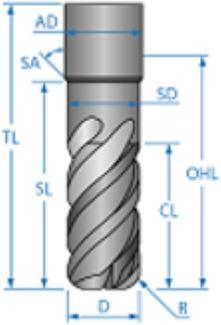
#	Sistema de coordenadas		Giro - Acabado	Avance XY/Avance Normal	Avance Z/Avance - Acabado	Tiempo
	Número de herramienta		Fluido refrigerante Herramienta			
<b>DESCRIPCIÓN</b>						
	X Min	X Máx	Y Min	Y Máx	Z Min	Z Máx
1	<b>D_drill 1 (Taladro)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		600	40	40	0:00:24
	<b>3-Spindle - 1A</b>					
	-125	125	-75	75	-53,843	-51,843
2	<b>HSR_HMP_model (HM Desbaste)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		4000	1000		3:11:11
	<b>1-Spindle - 1A</b>					
	-155,525	155,525	-115,525	115,525	-52,356	12
3	<b>HSM_Helical_model 1 (Pasadas Helicoidales)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		4000	1000		5:15:19
	<b>2-Spindle - 1A</b>					
	-113,609	106,219	-66,219	66,219	-59,833	10
4	<b>F_contour (Perfil)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		3600	1200	1200	0:22:09

<b>2-Spindle - 1A</b>					
-					
127,995	127,995	-78	78	-88,843	-51,843
<b>Tiempo total</b>					<b>8:49:05</b>

## ANEXO 5: HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA EL DESBASTE DEL CONTRA MOLDE DEL PORTAAGUJAS

<b>INFORMACIÓN DEL MECANIZADO</b>	
<b>UNIDADES</b>	mm
<b>TIPO DE MECANIZADO</b>	Fresado
<b>CONTROLADOR CNC</b>	gMilling_3x
<b>MATERIAL DEL MOLDE</b>	Acero aleado



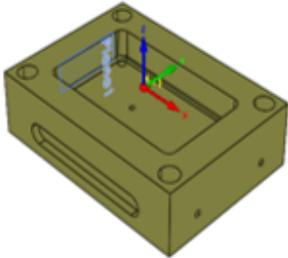
<b>1- Spindle - 1A</b>    <b>DRILL</b>		D: 12 mm  A: 118  AD: 12	TL: 80 mm OHL: 60 mm CL: 24 mm SL: 60 mm H: 100 mm	H1 D1  Nº de filos: 2
<b>2- Spindle - 1A</b>    <b>BULL NOSE MILL</b>		D: 12 mm R: 0,8 mm SA: 0 AD: 12 SD: 12	TL: 80 mm OHL: 60 mm CL: 24 mm SL: 30 mm H: 100 mm	H2 D2  Nº de filos: 2
<b>3- Spindle - 1A</b>    <b>BULL NOSE MILL</b>		D: 6 mm R: 0,4 mm SA: 0 AD: 6 SD: 6	TL: 80 mm OHL: 60 mm CL: 24 mm SL: 30 mm H: 100 mm	H3 D3  Nº de filos: 2

**ANEXO 6: OPERACIONES SUMARIAS PARA EL DESBASTE DE LA CONTRA  
MOLDE DEL PORTAAGUJAS.**

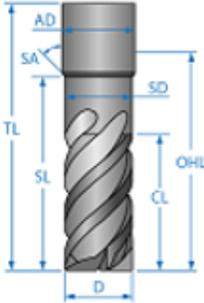
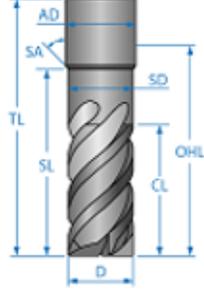
<b>OPERACIONES SUMARIAS DEL CONTRA MOLDE DEL PORTAGUJAS</b>						
#	Sistema de coordenadas		Giro - Acabado	Avance XY/Avance Normal	Avance Z/Avance - Acabado	Tiempo
	Número de herramienta		Fluido refrigerante Herramienta			
	<b>DESCRIPCIÓN</b>					
	X Min	X Máx	Y Min	Y Máx	Z Min	Z Máx
1	<b>D_drill 1 (Taladro)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		800	40	40	0:04:35
	<b>1-Spindle - 1A</b>					
	-64	64	-44	44	-51	2
2	<b>HSR_HMP_model (HM Desbaste)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		2500	1200		1:27:47
	<b>2-Spindle - 1A</b>					
	-89,001	89,012	-69,012	69,012	-30,986	12
3	<b>F_contour (Perfil)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		2500	1200	1000	0:07:36
	<b>2-Spindle - 1A</b>					
	-67	67	-47	47	-51	-29
4	<b>HSM_Helical_target (Pasadas helicoidales)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		2800	1200		1:18:20
	<b>3-Spindle - 1A</b>					
	-57,722	53	-26,32	33,249	-30,995	10
<b>Tiempo total</b>					<b>2:58:21</b>	

