

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**"Fabricación de molde de colada fría para realizar llave higiénica anti-contacto mediante un proceso de inyección".**

Trabajo de graduación presentado por Edgar Antonio de León Kestler  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala,  
2021







UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



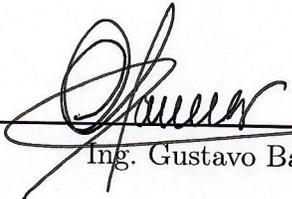
**"Fabricación de molde de colada fría para realizar llave  
higiénica anti-contacto mediante un proceso de inyección".**

Trabajo de graduación presentado por Edgar Antonio de León Kestler  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala,  
2021



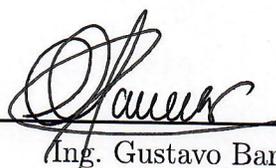
Vo.Bo.:

(f)   
Ing. Gustavo Barrera

Tribunal Examinador:

(f)   
Ing. Andrés Viana

(f)   
Ing. Laura Roldán

(f)   
Ing. Gustavo Barrera

Fecha de aprobación: Guatemala, 08 de diciembre de 2021.



El presente trabajo de graduación consiste en el maquinado de un molde de colada fría. El fin del proyecto es de realizar una llave anti-contacto en la máquina de inyección APSX-PIM para su uso en las instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala, ya la situación de la pandemia que ataca mundialmente obliga a las personas a protegerse del virus, por lo que es necesario mitigar el contagio entre los estudiantes y el personal que se encuentra en la universidad, promoviendo el menor contacto posible con superficies contaminadas.

Quiero agradecer antes que nada a Dios, por cada una de las bendiciones que ha derramado en mi vida y por darme la oportunidad de finalizar esta etapa. Agradezco a mi mamá, hermanos y novia, por su apoyo y cariño indispensable a lo largo de este proyecto y carrera profesional; en especial a mi mamá, por darme la oportunidad de estudiar y siempre ser un apoyo incondicional. Gracias por ser el mejor ejemplo de vida.

Agradezco a mi compañero, Daniel Franco por el constante apoyo y esfuerzo durante el proyecto. Agradezco a mi asesor, Ingeniero Gustavo Barrera, por la guía y retroalimentación a lo largo de la realización del proyecto. Gracias al Ingeniero Andrés Viau, por el tiempo otorgado para que cada detalle de este proyecto se contemplara de la mejor manera posible y así tener resultados satisfactorios.

Así mismo, agradezco al departamento encargado del taller de manufactura de la Universidad del Valle de Guatemala, principalmente al Ingeniero Gustavo Pineda y Darwin Prada por su constante colaboración, asesoramiento y tiempo a lo largo del proyecto, para poder realizar todos los trabajos necesarios con el fin de lograr los resultados.



<b>Prefacio</b>	v
<b>Lista de figuras</b>	x
<b>Lista de cuadros</b>	xi
<b>Resumen</b>	xiii
<b>Abstract</b>	xv
<b>1. Introducción</b>	1
<b>2. Justificación</b>	3
<b>3. Objetivos</b>	5
3.1. Objetivo general . . . . .	5
3.2. Objetivos específicos . . . . .	5
<b>4. Marco teórico</b>	7
4.1. COVID-19 . . . . .	7
4.2. Formas de contagio . . . . .	8
4.3. Implementos anti-contacto . . . . .	8
4.3.1. Llaves anti-contacto . . . . .	8
4.4. Máquinas de inyección . . . . .	9
4.4.1. Clasificación de la máquina de inyección . . . . .	9
4.4.2. Proceso de inyección . . . . .	12
4.4.3. Máquina APSX-PIM . . . . .	16
4.5. Materiales de inyección . . . . .	17
4.5.1. Tipos de material . . . . .	18
4.5.2. Mercado guatemalteco . . . . .	19
4.6. Moldes de inyección . . . . .	19
4.6.1. Tipos de molde de inyección . . . . .	19
4.6.2. Materiales de molde de inyección . . . . .	21

4.6.3. Diseño moldes de inyección . . . . .	22
4.6.4. Mecanizado de moldes . . . . .	29
<b>5. Metodología</b>	<b>37</b>
5.1. Material para inyección . . . . .	37
5.2. Sistema de alimentación . . . . .	38
5.3. Plano mecánico . . . . .	41
5.4. Materiales . . . . .	42
5.5. Manufactura de molde de colada fría . . . . .	43
<b>6. Resultados</b>	<b>45</b>
6.1. Material de inyección . . . . .	45
6.2. Dimensionamiento de sistema de alimentación . . . . .	48
6.3. Plano mecánico . . . . .	50
6.4. Cotización de elementos y materiales del molde . . . . .	50
6.5. Manufactura del molde de colada fría . . . . .	51
<b>7. Análisis de resultados o discusión</b>	<b>57</b>
7.1. Material de inyección . . . . .	57
7.2. Dimensionamiento de sistema de inyección . . . . .	58
7.3. Plano mecánico . . . . .	58
7.4. Cotización de elementos y materiales del molde . . . . .	59
7.5. Manufactura del molde de colada fría . . . . .	59
<b>8. Conclusiones</b>	<b>61</b>
<b>9. Recomendaciones</b>	<b>63</b>
<b>10. Bibliografía</b>	<b>65</b>
<b>11. Anexos</b>	<b>67</b>

---

## Lista de figuras

---

1. Uso de llave anti-contacto . . . . .	9
2. Diseño genérico de las unidades de inyectora de plástico . . . . .	10
3. Diseño genérico de la unidad de inyección . . . . .	11
4. Proceso de inyección . . . . .	13
5. APSX-PIM . . . . .	16
6. Productos en base a polímeros . . . . .	19
7. Molde de 2 platos . . . . .	20
8. Molde de 3 platos . . . . .	21
9. Sistema de alimentación . . . . .	23
10. Tipos de corredores . . . . .	25
11. Diseño de compuerta . . . . .	26
12. Diseño de compuerta-bebedero . . . . .	27
13. Diseño de compuerta- <i>pin-point</i> . . . . .	27
14. Diseño de compuerta de borde . . . . .	28
15. Diseño de compuerta de ventilador . . . . .	28
16. Máquina convencional: fresadora . . . . .	30
17. Software para diseño de piezas . . . . .	31
18. Centro de maquinado vertical Haas VF1 . . . . .	32
19. Parámetros de la herramienta . . . . .	33
20. Tabla de velocidades de corte y RPM . . . . .	34
21. Molde de inyectora APSX-PIM . . . . .	41
22. Molde con cavidad llave anti-contacto . . . . .	42
23. Polipropileno . . . . .	46
24. Llave anti-contacto polipropileno . . . . .	46
25. Llave anti-contacto polipropileno trasero . . . . .	47
26. Llave anti-contacto polietileno de alta densidad . . . . .	47
27. Llave anti-contacto polietileno de alta densidad trasero . . . . .	48
28. Parámetros llave anti-contaco . . . . .	49
29. Material para molde de colada fría . . . . .	50
30. Material polietileno de alta densidad . . . . .	51
31. Careado superior del <i>stock</i> . . . . .	52

32. Fresado de ranuras . . . . .	52
33. Desbaste de cavidad finalizado y afinado . . . . .	53
34. Molde de colada fría finalizado . . . . .	53
35. Molde de colada fría . . . . .	54
36. Molde de colada fría . . . . .	54
37. Explosión del ensamble de moldes . . . . .	67
38. Ruta de herramienta para mecanizado de molde . . . . .	68
39. Prueba y tiempo de mecanizado . . . . .	68
40. Código G . . . . .	68
41. Factura de compra material "HDPE" . . . . .	69
42. Factura de compra material aluminio 6061 T6 . . . . .	69
43. Peso de llave anti-contacto polipropileno . . . . .	70
44. Peso de llave anti-contacto polipropileno con sistema de alimentación . . . . .	70
45. Peso de llave anti-contacto polietileno . . . . .	71
46. Peso de llave anti-contacto polietileno con sistema de alimentación . . . . .	71

---

Lista de cuadros

---

1. Velocidades del proceso de inyección	15
2. Tipos de molde y propiedades	22
3. Características del centro de maquinado Haas VF1	32
4. Parámetros herramienta	44
5. Material de inyección	45
6. Dimensionamiento del bebedero	48
7. Dimensionamiento corredor	49
8. Dimensionamiento compuerta	49
9. Cotización aluminio 6061	50
10. Molde final	51
11. Inyección final	67



La crisis COVID-19 ha afectado a varios países, entre ellos Guatemala. La alta necesidad de evitar los contagios impulsó a que se realizaran innovaciones con nuevos productos de uso diario, entre ellos, las llaves higiénicas anti-contacto. Estas llaves cumplen la función de evitar el contacto de botones de elevadores o puertas. La Universidad del Valle de Guatemala en 2021 dio inicio con el proceso de retorno a la institución, por lo que el contacto con estos elementos pueden ser un foco de contagio, es por ello que se realizó un molde de colada fría en el centro de maquinado Haas VF1, el cual incluye una cavidad de la llave higiénica anti-contacto, apoyando la mitigación del COVID-19. El molde tuvo que cumplir con los parámetros adecuados para adaptarse a la máquina de inyección APSX-PIM, por lo que se realizaron cálculos para el correcto funcionamiento del sistema de alimentación para el molde de colada fría. Además, se estableció al polietileno de alta densidad (HDPE) como el material adecuado para la llave anti-contaco y el aluminio 6061 para realizar el molde. Se realizaron planos mecánicos donde se abarcaron todas las características del molde, realizando su manufactura y obteniendo un molde mecanizado en 32 minutos, y en el cual se pudo realizar un ciclo de proceso de inyección en 70 segundos. Finalmente se le recomienda a futuros estudiantes y personal de la Universidad del Valle de Guatemala que sigan impulsando el uso de la máquina de inyección, mediante proyectos que involucren nuevos sistemas de alimentación e incorporar los sistemas de expulsión, además de obtener variedad de materiales para su uso en la máquina.



The COVID-19 crisis has affected several countries, including Guatemala. The high need to avoid contagion prompted innovations with new products for daily use, including anti-contact hygienic keys. These keys fulfill the function of avoiding the contact of elevator buttons or doors. The Universidad del Valle de Guatemala in 2021 began with the process of return to the institution, so contact with these elements can be a source of contagion, that is why a cold casting mold was made in the Haas VF1 machining center, which includes a cavity of the anti-contact hygienic key, supporting COVID-19 mitigation. The mold had to meet the appropriate parameters to adapt to the APSX-PIM injection machine, so calculations were made for the correct operation of the feeding system for the cold casting mold. In addition, high-density polyethylene (HDPE) was established as the suitable material for the anti-contact wrench and 6061 aluminum to make the mold. Mechanical drawings were made where all the characteristics of the mold were covered, making its manufacture and obtaining a mechanized mold in 32 minutes, and in which an injection process cycle could be carried out in 70 seconds. Finally, future students and staff of the Universidad del Valle de Guatemala are recommended to continue promoting the use of the injection machine, through projects that involve new feeding systems and incorporate the expulsion systems, in addition to obtaining a variety of materials for use in the machine.



En diciembre de 2019, en la ciudad de Wuhan, en China, se reportaron casos de pacientes con una nueva enfermedad, con características de semejantes a un resfriado común. La enfermedad tenía una capacidad de contagio demasiado alta dividida en dos tipos. El contagio directo, que se da por partículas que expulsa el cuerpo humano, mientras que el contagio indirecto es mediante diferentes superficies o elementos, donde esta enfermedad puede permanecer latente cierto tiempo. A esta enfermedad se le denominó coronavirus (SARS-CoV2) o COVID-19.

En Guatemala, se detectó el primer caso en marzo de 2020, por lo que se iniciaron con medidas preventivas para evitar el contagio. El Gobierno de Guatemala determinó obligatorio el uso de mascarillas para toda la población y agregando el uso de caretas para todos los departamentos de atención al cliente en el sector laboral, así mitigando el contagio mediante gotículas. Para evitar el contacto indirecto, se innovo en varias herramientas que evitaran el contacto con diferentes superficies, entre ellas la llave anti-contacto.

La llave anti-contacto funciona para poder realizar las tareas de abrir puertas, ventanas o presionar botones. Estas llaves pueden ser manufacturadas mediante diferentes métodos, como las impresoras 3D o máquinas de inyección, donde cada uno de estos procesos puede tener ventajas y desventajas como la calidad de acabado o el tiempo para realizar cada una de ellas.

La Universidad del Valle de Guatemala realizó la compra de una máquina de inyección en febrero de 2021, por lo que la presente investigación busca diseñar un molde de colada fría con la cavidad de la llave anti-contacto para poder realizar dichas llaves para su utilización en la Universidad del Valle de Guatemala.

Para llevarlo a cabo, se determinó una ruta de trabajo, donde se establecieron los materiales de molde y de inyección, el diseño más adecuado para el sistema de alimentación del molde y así obtener los planos mecánicos donde se detallaron todas las dimensiones para su proceso de manufactura en la centro de maquinado vertical Haas VF1 y su uso en la máquina APSX-PIM obteniendo varias llaves anti-contacto.



---

### Justificación

---

La crisis de salud mundial causada por el virus SARS-CoV-2, también conocida popularmente como COVID-19 o Coronavirus, es originaria de la ciudad de Wuhan, provincia de Hubei en China. Este virus es causante del síndrome respiratorio severo, un virus que se propaga mediante partículas compartidas entre personas que están en contacto cercano y superficies. Gradualmente, esta crisis se fue extendiendo rápidamente a nivel global, llegando así, hasta América Latina.

En Guatemala, el gobierno dictó medidas de bioseguridad públicas con beneficio para los ciudadanos, además de las adoptadas de manera personal, entre las que podríamos mencionar: el distanciamiento social, uso de mascarillas, gel antibacterial y caretas. También salieron al mercado algunos productos innovadores para disminuir los riesgos de contagio, como lo es la llave higiénica anti-contacto, la cual, como su nombre lo indica, evita el contacto con manecillas de puertas, botones de ascensores eléctricos, botones de cajeros, pantallas de control táctil y otras superficies de contacto manual para multiusuarios. Existe gran variedad de diseños en el mercado, todos con el mismo fin: minimizar el riesgo de contagio en espacios públicos.

En enero de 2021, la Universidad del Valle de Guatemala inició con el proceso de retorno a la institución de manera gradual, por lo que el contacto con superficies de contacto multiusuario, como las mencionadas con anterioridad, es algo inevitable, siendo un foco de contagio a considerar, por lo que, para ayudar a mitigar la propagación del SARS-CoV-2, se diseñó una llave higiénica anti-contacto, la cual puede ser utilizada por las personas que se encuentren dentro de la Universidad del Valle de Guatemala.

Para fabricar la llave, se realizó un molde de colada fría de dos platos en el centro de maquinado vertical Haas VF1, en donde el proceso de diseño implementado para el sistema de inyección es el que se adapta mejor al molde para su uso específico en la inyectora ASPX-PIM. Posteriormente, se determinó el material a utilizar en el molde, así como el utilizado en la inyectora. Al realizar estos procesos para la manufactura de moldes para uso en procesos de inyección, se abre el espacio de mejoras en el proceso de producción, ya que se observó que lo simplifica y agiliza. Además, con el primer molde y la inyectora APSX-PIM se establece

un área de oportunidad para adquirir experiencia en procesos de inyección en los talleres académicos de la Universidad del Valle de Guatemala.

### 3.1. Objetivo general

Seleccionar los parámetros ideales de la unidad de inyección para un molde de dos platos que utilizará un proceso de colado en frío para la inyección de una llave anti-contacto en la máquina APSX-PIM.

Realizar el proceso de manufactura para un molde de dos platos utilizado en la inyección de una llave higiénica anti-contacto en la máquina APSX-PIM con el fin de poder mitigar el contagio del COVID-19 en la Universidad del Valle de Guatemala.

### 3.2. Objetivos específicos

- Identificar el material adecuado para que pueda ser utilizado en la inyectora APSX-PIM y asimismo la llave higiénica anti-contacto cumpla con su funcionalidad.
- Realizar el diseño y selección de accesorios indispensables para el sistema de llenado utilizados en la transmisión del material desde el sistema de inyección de la máquina APSX-PIM hacia la cavidad del molde de inyección de colada fría.
- Elaborar los planos mecánicos del molde de colada fría a través de la herramienta de Autodesk Inventor.
- Cotizar los materiales y elementos mecánicos dispensables para llevar a cabo el proceso de maquinado y ensamble del molde de colada fría.
- Ejecutar el proceso de maquinado para realizar la cavidad del molde de la llave higiénica anti-contacto.



### 4.1. COVID-19

En diciembre de 2019, en la ciudad de Wuhan, en China, se reportaron casos de pacientes con una nueva enfermedad, con características de un resfriado común, como fiebre, problemas respiratorios, tos seca, agregando nuevos síntomas como la pérdida del olfato, del gusto y lesiones pulmonares. La enfermedad tenía una capacidad de contagio demasiado alta. A esta enfermedad se le denominó coronavirus (SARS-CoV2) o COVID-19.

La propagación del virus se fue elevando considerablemente alrededor del mundo, por lo que se inició con adoptar amplias medidas de contención, obligando a fronteras cerrar sus puertas para tratar de evitar su expansión. El 11 de marzo de 2020, el COVID-19 fue declarado pandemia por el director general de la Organización de las Naciones Unidas (OMS), Tedros Adhanom Ghebreyesus. (Ferrer, 2020)

El primer caso en Estados Unidos se registró el 15 de enero de 2020, en el Aeropuerto internacional del sur de Seattle. (Vásquez, 2020). En Europa se registró el primer caso oficial de COVID-19 en España, el 31 de enero de 2020. (Ferrer, 2020). Corresponde a una infección en un paciente alemán ingresado en el hospital en la isla de La Gomera (Canarias). En latinoamérica, el primer caso que se obtuvo fue en Brasil, el 26 de febrero de 2020. (News, 2020)

En Guatemala, el primer caso corresponde el 13 de marzo de 2020, mediante un joven de 27 años que regresaba de visitar a familiares en Italia. Este caso alertó y obligó al presidente Alejandro Giammattei a tomar medidas preventivas para evitar la propagación del virus en el país. (Escobar y col., 2020). El plan de acción gubernamental implantó medidas como el toque de queda, mascarilla obligatoria para los ciudadanos y la limitación de circulación vehicular. Los guatemaltecos, por su parte implementaron medidas de cuidado personal, como el uso de alcohol en gel o spray, para la limpieza constante de manos, uso de caretas, para evitar ser alcanzado por gotículas de gente posiblemente contagiada. En el caso de las grandes empresas y restaurantes que manejan atención al cliente, se les obligó a trabajar con

caretas y guantes desechables, para un mantener altos estándares de calidad en los productos y servicios prestados. (Cuevas, 2020).

## 4.2. Formas de contagio

Según los modelos epidemiológicos y diferentes investigaciones científicas, los resultados indican que existen dos formas de contagio: directo e indirecto. El contagio directo se produce por el contacto cercano con personas infectadas y el contagio indirecto continua a través de objetos o superficies contaminadas por gotículas emitidas por personas infectadas.