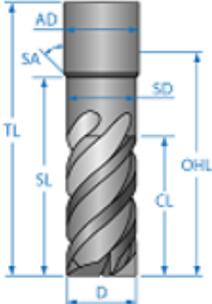
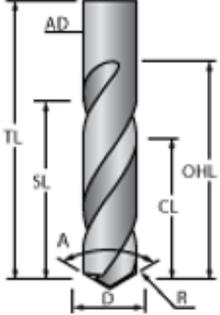
## ANEXO 7: HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA EL DESBASTE DEL MOLDE DEL PORTAAGUJAS

INFORMACIÓN DEL MECANIZADO	
UNIDADES	mm
TIPO DE MECANIZADO	Fresado
CONTROLADOR CNC	gMilling_3x
MATERIAL DEL MOLDE	Acero aleado



### TABLA DE HERRAMIENTAS PARA EL MECANIZADO

<b>1- Spindle - 1A</b>    <b>END MILL</b>		D: 12 mm SA: 0 AD: 12 SD: 12	TL: 80 mm OHL: 60 mm CL: 24 mm SL: 30 mm H: 100 mm	H1 D1  Nº de filos: 2
<b>2- Spindle - 1A</b>    <b>END MILL</b>		D: 20 mm SA: 0 AD: 20 SD: 20	TL: 80 mm OHL: 60 mm CL: 24 mm SL: 30 mm H: 100 mm	H2 D2  Nº de filos: 2

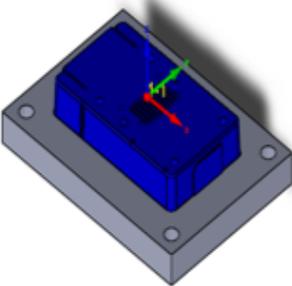
<p><b>3- Spindle - 1A</b></p>  <p><b>END MILL</b></p>		<p>D: 8 mm</p> <p>SA: 0</p> <p>AD: 8</p> <p>SD: 8</p>	<p>TL: 80 mm</p> <p>OHL: 60 mm</p> <p>CL: 24 mm</p> <p>SL: 30 mm</p> <p>H: 100 mm</p>	<p>H3 D3</p> <p>Nº de filos: 2</p>
<p><b>4- Spindle - 1A</b></p>  <p><b>DRILL</b></p>		<p>D: 10 mm</p> <p>A: 118</p> <p>AD: 10</p>	<p>TL: 80 mm</p> <p>OHL: 60 mm</p> <p>CL: 24 mm</p> <p>SL: 30 mm</p> <p>H: 100 mm</p>	<p>H4 D4</p> <p>Nº de filos: 1</p>

**ANEXO 8: OPERACIONES SUMARIAS PARA EL DESBASTE DEL MOLDE DEL PORTAAGUJAS.**

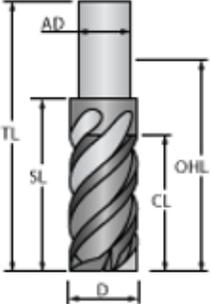
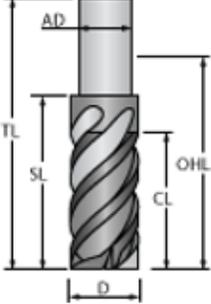
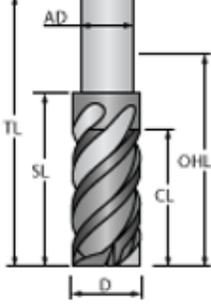
<b>OPERACIONES SUMARIAS DEL MOLDE DEL PORTAAGUJAS</b>						
#	Sistema de coordenadas		Giro - Acabado	Avance XY/Avance Normal	Avance Z/Avance - Acabado	Tiempo
	Número de herramienta		Fluido refrigerante Herramienta			
	DESCRIPCIÓN					
	X Min	X Máx	Y Min	Y Máx	Z Min	Z Máx
1	<b>D_drill 1 (Taladro)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		800	40	40	0:07:53
	<b>4-Spindle - 1A</b>					
	-120	120	-80	80	-75	2
2	<b>HSR_HMP_model 1 (HM Desbaste)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		2500	1200		1:27:47
	<b>2-Spindle - 1A</b>					
	-91,187	91,206	-51,188	51,188	-34,991	12
3	<b>HSM_Helical_target (Pasadas helicoidales)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		4000	1200		2:56:13
	<b>2-Spindle - 1A</b>					
	-97,219	97,219	-57,219	57,219	-34,955	10
4	<b>F_contour 3 (Perfil)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		4000	1200	1000	0:54:50
	<b>1-Spindle - 1A</b>					
	-126,5	126,5	-86,5	86,5	-40	2
					<b>Tiempo total</b>	<b>5:40:52</b>