Se realizaron distintas medidas de bioseguridad, para evitar el contacto indirecto con las gotículas (principalmente secreciones como saliva y mocos) y la medida optada para el contagio directo es mantener una distancia mínima de un metro de distancia entre cada persona, además del uso de artículos de protección personal. En cuanto al contagio indirecto, se busca hacer nulo el contacto entre objetos o superficies contaminadas, sin embargo, las medidas de protección para este punto únicamente se puede optar por la limpieza constante de superficies y/o el uso continuo de guantes desechables.

## 4.3. Implementos anti-contacto

De los últimos informes de la Organización Mundial de la Salud, indican que el virus no sobrevive de dos a tres días en las superficies comunes, como vidrio, metal, plástico, tela o papel. Es por ello que se invita a la desinfección constante de superficies. Esta información sobre el contagio indirecto abre espacio a la creación de medidas de protección personal que erradiquen este medio de transmisión, como lo es el uso de gel antibacterial consante y al mismo tiempo, se abre la necesidad de creación de elementos que impidan estar en contacto con las superficies, lo que da paso a la innovación de diferentes herramientas para evitar el mayor contacto posible con las superficies.

### 4.3.1. Llaves anti-contacto

Modelo creado para mitigar los contagios indirectos por COVID-19, consiste en una forma segura de interactuar con el medio inmediato, lugares de mucha afluencia, al reducir centros de alto tránsito manual, haciendo referencia los puntos de contacto directo, como lo es: la apertura de puertas, el pantallas táctiles, botones de ascensores mecánicos, botones de cajeros y otros similares. El uso de estas llaves permite mitigar la propagación de microorganismos relacionados con el COVID-19 y muchas otras afecciones similares.

Figura 1: Uso de llave anti-contacto



Fuente: Elaboración propia

## 4.4. Máquinas de inyección

Una máquina inyectora es un equipo capaz de plastificar el material polimérico y bombear este hacia un molde en donde llena una cavidad y adquiere la forma del producto.

Las máquinas de inyección de plástico tuvieron sus inicios por 1920, en Alemania, para la producción de piezas de materiales termoplásticos. Su auge se empezó a dar por los años 1930 a 1940, para utilizarlas con los recientemente descubiertos materiales, que serían el poliestireno y acrílico. El avance significativo que representaba la fabricación rápida y económica de artículos útiles, impulsó a las máquinas inyectoras, pasando de ser máquinas por accionamiento manual a máquinas accionadas hidráulicamente. El equipo obtuvo características significativas que le generaban gran ventaja sobre otros procesos de fabricación, como la baja necesidad de requerimientos complicados y costosos en los sistemas hidráulicos para operar. La sencillez del proceso ayudaba a que las máquinas de inyección pudieran ser instaladas en pequeños locales o espacios de empresas. (Pérez, 2019).

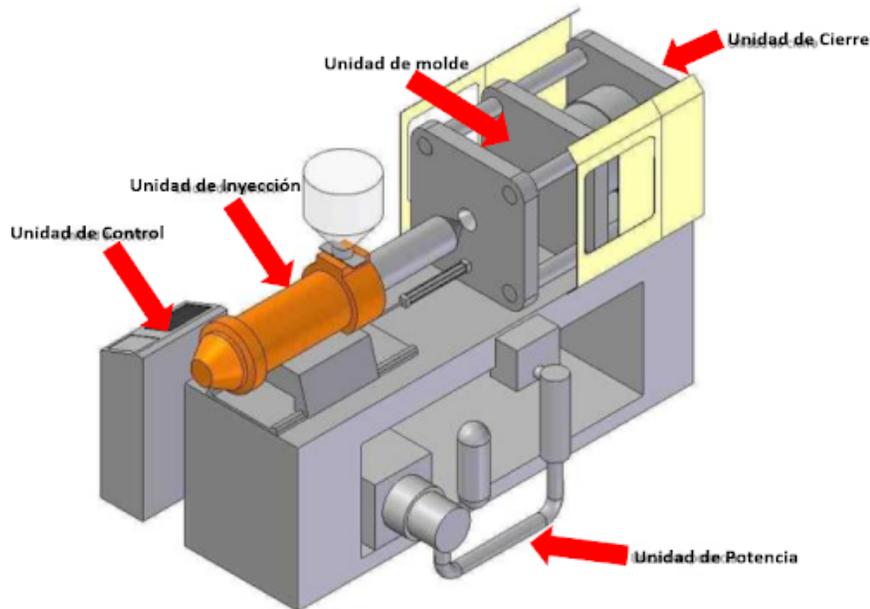
### 4.4.1. Clasificación de la máquina de inyección

Las máquinas de inyección se dividen en cinco unidades las cuales son utilizadas por la máquina para su correcto funcionamiento:

- Unidad de control

- Unidad de potencia
- Unidad de inyección
- Unidad del molde
- Unidad de cierre

Figura 2: Diseño genérico de las unidades de inyectora de plástico



Fuente: Elaborado por Fadinso, *cursos de mecánica de producción*.

Todas las máquinas de inyección poseen los mismos componentes, exceptuando la orientación de la misma, la cual se pueden encontrar en inyección horizontal o vertical. (Aguilar, 2010)

### Unidad de control

Es el tablero que contiene todos los parámetros a controlar en la máquina de inyección. En esta unidad, el usuario puede tener el control completo de la máquina, por lo que acá se domina todo el sistema. Actualmente existen equipos con mejoras en el sistema, donde pueden tener mayor cantidad de parámetros gracias a la implementación de una pantalla digital mas moderna.

### Unidad de potencia

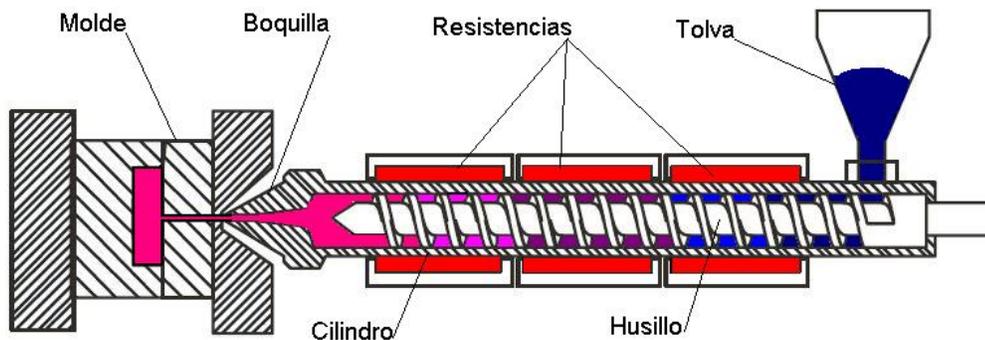
Encargada de suministrar la potencia para que la máquina de inyección lleve a cabo su trabajo. El tipo de sistema de potencia va a depender del tipo de máquina de inyección que se este utilizando. Algunos de los sistemas utilizados son:

- Sistema eléctrico
- Sistema hidráulico directo
- Sistema electromecánico

### Unidad de inyección

La unidad de inyección abarca todo el conjunto de procesos y herramientas para poder llevar a cabo correctamente la inyección del material dentro del molde. Este proceso da inicio desde que el material ingresa a la máquina mediante la tolva, hasta realizar la inyección del material al molde.

Figura 3: Diseño genérico de la unidad de inyección



Fuente: Elaborado por Fadinso, *cursos de mecánica de producción*.

### Unidad del molde

La unidad del molde es el lugar donde se inyecta el material para poder rellenar la cavidad deseada y extraer el producto. En el se encuentran diferentes procesos, como la refrigeración y/o la expulsión de la pieza.

### Unidad de cierre

Consiste en la unidad que sostiene el molde fijo y el molde que se moviliza para efectuar correctamente el cierre y la apertura del proceso. Además, en esta unidad se genera la fuerza para mantenerlo cerrado durante la fase de inyección. Algunos de los tipos de unidad de cierre son:

- Cierre por rodillera (simple o doble)
- Cierre por pistón o cierre directo

- Cierre hidromecánico o pistón bloqueado

Uno de los parámetros primordiales en esta unidad es la fuerza de cierre, la cual mantiene el molde cerrado durante el proceso de inyección. Esta medida está dada en unidades de presión y el dato lo determina el fabricante de la máquina. En cuanto a la distancia máxima de apertura o carrera del sistema de expulsión, indica el espacio existente entre el molde fijo y el molde móvil al estar separados. (Pérez, 2019)

#### 4.4.2. Proceso de inyección

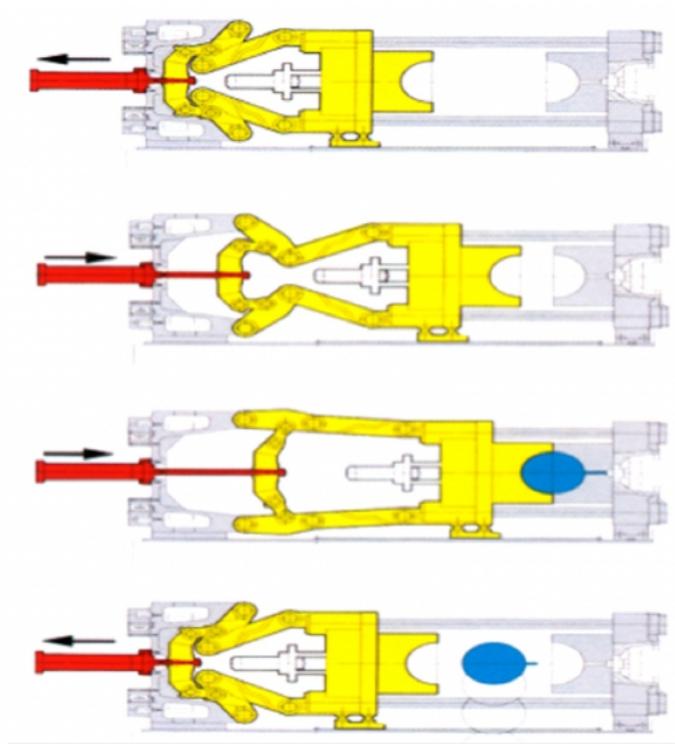
Proceso semi continuo que consiste en inyectar un polímero en estado fundido en un molde cerrado a presión, a través de un orificio. En ese molde el material se solidifica en un determinado tiempo, por lo que la pieza se obtiene, genera y se extrae al abrir el molde. El proceso es realizado totalmente por una sola máquina llamada inyectora la cual puede requerir de equipo auxiliar. (Aguilar, 2010)

El proceso se puede generalizar en tres pasos fundamentales para un mayor entendimiento, ya que cada una de las fases a realizar se pueden expandir, dependiendo del tipo del molde que se desee realizar y la demanda que exista del mismo, ya que las cavidades que se encuentran en el molde pueden ser más de una.