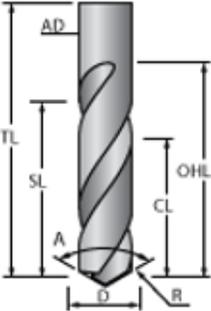
## ANEXO 9: HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA EL DESBASTE DEL CONTRA MOLDE DE LA BASE DEL INCINERADOR.

INFORMACIÓN DEL MECANIZADO	
UNIDADES	mm
TIPO DE MECANIZADO	Fresado
CONTROLADOR CNC	gMilling_3x
MATERIAL DEL MOLDE	Acero aleado



**TABLA DE HERRAMIENTAS PARA EL MECANIZADO**

<p><b>1- Spindle - 1A</b></p>  <p><b>END MILL</b></p>		<p>D: 20 mm</p> <p>AD: 20</p>	<p>TL: 80 mm</p> <p>OHL: 60 mm</p> <p>CL: 24 mm</p> <p>SL: 30 mm</p> <p>H: 100 mm</p>	<p>H1 D1</p> <p>Nº de filos: 2</p>
<p><b>2- Spindle - 1A</b></p>  <p><b>END MILL</b></p>		<p>D: 12 mm</p> <p>AD: 12</p>	<p>TL: 80 mm</p> <p>OHL: 60 mm</p> <p>CL: 24 mm</p> <p>SL: 30 mm</p> <p>H: 100 mm</p>	<p>H2 D2</p> <p>Nº de filos: 2</p>
<p><b>3- Spindle - 1A</b></p>  <p><b>END MILL</b></p>		<p>D: 6 mm</p> <p>AD: 6</p>	<p>TL: 80 mm</p> <p>OHL: 60 mm</p> <p>CL: 24 mm</p> <p>SL: 30 mm</p> <p>H: 100 mm</p>	<p>H3 D3</p> <p>Nº de filos: 2</p>

<p><b>4- Spindle - 1A</b></p>  <p><b>DRILL</b></p>		<p>D: 12 mm</p> <p>D: 118 mm</p> <p>AD: 12</p>	<p>TL: 80 mm</p> <p>OHL: 60 mm</p> <p>CL: 24 mm</p> <p>SL: 30 mm</p> <p>H: 100 mm</p>	<p>H4 D4</p> <p>Nº de filos: 1</p>
---	---	--	---	------------------------------------

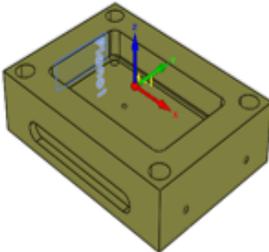
**ANEXO 10: OPERACIONES SUMARIAS PARA EL DESBASTE DEL CONTRA  
MOLDE DE LA BASE DEL INCINERADOR.**

**OPERACIONES SUMARIAS CONTRA MOLDE DE LA BASE DEL INCINERADOR**

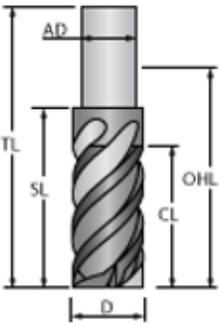
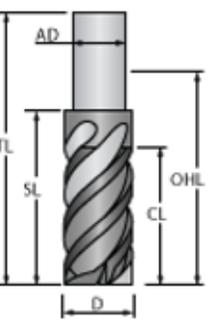
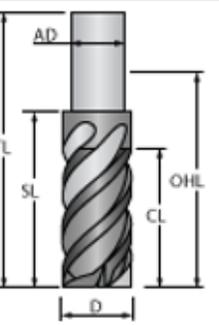
#	Sistema de coordenadas		Giro - Acabado	Avance XY/Avance Normal	Avance Z/Avance - Acabado	Tiempo
	Número de herramienta		Fluido refrigerante Herramienta			
	DESCRIPCIÓN					
	X Min	X Máx	Y Min	Y Máx	Z Min	Z Máx
1	<b>HSR_HMP_model (HM Roughing)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		2200	1000		2:06:25
	<b>1-Spindle - 1A</b>					
	-153,02	153,02	-113,02	113,02	-34,995	12
2	<b>HSM_Helical_model 1 (Helical machining)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		2500	1000		3:35:46
	<b>3-Spindle - 1A</b>					
	-109,072	104,222	-62,221	62,221	-34,995	10
3	<b>D_drill (Drilling)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		800	40	40	0:03:15
	<b>4-Spindle - 1A</b>					
	-120	120	-80	80	-65	-33
4	<b>F_contour 3 (Perfil)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		4000	1200	1000	0:19:00
	<b>2-Spindle - 1A</b>					
	-122,995	122,995	-83	83	-65	-33
					<b>Tiempo total</b>	<b>6:04:28</b>

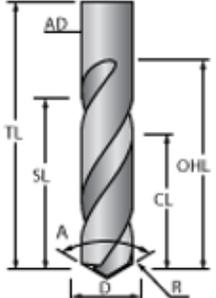
## ANEXO 11: HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA EL DESBASTE DEL MOLDE DE LA BASE DEL INCINERADOR.

INFORMACIÓN DEL MECANIZADO	
UNIDADES	mm
TIPO DE MECANIZADO	Fresado
CONTROLADOR CNC	gMilling_3x
MATERIAL DEL MOLDE	Acero aleado



### TABLA DE HERRAMIENTAS PARA EL MECANIZADO

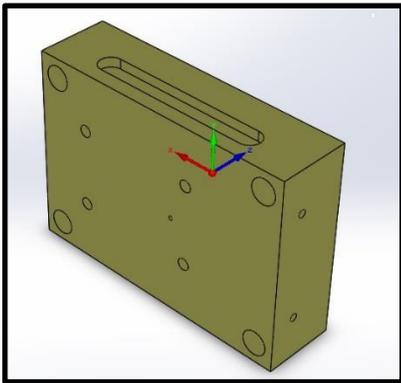
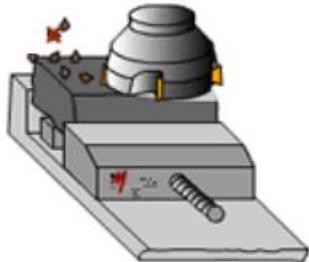
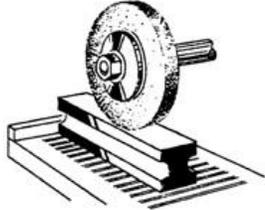
<b>1- Spindle - 1A</b>    <b>END MILL</b>		D: 12 mm  AD: 12	TL: 80 mm OHL: 60 mm CL: 24 mm SL: 30 mm H: 100 mm	H1 D1  Nº de filos: 2
<b>2- Spindle - 1A</b>    <b>END MILL</b>		D: 20 mm  AD: 20	TL: 80 mm OHL: 60 mm CL: 24 mm SL: 30 mm H: 100 mm	H2 D2  Nº de filos: 2
<b>3- Spindle - 1A</b>    <b>END MILL</b>		D: 8 mm  AD: 8	TL: 80 mm OHL: 60 mm CL: 24 mm SL: 30 mm H: 100 mm	H3 D3  Nº de filos: 2

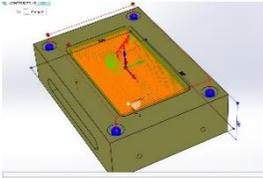
<p><b>4- Spindle - 1A</b></p>  <p><b>DRILL</b></p>		<p>D: 10 mm</p> <p>A: 118</p> <p>AD: 10</p>	<p>TL: 80 mm</p> <p>OHL: 60 mm</p> <p>CL: 24 mm</p> <p>SL: 30 mm</p> <p>H: 100 mm</p>	<p>H4 D4</p> <p>Nº de filos: 2</p>
---	---	---	---	------------------------------------