- Cierre del molde: el molde móvil se conecta hacia el molde fijo, donde quedará una cavidad de vacío para su futura inyección de plástico.
- Inyección: el husillo realiza presión sobre el plástico, generando la inyección por la boquilla hasta llenar la cavidad vacía que se encuentra entre los dos moldes.
- Enfriamiento: al estar inyectado el material en la cavidad, se enfría con el fin de que se solidifique para su posterior expulsión. El tiempo de enfriamiento depende del tipo de material de inyección, del material del molde y la geometría de la pieza.
- Apertura del Molde: tras la solidificación de la pieza, el molde móvil retrocede y la unidad de expulsión actúa para despegar la pieza del molde fijo.

(Pérez, 2019)

Figura 4: Proceso de inyección



Fuente: José Ramón Lerma, *dpto. técnico de Biesterfeld Ibérica*.

### **Variables del proceso de inyección**

Las variables del procesos de inyección son aquellos parámetros necesarios para que el proceso se concrete de la manera mas eficientes. Existen variables las cuales se pueden modificar con ciertos limites para el correcto trabajo de la inyectora, mientras que otras son establecidas desde el proceso de diseño del molde. Las variables pueden tener dependencia, por lo que no todas son modificables. Al momento de modificar las variables, el usuario puede tener diferentes objetivos como bajar el tiempo de proceso de inyección, rellenar más la cavidad, mejorar la eficiencia, ahorrar material, entre otros. Algunas de las variables más importantes son:

#### **1) Puntos de inyección**

Es ubicación donde entra el material a la cavidad del molde. En ella se encuentra todo el diseño de alimentación. Esta ubicación siempre se recomienda que se establezca en la sección más gruesa de la pieza. Esto con el fin de que el flujo del polímero llene las secciones más gruesas del molde. No se aconseja un flujo en secciones delgadas a secciones gruesas, ya que pueden quedar burbujas de aire en la cavidad. (Bernal, [2014](#))

## 2) Venteo

Los orificios de ventilación en la cavidad del molde permiten que el gas (aire) que se encuentra presente en la cavidad escape mientras la resina la llena. El diseño del venteo depende significativamente de la complejidad de la cavidad a inyectar, por lo que un venteo mal diseñado genera un aumento de presión dentro de la pieza, dejando marcas de quemaduras en el interior. (Bernal, 2014)

## 3) Temperaturas

La temperatura de la boquilla, cilindro de plastificación, está dada por el tipo de material que se utilizará en la inyección. Dichas temperaturas se ajustan a la temperatura de la masa fundida, por lo que es una variable únicamente limitada por el material y la cual se puede modificar en la inyectora antes de iniciar su proceso. Esta determina las propiedades estructurales de una pieza moldeada, por lo que debe ser constante y uniforme, ya que controla la densidad y contracción.

## 4) Velocidades

Existen varias velocidades en el proceso de inyección, las cuales pueden ser independientes o dependientes del proceso de inyección. En el Cuadro 1 se observa algunas características importantes de las velocidades.

Velocidad del cierre del molde: distancia que recorre uno de los platos del molde hasta cerrar con el plato fijo en un tiempo determinado, la velocidad de cierre del molde se realiza en etapas de disminución con el objetivo de evitar frenados bruscos durante la fase de cerrado del plato móvil.

Velocidad de apertura del molde: distancia que recorre el plato móvil del molde hasta separarse del plato fijo y dejar el espacio suficiente para la expulsión de las piezas en un tiempo determinado. La velocidad de apertura del molde se realiza al contrario de la fase de cierre de molde (aumento de velocidad) con el fin de no tener una aceleración brusca.

Velocidad de plastificación: controla las revoluciones por minuto del husillo o tornillo en el momento de la plastificación.

Velocidad de inyección: dependerá de factores como viscosidad del polímero, condiciones del molde, temperatura, entre otros. *El uso de una velocidad de inyección alta mejorara el aspecto y brillo superficial de la pieza, ya que la cavidad del molde se llena completamente antes de que la resina comience su solidificación. Variando la velocidad de inyección adecuadamente, se pueden reducir los defectos superficiales en la pieza, tales como las ráfagas y manchas en la zona del punto de inyección* (Aguilar, 2010).

Velocidad de expulsión: distancia que recorren los expulsores en un tiempo determinado para expulsar la pieza moldeada.

## 5) Presiones

Presión de inyección: es la presión requerida para vencer las resistencias que el material fundido produce a lo largo de su trayectoria. La presión puede variar a lo largo del sistema de alimentación hasta la llegada a la cavidad, por lo que es importante realizar un proceso

Cuadro 1: Velocidades del proceso de inyección

Velocidades	Dependencia	Control de variable
Cierre	No	En el proceso
Apertura	No	En el proceso
Plastificación	Propiedades del material	En el diseño
Inyección	Propiedades del material	En el diseño y proceso
Expulsión	No	En el proceso

Fuente: Elaboración propia

de diseño con anterioridad para que el material no se quede atorado en el conducto. Esta presión se divide en dos fases. La primera presión, que se llena la cavidad en un 90 o 95 por ciento, para después terminar de llenar la pieza con la segunda presión, más baja, para terminar de completar el llenado.

Contrapresión: momento de la plastificación donde el material es llevado hacia delante mientras el husillo gira hacia atrás. La contrapresión se aplica sobre el husillo que gira y tiene como función impedir su retorno, mejorando la acción de la mezcla del material.

Descompresión: distancia que el husillo retrocede para liberar la presión ejercida sobre el plástico, de tal manera que no escurra el material al momento que abra el molde.

Presión de expulsión: al realizar la apertura del molde, la pieza se debe separar del mismo. Esto se logra a través de un mecanismo de expulsión, que requiere de una presión de botado que está activada durante toda la fase de expulsión. Esta depende de si la máquina tiene un mecanismo de expulsión y su función es automatizar más el proceso.

## 6) Distancias

La variable distancia depende significativamente de la máquina de inyección que se este utilizando:

- Distancia de inyección: cantidad de plástico necesaria para llenar todas las cavidades y la colada.
- Espesor del colchón: distancia que el husillo reserva para terminar de introducir material al interior del molde. Este debe ser el 10 por ciento de la capacidad del la capacidad del barril.
- Distancia de apertura y cierre de molde: distancia deseada que abra y cierre el plato móvil del molde para que pueda expulsarse la pieza e iniciar el proceso nuevamente.

## 7) Tiempos

- Tiempo de inyección: tiempo en el que se lleva a cabo el llenado de las cavidades del molde.
- Tiempo de plastificación: tiempo requerido para llevarse a cabo la fusión del material, hasta llevarlo a un estado líquido viscoso.

- Tiempo de enfriamiento: tiempo para acabar de solidificar la pieza. Este se realiza al tener la cavidad llena y acaba cuando el molde se abre para expulsar la pieza. Esta variable se puede modificar mientras está en uso la inyectora para mejorar el tiempo de ciclo.
- Tiempo de ciclo: tiempo en el que se llevan a cabo las etapas del proceso de inyección. Este se cuenta desde que el molde inicia su proceso de cierre para ser inyectada la cavidad, hasta que la pieza a sido extraída del molde.

Las ventajas de este proceso son: la versatilidad de las piezas que se pueden fabricar; la rapidez de fabricación; el diseño escalable desde los procesos de prototipos rápidos; los altos niveles de producción y los bajos costos; la alta o baja automatización, según el costo de la pieza; geometrías muy complicadas que serían imposibles por otras técnicas; las piezas moldeadas requieren muy poco o nulo acabado, pues son terminadas con la rugosidad de superficie deseada, color y transparencia u opacidad; buena tolerancia dimensional de piezas moldeadas con o sin insertos y con diferentes colores. (Aguilar, 2010)

#### 4.4.3. Máquina APSX-PIM

APSX-PIM es una máquina de sobremesa eléctrica automática que trabaja comprimiendo un resorte para crear la presión de inyección e inyectando el material derretido en el molde a utilizar.

Figura 5: APSX-PIM



Fuente: APSX-PIM, *manual del usuario*

Características de la inyectora:

- Corre con potencia de 115 VCA sin necesidad de conexión de sistema hidráulico o neumático.

- Genera 5 toneladas de fuerza de sujeción
- Inyecta 30 centímetros cúbicos de plástico (hasta 315 °C).
- El tamaño del molde es de 6”(alto) por 4.8” (ancho).
- Entre sus materiales plásticos a utilizar para inyección se encuentran: HDPE, PP, TPO, PS, ABS.
- Se recomienda utilizar cualquier material con un índice de fluidez superior a 15 g / 10 min.

La máquina está controlada por un sistema eléctrico, el cual manda señales para motores y sensores totalmente precisos que pueden realizar un proceso de inyección continuo. El usuario es capaz de utilizar una PC con pantalla táctil ya incorporada a la máquina la cual es utilizada para su configuración y control de operaciones. (APSX, [s.f.](#))

Las secciones principales de APSX-PIM son:

- Sección de pre-plastificación
- Sección de plastificación
- Sección de inyección
- Sección de sujeción
- Sección de interfaz de usuario.