**ANEXO 12: OPERACIONES SUMARIAS PARA EL DESBASTE DEL MOLDE DE LA BASE DEL INCINERADOR.**

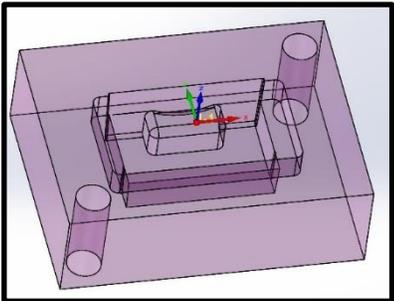
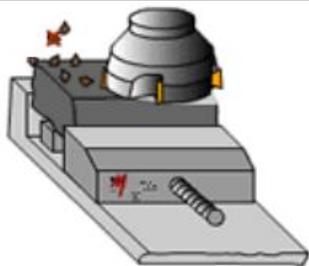
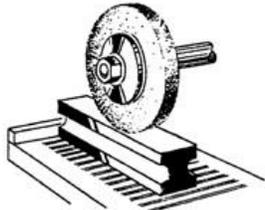
<b>OPERACIONES SUMARIAS DEL MOLDE BASE DEL INCINERADOR</b>						
#	Sistema de coordenadas		Giro - Acabado	Avance XY/Avance Normal	Avance Z/Avance - Acabado	Tiempo
	Número de herramienta		Fluido refrigerante Herramienta			
	<b>DESCRIPCIÓN</b>					
	X Min	X Máx	Y Min	Y Máx	Z Min	Z Máx
1	<b>D_drill (Drilling)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		800	40	40	0:07:45
	<b>4-Spindle - 1A</b>					
	-120	120	-80	80	-75	2
2	<b>HSR_HMP_model1 (HM Roughing)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		4000	800		1:41:46
	<b>2-Spindle - 1A</b>					
	-91,187	91,206	-51,188	51,188	-34,991	12
3	<b>HSM_Helical_target (Helical machining)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		4000	1200		2:56:05
	<b>3-Spindle - 1A</b>					
	-97,219	97,219	-57,219	57,219	-34,955	10
4	<b>F_contour 3 (Perfil)</b>					
	Mac 1 (1-Posición)		4000	1200	1000	0:54:42
	<b>1-Spindle - 1A</b>					
	-126,5	126,5	-86,5	86,5	-40	2
					<b>Tiempo total</b>	<b>5:40:20</b>

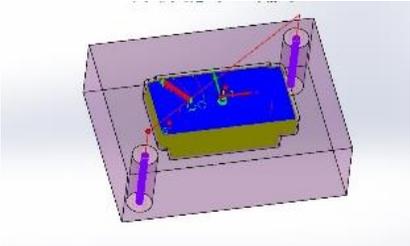
## ANEXO 13: HOJAS DE PROCESOS CAVIDAD BASE

HOJA DE PROCESOS			
Nombre del proceso: mecanizado		Revisa:	
HOJA N <sup>o</sup> : 1 de 2		Autoriza:	
RESPONSABLE: (nombre de los estudiantes)			
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.			
		Bloque: Longitud: 285 mm      Altura: 205 mm Profundidad: 75 mm	
OPERACIONES			
OPERACION	PARAMETROS	HERRAMIENTAS	CROQUIS DE OPERACION
PLANEAR Y ESCUADRADO 6 lados	$V_C = 500 \text{ mm/min}$ (en desbaste) $A_z = 0.20 \text{ mm/z}$ (en desbaste) $Z = 3$ Profundidad = 1 mm $\varnothing = 32 \text{ mm}$	FRESA PARA PLANEAR F 4033.B.033.Z06.06 SUJETADOR CONO PORTAHERRAMIENTAS ISO BT40-ER32-1000 COMPARADOR DE RELOJ ESCUADRA DE PELO	
RECTIFICADO PLANO	$V_C = 3600 \text{ rpm}$ $A_z = 1.5 \text{ mm}$ $V_f = 28 \text{ m/S}$	RECTIFICADORA PLANA SEMIAUTOMATICA	

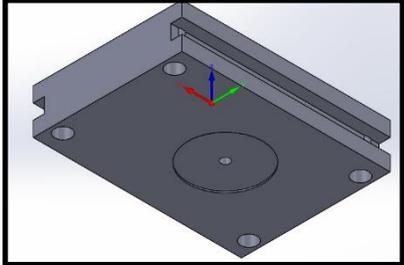
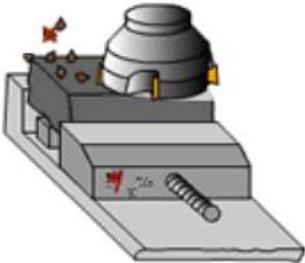
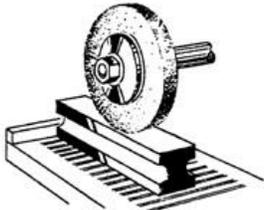
OPERACION	PARAMETROS	HERRAMIENTAS	CROQUIS DE OPERACION
<p>MECANIZADO DE CAVIDAD CON MAQUINA CNC</p> <p><b>DESBASTE</b> <b>PERFORADO</b> <b>PULIDO</b></p>	ESTABLECIDOS POR CAM	Establecidos por Solidcam	
Pulido cavidad	Manual	Piedras de pulido Lijas Pastas de diamante	

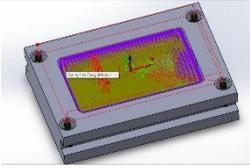
## ANEXO 14: HOJAS DE PROCESOS CAVIDAD PORTAAGUJAS