## 4.5. Materiales de inyección

Los plásticos son materiales orgánicos. Las materias primas que se utilizan para producir plástico son productos naturales como la celulosa, el carbón, el gas natural, la sal y el petróleo.

Todo material plástico se puede procesar si tiene un rango térmico entre su punto de fusión y el punto de inicio de la descomposición. En el proceso de inyección de plástico, se permite obtener gran variedad piezas plásticas como juguetes, artículos para la industria y el hogar. El material debe de ser seleccionado con base en los parámetros de la inyectora que se utilice, ya que al fundirlo, este tiene propiedades mecánicas las cuales pueden facilitar o retrasar el proceso de inyección además de alterar la calidad del producto final. En la mayoría de los casos, los más utilizados son los termoplásticos y algunos termoestables. (Fernandez, [2014](#))

### 4.5.1. Tipos de material

#### Termoplásticos

Plástico fabricado de un polímero formado por cadenas de un peso molecular muy alto. Al aumentar su temperatura, se vuelve un líquido homogéneo. Al enfriarse es un material duro y hasta cierta temperatura baja llega a ser un material frágil. Estas características facilitan su uso en el proceso de inyección, son un material fácil de reciclar y para su uso, la mayoría de moldes de inyección van refrigerados. (Bernal, 2014) Algunos de estos termoplásticos son:

- PET (polietileno tereftalato)
- PE (polietileno)
- PS (poliestireno).
- PP (polipropileno).
- PMMA (polimetacrilatos)

#### Termoestables

Polímero con estructura tridimensional y alto encadenamiento cruzado. Tienen una gran rigidez, estabilidad física y mecánica. Es un material muy frágil. Mejoran sus características de flexibilidad al realizar mezclas con diferentes aditivos.

Los plásticos termoestables manejan una gran similitud en el proceso de inyección que en los termoplásticos, teniendo ciertas variantes para un mejor resultado, como añadir a los moldes un proceso de calentamiento, generalmente utilizando resistencias para generar calor. Otro proceso de los más comunes es agregar sistema de tubería donde pase un fluido como el aceite para generar calor. Este proceso se le llama inyección por colada caliente. (Instituto Mexicano de Plástico Industrial, S.C., 2020). Algunos de estos materiales son:

- PF (resina fenólica)
- UF (resinas de urea)
- UP (resina de poliéster).
- PUR (poliuterano)

Figura 6: Productos en base a polímeros



Fuente: Elaboración propia

#### 4.5.2. Mercado guatemalteco

En Guatemala se pueden encontrar cierta cantidad de materiales para inyección de plástico. La obtención de estos materiales va desde la importación de países productores. La importación del material genera gastos extras los cuales si no se traen en gran cantidad, pueden llegar a ser no viables para su uso. La otra opción es encontrar distribuidores en el país, con empresas dedicadas a la obtención de estos materiales. Existen empresas dedicadas solamente a la fabricación, importación y/o reciclaje, lo que facilita la obtención del material en el país. No obstante, la mayoría de empresas manejan este producto mediante pedidos al por mayor, por lo que obtener estos materiales en cantidades menores se vuelve una tarea difícil y un costo elevado.

#### 4.6. Moldes de inyección

Los moldes de inyección son el elemento en el cual se tiene la cavidad del producto que se desea realizar y comprende de la cavidad como de todo el equipo necesario para el enfriamiento de la pieza (si esta lo amerita) y su posterior expulsión. (Montealegre Zuleta, 1990)

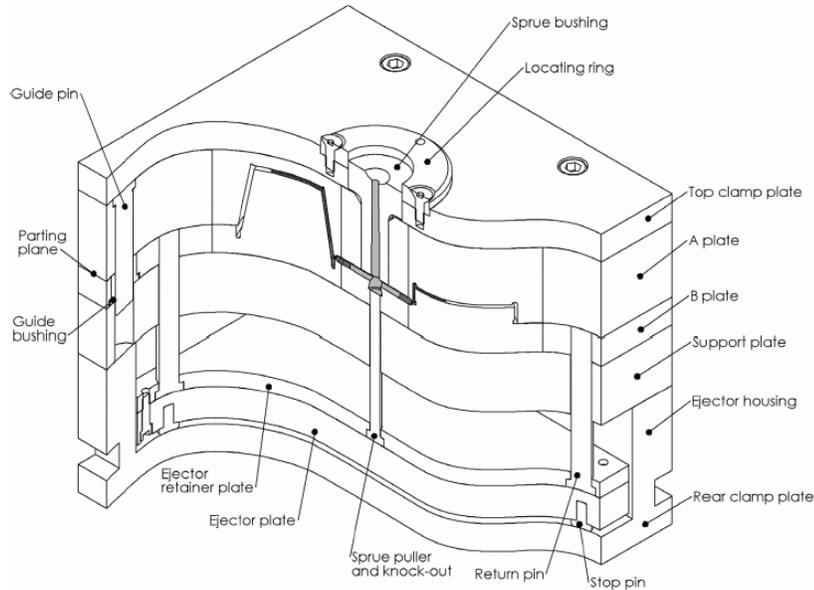
##### 4.6.1. Tipos de molde de inyección

La clasificación de moldes de inyección se rige por las características principales de construcción y función. Entre ellas se pueden encontrar su tipo de colada, su separación, su

expulsión o su ángulo de desmoldeo. (Bernal, 2014). La clasificación más común la compete su número de placas, ya que este determina la cantidad de accesorios que pueden ser utilizados en el molde, como canales de enfriamiento o resistencias. Existen dos tipos:

Moldes de dos placas: utilizan un lado A estacionario y un lado B móvil. El material fundido se inyecta por medio de una corredera en el lado A y a lo largo de un sistema de colada entra a la cavidad o cavidades del molde.

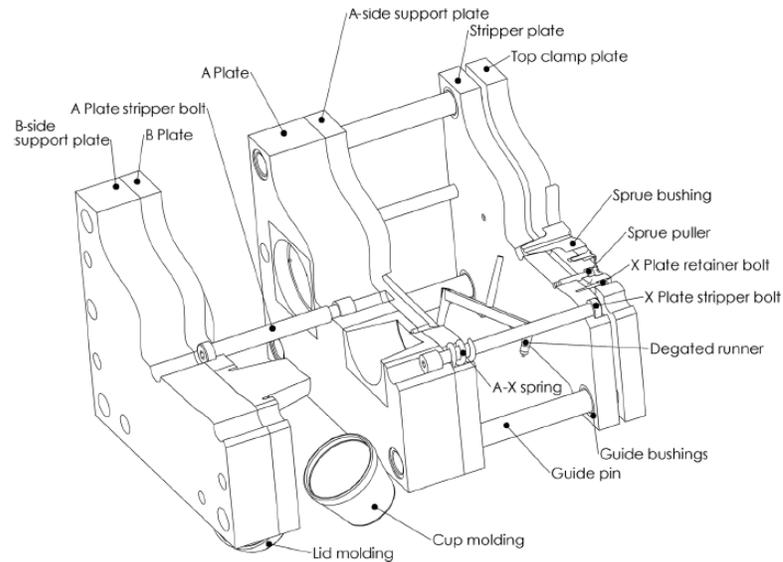
Figura 7: Molde de 2 platos



Fuente: Elaborado por David O. Kazmer, *Mold Design Engineering*.

Moldes de tres placas: son una modificación del sistema de dos placas en la cual se añade una placa central entre las placas móvil y estacionaria. La placa central aísla la corredera y el sistema de colada, de las piezas. (Aguilar, 2010)

Figura 8: Molde de 3 platos



Fuente: Elaborado por David O. Kazmer, *Mold Design Engineering*.

#### 4.6.2. Materiales de molde de inyección

El material para realizar los moldes requieren exigentes estándares de calidad para realizar los trabajos de inyección de la manera mas satisfactoria a la pieza terminada. Por otro lado, requiere ser un material altamente apto para las condición a las que será sometido. Es por ello, que los materiales para moldes de inyección deben poseer las siguientes propiedades:

- Buenas condiciones para su elaboración (mecanibilidad, facultad de troquelado en frío, templabilidad)
- Resistencia a la compresión, temperatura y abrasión
- Aptitud para el pulido
- Suficiente resistencia a la tracción y tenacidad
- Tratamiento térmico sencillo
- Deformación reducida
- Buena conductividad térmica
- Resistencia a los ataques químicos

(Bernal, 2014)

### 4.6.3. Diseño moldes de inyección

Inicialmente, en el diseño del molde, se delimita el diseño preliminar de la cavidad la cual se desea sacar, dígase el producto final. Obteniendo las dimensiones necesarias de la cavidad, se delimitan los sistemas necesarios para que el molde funciones correctamente. El proceso dentro del molde de inyección se puede dividir en tres grandes sistemas. Inicialmente, se tiene el sistema de alimentación, el cual su función es el diseño a dimensional de la entrada del flujo de material hacia la cavidad. El sistema de refrigeración o calefacción, dependiendo el tipo de molde que es. Este sistema se basa principalmente en la transferencia de calor. En el caso de la refrigeración, el sistema ayuda a solidificar el material más rápido dentro de la cavidad y así dejando abrir la unidad del molde para la extracción de la pieza ya sólida. Por último, se tiene el sistema de expulsión, el cual es el encargado de extraer el diseño final del molde. Este sistema busca la automatización del proceso de inyección, consiguiendo un proceso más continuo y disminuyendo el ciclo de inyección. (Kazmer, 2016)

#### Sistema de alimentación

El sistema de alimentación tiene como finalidad proporcionar la cantidad necesaria de flujo de masa fundida a presiones correctas a cada una de las cavidades. Para lograrlo, el diseño de los sistemas de alimentación deben cumplir lineamientos básicos como:

- Establecer una caída de presión adecuada para el sistema, el cual normalmente no es superior al 50 por ciento de la presión requerida para llenar las cavidades del molde.
- Consumir la menor cantidad de materia posible, comúnmente no sobrepasando el 30 por ciento del volumen de las cavidades del molde para moldes de canal frío.
- No extender el tiempo de enfriamiento del molde.