HOJA DE PROCESOS			
<b>Nombre del proceso:</b> mecanizado		<b>Revisa:</b>	
HOJA N <sup>o</sup> : 1 de 2		<b>Autoriza:</b>	
<b>RESPONSABLE:</b> (nombre de los estudiantes)			
<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.</b>			
		Bloque: Longitud: 285 mm      Altura: 205 mm Profundidad: 80 mm	
OPERACIONES			
OPERACION	PARAMETROS	HERRAMIENTAS	CROQUIS DE OPERACION
PLANEAR Y ESCUADRADO 6 lados	$V_c = 500 \text{ mm/min}$ (en desbaste) $A_z = 0.20 \text{ mm/z}$ (en desbaste) $Z = 3$ Profundidad = 1 mm $\varnothing = 32 \text{ mm}$	FRESA PARA PLANEAR F 4033.B.033.Z06.06 SUJETADOR CONO PORTAHERRAMIENTAS ISO BT40-ER32-1000 COMPARADOR DE RELOJ ESCUADRA DE PELO	
RECTIFICADO PLANO	$V_c = 3600 \text{ rpm}$ $A_z = 1.5 \text{ mm}$ $V_f = 28 \text{ m/S}$	RECTIFICADORA PLANA SEMIAUTOMATICA	

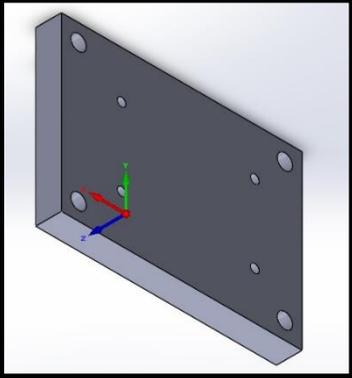
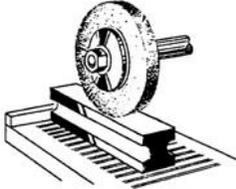
OPERACION	PARAMETROS	HERRAMIENTAS	CROQUIS DE OPERACION
<p>MECANIZADO DE CAVIDAD CON MAQUINA CNC</p> <p><b>DESBASTE</b> <b>PERFORADO</b> <b>PULIDO</b></p>	ESTABLECIDOS POR CAM	Establecidos por Solidcam	
Electroerosionado	30A	Electrodos de grafito electrolitico Electrodo de cobre electrolitico	
Pulido cavidad	Manual	Piedras de pulido Lijas 180,350,600,1000 Pastas de diamante	

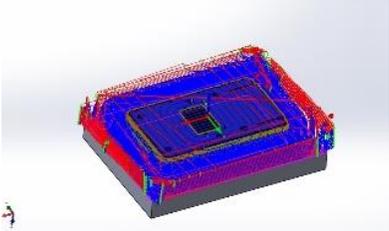
## ANEXO 15: HOJAS DE PROCESOS CAVIDAD TAPA SUPERIOR

HOJA DE PROCESOS			
<b>Nombre del proceso:</b> mecanizado		<b>Revisa:</b>	
HOJA N <sup>o</sup> : 1 de 2		<b>Autoriza:</b>	
<b>RESPONSABLE:</b> (nombre de los estudiantes)			
<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.</b>			
		Bloque: Longitud: 285 mm      Altura: 205 mm Profundidad: 60 mm	
OPERACIONES			
OPERACION	PARAMETROS	HERRAMIENTAS	CROQUIS DE OPERACION
PLANEAR Y ESCUADRADO 6 lados	$V_C = 500 \text{ mm/min}$ (en desbaste) $A_z = 0.20 \text{ mm/z}$ (en desbaste) $Z = 3$ Profundidad = 1 mm $\varnothing = 32 \text{ mm}$	FRESA PARA PLANEAR F 4033.B.033.Z06.06 SUJETADOR CONO PORTAHERRAMIENTAS ISO BT40-ER32-1000 COMPARADOR DE RELOJ ESCUADRA DE PELO	
RECTIFICADO PLANO	$V_C = 3600 \text{ rpm}$ $A_z = 1.5 \text{ mm}$ $V_f = 28 \text{ m/S}$	RECTIFICADORA PLANA SEMIAUTOMATICA	

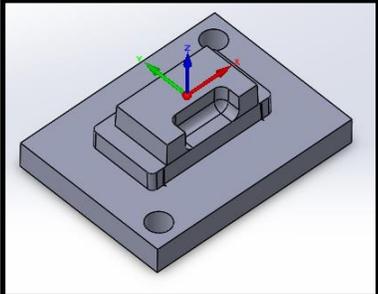
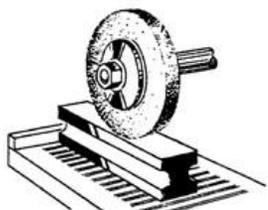
OPERACION	PARAMETROS	HERRAMIENTAS	CROQUIS DE OPERACION
<p>MECANIZADO DE CAVIDAD CON MAQUINA CNC</p> <p><b>DESBASTE</b></p> <p><b>PERFORADO</b></p> <p><b>PULIDO</b></p>	ESTABLECIDOS POR CAM	Establecidos por Solidcam	
Pulido cavidad	Manual	<p>Piedras de pulido</p> <p>Lijas 180,350,600,1000</p> <p>Pastas de diamante</p>	

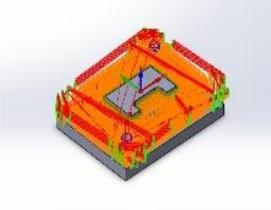
## ANEXO 16: HOJAS DE PROCESOS NÚCLEO BASE

HOJA DE PROCESOS			
Nombre del proceso: mecanizado		Revisa:	
HOJA N <sup>o</sup> : 1 de 2		Autoriza:	
RESPONSABLE: (nombre de los estudiantes)			
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.			
		Bloque: Longitud: 285 mm      Altura: 205 mm Profundidad: 80 mm	
OPERACIONES			
OPERACION	PARAMETROS	HERRAMIENTAS	CROQUIS DE OPERACION
PLANEAR Y ESCUADRADO 6 lados	$V_c = 500 \text{ mm/min}$ (en desbaste) $A_z = 0.20 \text{ mm/z}$ (en desbaste) $Z = 3$ Profundidad = 1 mm $\varnothing = 32 \text{ mm}$	FRESA PARA PLANEAR F 4033.B.033.Z06.06 SUJETADOR CONO ISO BT40-ER32-1000 COMPARADOR DE RELOJ ESCUADRA DE PELO	
RECTIFICADO PLANO	$V_c = 3600 \text{ rpm}$ $A_z = 1.5 \text{ mm}$ $V_f = 28 \text{ m/S}$	RECTIFICADORA PLANA SEMIAUTOMATICA	

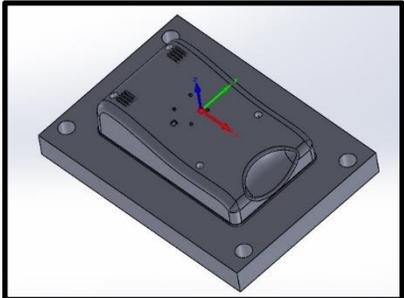
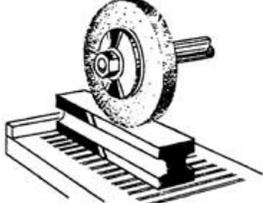
OPERACION	PARAMETROS	HERRAMIENTAS	CROQUIS DE OPERACION
<p>MECANIZADO DE CAVIDAD CON MAQUINA CNC</p> <p><b>DESBASTE</b> <b>PERFORADO</b> <b>PULIDO</b></p>	ESTABLECIDOS POR CAM	Establecidos por Solidcam	
Electroerosionado	30A	<p>Electrodos de grafito electrolitico</p> <p>Electrodo de cobre electrolitico</p>	
Pulido cavidad	Manual	<p>Piedras de pulido</p> <p>Lijas 180,350,600,1000</p> <p>Pastas de diamante</p>	

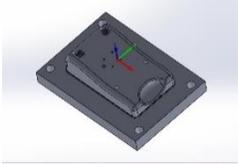
## ANEXO 17: HOJAS DE PROCESOS NÚCLEO PORTAAGUJAS

<b>HOJA DE PROCESOS</b>			
<b>Nombre del proceso:</b> mecanizado	<b>Revisa:</b>		
<b>HOJA N°:</b> 1 de 2	<b>Autoriza:</b>		
<b>RESPONSABLE:</b> (nombre de los estudiantes)			
<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.</b>			
<b>OPERACIONES</b>			
OPERACION	PARAMETROS	HERRAMIENTAS	CROQUIS DE OPERACION
PLANEAR Y ESCUADRADO 6 lados	$V_C = 500 \text{ mm/min}$ (en desbaste) $A_z = 0.20 \text{ mm/z}$ (en desbaste) $Z = 3$ Profundidad = 1 mm $\varnothing = 32 \text{ mm}$	FRESA PARA PLANEAR F 4033.B.033.Z06.06 SUJETADOR CONO PORTAHERRAMIENTAS ISO BT40-ER32-1000 COMPARADOR DE RELOJ ESCUADRA DE PELO	
RECTIFICADO PLANO	$V_C = 3600 \text{ rpm}$ $A_z = 1.5 \text{ mm}$ $V_f = 28 \text{ m/S}$	RECTIFICADORA PLANA SEMIAUTOMATICA	