El tipo de sistema de alimentación comúnmente se especifica dentro de la cotización del molde por parte del diseñador, debido a que el diseñador tiene comunicación directa con el cliente. Sin embargo, si el tipo de sistema de alimentación es incierto, entonces el diseñador del molde debe considerar los requisitos de la aplicación de moldeo y las capacidades de la máquina para maquinar el molde. El siguiente cuadro muestra algunas de las características a tomar en cuenta con base en el tipo de molde a utilizar. (Kazmer, 2016)

Cuadro 2: Tipos de molde y propiedades

Tipo de molde	Inversión inicial	Capacidad del molde	Eficiencia material	Eficiencia del ciclo
Colada fría dos platos	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Colada fría tres platos	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
<i>Runner</i> aislado	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
<i>Hot Runner</i>	Alto	Moderado	Alto	Alto
Varios platos	Alto	Alto	Alto	Alto

Fuente: David O. Kazmer, *Mold Design Engineering*

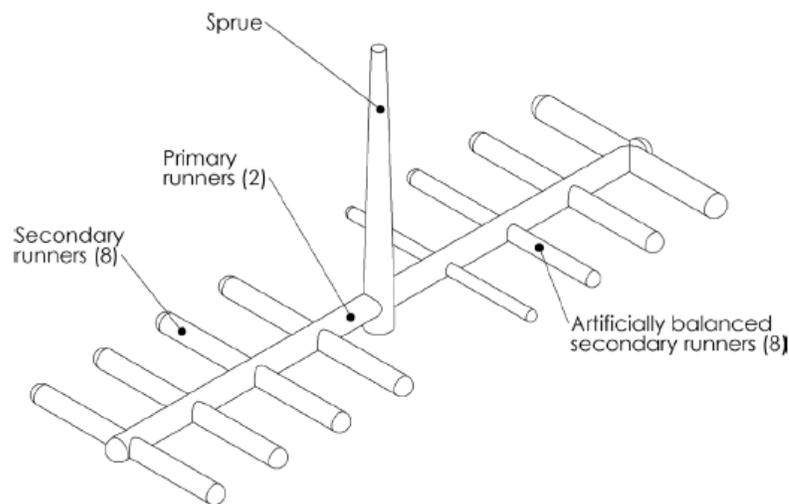
En el Cuadro 2 se muestra una inversión inicial la cual no se refiere solo al costo del diseño del molde y los componentes asociados, sino también al tiempo necesario para fabricar y probar el molde terminado. La eficiencia del ciclo como la eficiencia del material son factores que pueden variar dependiendo de la capacidad de la máquina, así como las propiedades mecánicas al material, pero la idea del Cuadro 2 es proporcionar las primeras ideas para la selección del molde, y lo que la selección de este le da un mejor o peor resultado.

Los diseños de sistemas de alimentación pueden variar según las series y/o ramificaciones necesarias para el diseño. El sistema necesita obligatoriamente de algunos componentes para el correcto funcionamiento, los cuales son:

- Bebedero, mejor conocido como (*Sprue*).
- Corredor, mejor conocido como (*Runner*).
- Compuerta, mejor conocido como (*Gate*).

Además, depende de la complejidad del diseño, se pueden insertar complementos para un mejor trabajo de inyección y un mejor acabado de pieza, como la refrigeración o el venteo.

Figura 9: Sistema de alimentación



Fuente: Elaborado por David O. Kazmer, *Mold Design Engineering*.

## Bebedero

El bebedero es el encargado de conectarse al anillo de retención, para el ingreso del material al molde, hasta el corredor, como se muestra en la Figura 9. El bebedero en la mayoría de las ocasiones tiene su perfil circular, ya que está conectado directamente a la máquina.

Para el diseño del sistema de alimentación, es importante resaltar la caída de presión dentro del bebedero, ya que acá sucede este primer cambio, entre la presión que genera la máquina en la entrada del bebedero y la presión de salida del bebedero con el diámetro del mismo. Esta caída de presión se puede establecer como al caída de presión idónea para que el material mantenga el flujo, y se da mediante la ecuación [1](#)

$$\delta P_i = \frac{\delta P_{max} * L_i}{L_{total}} \quad (1)$$

Donde:

- $\delta P_i$  : Presión ideal
- $\delta P_{max}$  : Presión máxima
- $L_i$  : Longitud del bebedero
- $L_{total}$  : Longitud total del bebedero hasta el final del corredor.

En diámetro del bebedero puede variar en dimensiones, ya que queda a criterio del diseñador el tamaño y longitud del mismo. Se puede obtener un diámetro que cumpla con los requerimientos de la máquina de inyección con base en la caída de presión ideal que ocurre en el bebedero. Se determina mediante la ecuación [2](#)

$$R = \left( \left( \frac{2 * k * L}{\delta P_i} \right)^{\frac{1}{n}} * \frac{(3 + \frac{1}{n}) * Q}{\pi} \right)^{\frac{1}{3 + \frac{1}{n}}} \quad (2)$$

Donde:

- $R$  : Radio del bebedero
- $k$  : Viscosidad de referencia
- $\delta P_i$  : Presión ideal
- $L$  : Longitud del bebedero
- $n$  : Índice de ley de potencia.
- $Q$  : Caudal.

En el diseño, se utiliza el cálculo del número de Reynolds, con el fin de determinar si el flujo es laminar o turbulento.

$$Re = \frac{4 * P_{melt} * Q}{\pi * u_{melt} * D} < 2300 \quad (3)$$

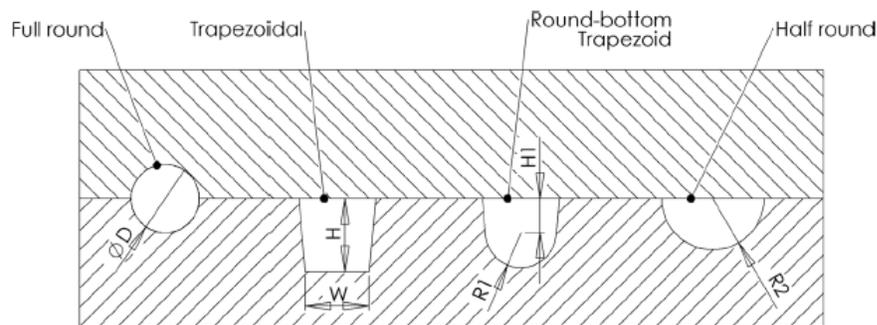
Donde:

- $P_{melt}$  : Densidad del material
- $u_{melt}$  : Viscosidad dinámica del material
- $D$  : Diámetro del bebedero
- $Q$  : Caudal.

## Corredor

Iniciando en el corredor, este tiende a ser de menor diámetro, ya que se puede dividir en dos o más corredores. La disminución del diámetro ayuda directamente al flujo para mantener la caída de presión en el rango ideal. Los corredores, pueden ser de diferentes perfiles, como se muestra en la Figura 10, las cuales puede ayudar a disminuir el tiempo de ciclo. Estos corredores son seleccionados directamente por el diseñador, tomando en cuenta los costos de manufactura que puedan generar.

Figura 10: Tipos de corredores



Fuente: Elaborado por David O. Kazmer, *Mold Design Engineering*.

El diseño completamente circular o *full round* es el más común de los corredores para moldes, ya que permiten un análisis sencillo además de ser más fácil de maquinarse por encima del trapecoidal, el trapecoide de fondo redondo o *round-bottom trapezoid* y el semicírculo o *half around*. Los corredores a menudo se mecanizan solo en el lado móvil del molde. Esta estrategia de diseño de moldes no solo reduce la cantidad de mecanizado sino también reduce el tiempo de diseño y la posibilidad de errores de mecanizado o desalineación asociado con hacer coincidir los dos lados de un corredor redondo completo. El diámetro del perfil seleccionado depende directamente del diseño, por lo que el diseñador debe seleccionar el que mejor se acople a su necesidad, determinar su diámetro y su eficiencia. La caída de presión se puede obtener mediante la ecuación 1, editando los valores de la misma.

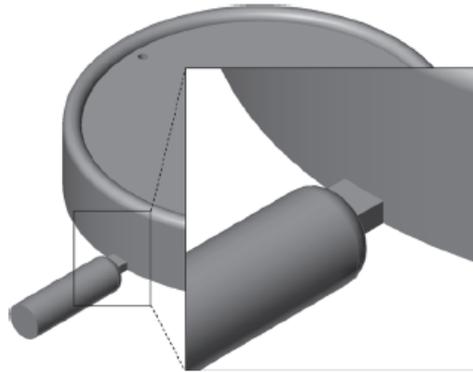
## Compuerta

La función principal de la compuerta es conectar el corredor a la cavidad del molde, de modo que el polímero fundido puede fluir a través de la cavidad para rellenar la pieza final.

El diseño de la compuerta proporciona un medio por el cual el flujo de la la masa fundida se puede ajustar con precisión a la cavidad, mediante el ajuste de su ubicación o dimensiones y así tener un mejor llenado, menor tiempo de trabajo y evitando problemas como punto de fractura por material solidificado antes de tiempo.

Otra función importante de la compuerta es el poder proporcionar la desconexión de la moldura en el momento de la expulsión. De no tener este sistema, la máquina tuviera que hacer la desconexión directa del sistema de alimentación con la pieza, lo cual puede llevar un proceso mas largo de trabajo e impone claramente un mayor costo.