OPERACION	PARAMETROS	HERRAMIENTAS	CROQUIS DE OPERACION
<p>MECANIZADO DE CAVIDAD CON MAQUINA CNC <b>DESBASTE</b> <b>PERFORADO</b> <b>PULIDO</b></p>	<p>ESTABLECIDOS POR CAM</p>	<p>Establecidos por Solidcam</p>	
<p>Electroerosionado</p>	<p>30A</p>	<p>Electrodos de grafito electrolitico Electrodo de cobre electrolitico</p>	
<p>Pulido cavidad</p>	<p>Manual</p>	<p>Piedras de pulido Lijas 180,350,600,1000 Pastas de diamante</p>	

## ANEXO 18: HOJAS DE PROCESOS NÚCLEO TAPA SUPERIOR

HOJA DE PROCESOS			
Nombre del proceso: mecanizado		Revisa:	
HOJA N <sup>o</sup> : 1 de 2		Autoriza:	
RESPONSABLE: (nombre de los estudiantes)			
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.			
		Bloque: Longitud: 285 mm      Altura: 205 mm Profundidad: 80 mm	
OPERACIONES			
OPERACION	PARAMETROS	HERRAMIENTAS	CROQUIS DE OPERACION
PLANEAR Y ESCUADRADO 6 lados	$V_c = 500 \text{ mm/min}$ (en desbaste) $A_z = 0.20 \text{ mm/z}$ (en desbaste) $Z = 3$ Profundidad = 1 mm $\varnothing = 32 \text{ mm}$	FRESA PARA PLANEAR F 4033.B.033.Z06.06 SUJETADOR CONO PORTAHERRAMIENTAS ISO BT40-ER32-1000 COMPARADOR DE RELOJ ESCUADRA DE PELO	
RECTIFICADO PLANO	$V_c = 3600 \text{ rpm}$ $A_z = 1.5 \text{ mm}$ $V_f = 28 \text{ m/s}$	RECTIFICADORA PLANA SEMIAUTOMATICA	

OPERACION	PARAMETROS	HERRAMIENTAS	CROQUIS DE OPERACION
<p>MECANIZADO DE CAVIDAD CON MAQUINA CNC  <b>DESBASTE</b>  <b>PERFORADO</b>  <b>PULIDO</b></p>	<p>ESTABLECIDOS POR CAM</p>	<p>Establecidos por Solidcam</p>	
<p>Electroerosionado</p>	<p>30A</p>	<p>Electrodos de grafito electrolitico  Electrodo de cobre electrolitico</p>	
<p>Pulido cavidad</p>	<p>Manual</p>	<p>Piedras de pulido  Lijas 180,350,600,1000  Pastas de diamante</p>	

## ANEXO 19: CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE PROTOTIPOS



### SERVICIOS MECANICOS

Quito, 26 de agosto de 2022

## Certifico

Que los prototipos, planos, simulaciones y demás documentos relevantes respectivos al diseño de los moldes presentados por el señor, **RANDY SHOELL RUIZ MENDEZ**, con cedula de ciudadanía **1050354594**, estudiante de la Universidad Técnica del Norte de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica cumplen con las especificaciones para funcionalidad:

- 1.- Dimensiones adecuadas de los moldes de acuerdo a la capacidad máxima y mínima de la maquina inyectora.
- 2.- Los núcleos y cavidades cumplen con los ángulos de desmoldeo para el polímero.
- 3.- Los puntos de inyección está en un lugar adecuado y balanceado para que la inyección sea idónea.
- 4.- El sistema de extracción es adecuado para la expulsión de la pieza a inyectar.
- 5.- El sistema de enfriamiento es adecuado.
- 6.- El acero en el que se construirá satisface el número de ciclos de inyección requeridos.

El presente certificado sirve para validar el correcto funcionamiento de los moldes una vez sean mecanizados

A handwritten signature in blue ink that reads "Sacancela Edgar".

**Atentamente**

**Edgar Sacancela**  
**Técnico Certificado**  
**CSWP**  
**SOLIDWORKS**

**TECNICO**  
**CERTIFICADO**  
**ROMI**  
**PRODUCTO CAD-**  
**CAM-CAE PHONE**  
**WHATSAPP +593 9950661**