Figura 11: Diseño de compuerta



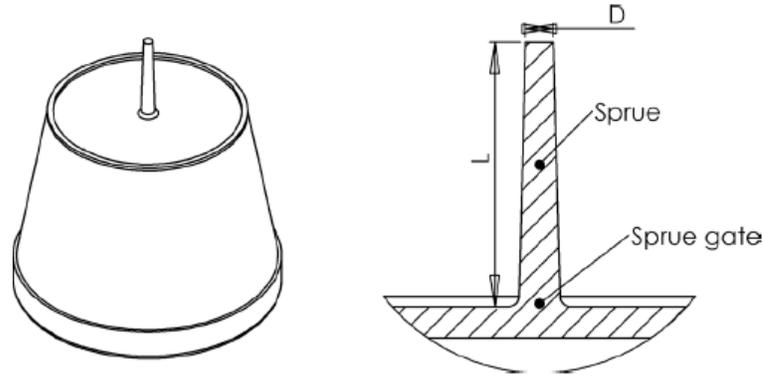
Fuente: Elaborado por David O. Kazmer, *Mold Design Engineering*.

Además, la pieza debe mantener la figura bien estéticamente. Dado que las puertas están físicamente unidas a las pieza, su eliminación dejará un testigo o marca la cual puede estar en diferentes secciones de la pieza final. Un enfoque común es utilizar un método muy pequeño de compuerta con el fin de que la marca sea lo mas pequeña posible. Otro enfoque común para resolver este problema es ubicar la compuerta en superficies no visibles, como debajo de una pared lateral en lugar de la pared lateral. Existen gran variedad de diseños de compuerta. En este caso, se presentan los cuatro mas utilizados en colada fría:

### 1) Compuerta-bebedero

Este se encuentra directamente conectado al bebedero. Son moldes en los cuales no se necesitan corredores, por lo que este diseño se utiliza más en moldes de una cavidad en la cual el bebedero se apoya directamente en la superficie de la cavidad del molde.

Figura 12: Diseño de compuerta-bebedero

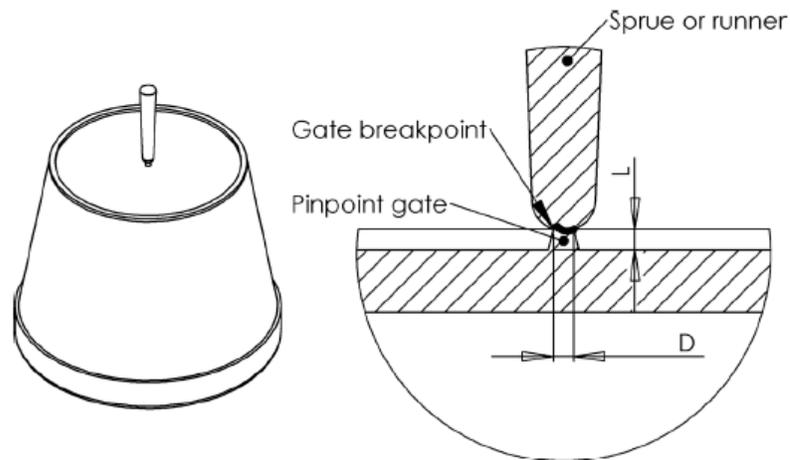


Fuente: Elaborado por David O. Kazmer, *Mold Design Engineering*.

## 2) Compuerta *pin-point*

Se utiliza para conectar un bebedero o corredor a la cavidad del molde a través de una pequeña abertura cilíndrica. Este tipo es comúnmente utilizado debido a su pequeño tamaño, lo que facilita la desactivación al momento de expulsar la pieza. Se utilizan a menudo con moldes de tres placas.

Figura 13: Diseño de compuerta-*pin-point*

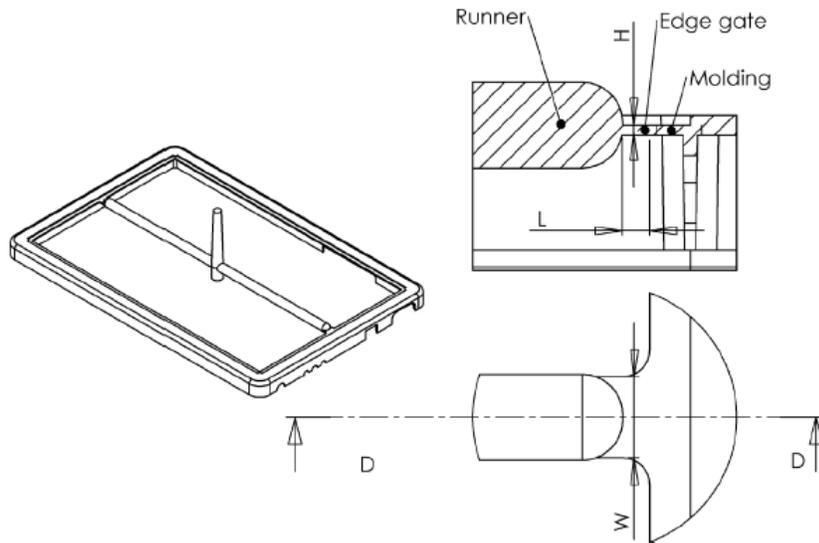


Fuente: Elaborado por David O. Kazmer, *Mold Design Engineering*.

## 3) Compuerta de borde

Este es un tipo de compuerta común que se utiliza en canales fríos, para conectarlo hacia el borde de una cavidad de molde. Se recomienda conectarlo a la parte interior de la cavidad, este con el fin de que la marca no será observada por el usuario final.

Figura 14: Diseño de compuerta de borde

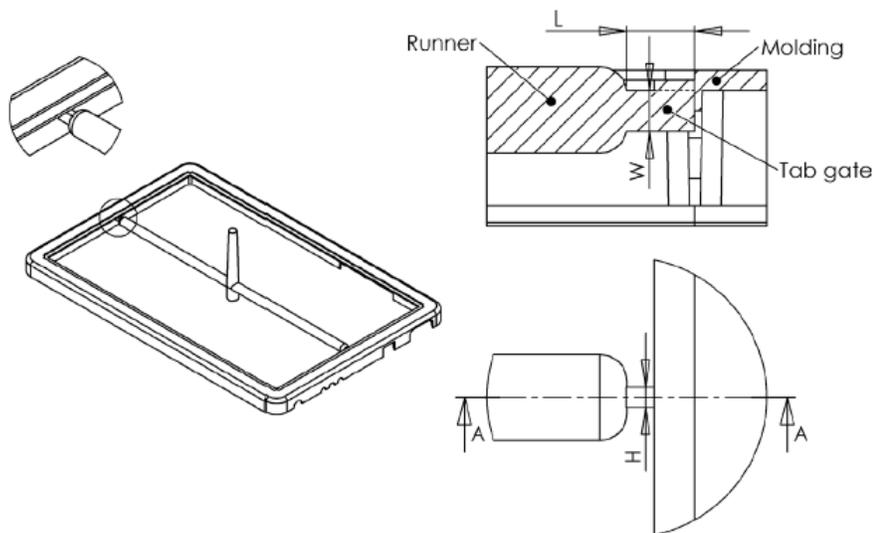


Fuente: Elaborado por David O. Kazmer, *Mold Design Engineering*.

#### 4) Compuerta de ventilador

Se considera como una de las variantes de la compuerta de borde, en la que el ancho del mismo en la moldura excede el diámetro del corredor, como se muestra en la Figura 15. El diseño se hace evitando velocidades de cizallamiento excesivas cuando la masa fundida fluye hacia la cavidad a una alta tasa de flujo volumétrico.

Figura 15: Diseño de compuerta de ventilador



Fuente: Elaborado por David O. Kazmer, *Mold Design Engineering*.

Comúnmente, la selección de un tipo de compuerta es obvio una vez que se especifican las ubicaciones de las puertas. Los factores primarios que deben ser consideradas incluyen el tipo de sistema de corredores, el método deseado de nivel permisible de velocidades de corte a través de la compuerta y el flujo resultante que se desea. Al igual que el corredor, las dimensiones del corredor dependen directamente del tipo de corredor a utilizar, por lo que el diseñador ya establecido su tipo de compuerta, puede realizar los cálculos de tasa de corte, caída de presión y diámetros ideales.

### ***Respiraderos***

La función principal del respiradero es liberar el aire en el molde que está siendo desplazado por el plástico fundido. Si todo el aire de la cavidad no es eliminado durante la etapa de llenado, pueden producirse varios defectos como:

- Formar una bolsa altamente presurizada en la cavidad del molde a través del cual la masa fundida no puede fluir, formando un tiro corto en el producto moldeado.
- El gas que se encuentra comprimido y a una alta temperatura puede arder en presencia del plástico fundido, provocando un fenómeno conocido como "quemaduras" generando marcas en el producto final, teniendo que rechazar las piezas y generando costos.
- La presencia de gas entre dos frentes de fusión convergentes puede reducir la resistencia de la pieza debido a la interferencia del aire, también formando marcas en V en la superficie de la pieza moldeada que actúan como una concentración de tensión.

Una de las características principales de los respiraderos es contener el plástico que está ingresando a la cavidad. Si un respiradero es demasiado grueso, entonces el polímero fundido puede filtrarse, lo que hace que se forme una línea delgada de plástico en las ubicaciones de ventilación. En muchas aplicaciones de moldeo, este destello debe ser recortado por el operador de la máquina utilizando una herramienta de desbarbado. Este desbarbado es indeseable ya que el operador incurre el costo de mano de obra. Por estas razones, se recomienda utilizar menos respiraderos y de diámetros más pequeños. (Kazmer, 2016)

El uso de ventilaciones también proporciona más características en el molde que pueden requerir mantenimiento. Muchos polímeros emitirán gases en estado fundido, liberando partículas que pueden acumularse y obstruir el sistema de ventilación. Muchos moldeadores resuelven este problema incorporando la limpieza de ventilación como parte de un programa de mantenimiento preventivo. En cualquier caso, el diseñador de moldes debe esforzarse por diseñar sistemas de ventilación que requieran mantenimiento mínimo.

#### **4.6.4. Mecanizado de moldes**

Existe gran variedad de máquinas y herramientas, las cuales, dependiendo de la pieza a realizar, se pueden seleccionar algunas para el correcto mecanizado, pensando en variables como el tiempo, la herramienta, el resultado final, entre otros. El desarrollo tecnológico de las propias máquinas herramienta, se distingue inicialmente de diferentes tipos de procesos

de mecanizado, en función de diferentes variables, como la exactitud, precisión y/o volumen de metal cortado por unidad de tiempo. (Albarrán y col., 2012)

## Máquinas para mecanizado

Entre las máquinas de mecanizado, estas existen desde hace varios años, las cuales, han avanzado a pasos agigantados, por lo que el mecanizado convencional, el cual consiste en maquinar una o varias piezas utilizando las máquinas herramienta convencionales, se ha ido perfeccionando a lo largo del tiempo.

Figura 16: Máquina convencional: fresadora



Fuente: Jesus Lobillo.

Hoy en día los procesos de mecanizado se manejan con equipos de control numérico computarizado, conocidos como máquinas CNC. Estas nuevas máquinas engloban toda una serie de factores que impulsan las modernas tecnologías que contribuyen a mejorar la efectividad y eficiencia de los procesos de mecanizado. Entre los más importantes se pueden mencionar:

- Exigencias del mercado de mayor calidad, complejidad y precisión de los productos.
- Reducción de los plazos de entrega para lo cual se requiere la reducción de los tiempos de las operaciones tecnológicas.
- Mejoramiento de la calidad de los materiales.

- Mejores acabados superficiales.
- Menores costos de los productos.

(Aneiro Martinez y col., 2005)

Las máquinas de CNC, existen de todo tipo, como fresadora o torno y el mecanizado lo realizan mediante un programa y un conjunto de órdenes añadidas, las cuales son extraídas de uno de los software que son para diseño de piezas, como el caso de Autodesk Inventor.

Figura 17: Software para diseño de piezas



Fuente: Autodesk, Inventor.

Con estos programas, se puede controlar la posición de un punto (la herramienta que trabaja el producto) respecto a un origen (la posición de la máquina). En otras palabras, se dice que la máquina trabaja mediante coordenadas en diferentes ejes, donde cada paso es moverse entre coordenada a coordenada para realizar alguna acción, como devanar, pulir o taladrar, guiadas por el usuario que realizó el programa, por lo que en él está a cargo de determinar los límites de movimientos en la máquina, así como el origen. Depende de la máquina de control numérico personalizado, se pueden obtener más variantes que ayuden con el proceso de maquinado, así con un cuarto eje de coordenadas, sistema de refrigeración, número de herramientas que se pueden utilizar en un mismo proceso, entre otros. (Aneiro Martinez y col., 2005)

### Centro de maquinado vertical Haas VF1

La Haas VF1, como su nombre lo indica, es una máquina de control numérico computarizado que trabaja de forma vertical. Entre sus características más importantes se encuentran un husillo de accionamiento directo y alta potencia, un intercambiador de herramientas completamente capaz para las necesidades del usuario, un mecanizado mutliaxial, donde con la ayuda de una mesa giratoria o una mesa basculante se puede obtener el uso de un 4to o

5to eje, el cual puede reducir tiempos del usuario, mejor precisión y repetibilidad en las piezas, además de un control completo de la máquina, mediante una pantalla con facilidad y simplicidad de uso. (Haas F1 Tesam, 2021)

Figura 18: Centro de maquinado vertical Haas VF1



Fuente: Haas CNC.

Cuadro 3: Características del centro de maquinado Haas VF1

Número de ejes	3 con opción de 4to o 5to eje
Orientación de husillo	vertical
Recorrido en X	508 mm (20 in)
Recorrido en Y	406 mm (16 in)
Recorrido en Z	508 mm (20 in)
Velocidad de rotación	Máx: 8100 RPM ( $50.894 \text{ rad} * \text{min}^{-1}$ )
Potencia	Máx: 22.4 kW (30.46 hp)

Fuente: Haas CNC.

### Parámetros de mecanizado

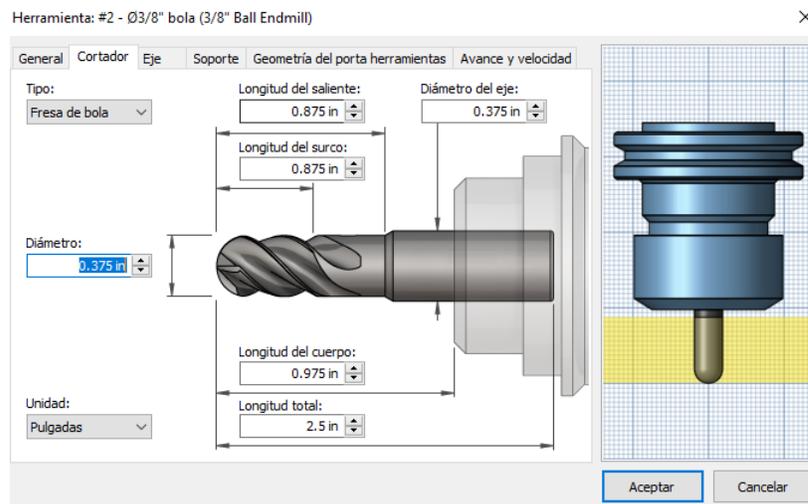
El programa que ejecuta la máquina no solo le ingresa las coordenadas de movimiento, si no que también tiene control sobre la herramienta. La máquina no es capaz de determinar los controles de seguridad para que la herramienta no sufra daños, por lo que el programa es capaz de indicarle a la máquina los parámetros necesarios para el que proceso de mecanizado,

suministrados por el usuario a cargo. Entre los parámetros mas destacables se encuentra la herramienta de corte, así como las características de la máquina descritas en el Cuadro 3.

### Herramienta de corte

La herramienta de corte varía dependiendo del tipo de corte que se desea realizar. Algunas de las utilizadas en la máquina Haas VF1, pueden ser la fresa o broca. Al seleccionar la herramienta de corte, el usuario debe conocer las dimensiones de la herramienta, así como sus características, con el fin de poder seleccionar la herramienta que mejor se adecue a el trabajo, sin poner en peligro el material, la herramienta y la máquina. (Grupo Tecnología Mecánica, s.f.)

Figura 19: Parámetros de la herramienta



Fuente: Autodesk, Inventor.

Como se puede observar en la Figura 19, la herramienta cuenta con los siguientes parámetros:

**Diámetro de corte:** es el diámetro de la herramienta. Esta puede estar dada en sistema internacional como en sistema ingles y la selección de ella depende directamente del diseño, la cual cumpla con los parámetros de tamaño del mismo.

**Filos:** es la parte de la herramienta que realiza el corte. Se toman en cuenta características como la cara de ataque, que es el desprendimiento inicial del material, donde fluye la viruta. El flanco principal es la cara de la herramienta, la que siempre esta en contacto con el material. Filo principal es la que realiza el corte de la pieza y con ella puede llevar filos secundario o más, dependiendo de la cantidad de filos que tenga la herramienta.

**Voladizo o longitud del cuerpo:** Es la distancia que hay desde la base que sostiene la herramienta en la máquina hasta el la cara inicial de la herramienta. Esta distancia se toma en cuenta para cavidades profundas o taladrados, donde si sobrepasa la longitud del cuerpo, podría existir un choque con la base, dañando así la herramienta o la base de la misma.

RPM y avance: el avance es la velocidad de corte que realiza la herramienta mientras genera el corte en el material. Las RPM, por su parte, es la cantidad de revoluciones que realiza la herramienta en tiempo determinado. Estos parámetros dependen directamente uno del otro y del diámetro de la herramienta. Existen fabricantes que ya contemplan estos datos, por lo que existen tablas donde se especifica los valores recomendables, como se puede observar en la Figura 20.

Figura 20: Tabla de velocidades de corte y RPM

**TABLA DE REVOLUCIONES POR MINUTO (R.P.M.)  
SEGUN Ø BROCA Y VELOCIDAD DE CORTE (V<sub>c</sub>)**

VDAD. CORTE	Ø BROCA Y REVOLUCIONES POR MINUTO																	
	m/min.	2	2,5	3	4	5	6,5	8	10	13	16	20	25	30	40	50	63	80
3	477	382	318	238	190	147	119	95	73	60	48	38	32	24	19	15	12	
5	796	636	530	398	318	245	198	159	122	99	80	64	53	40	32	25	20	
8	1.273	1.018	848	636	509	392	318	254	195	159	127	102	85	64	50	40	32	
10	1.592	1.273	1.061	795	636	490	398	318	245	199	159	127	106	80	64	50	40	
12	1.910	1.528	1.273	955	764	588	477	382	294	238	190	152	127	95	76	60	48	
15	2.387	1.910	1.592	1.194	955	735	596	477	367	298	138	190	159	119	95	75	60	
20	3.183	2.546	2.122	1.592	1.273	979	795	636	490	398	318	255	212	159	127	101	80	
25	3.979	3.183	2.652	1.989	1.592	1224	995	795	612	497	398	318	265	198	159	126	99	
30	4.775	3.820	3.183	2.387	1.910	1469	1.194	995	735	596	477	382	318	238	190	151	119	
35	5.570	4.456	3.714	2.785	2.228	1.714	1.393	1.114	857	696	557	445	371	278	222	176	139	
40	6.366	5.092	4.245	3.183	2.456	1958	1.592	1.273	979	795	636	509	424	318	255	202	159	
45	7.162	5.730	4.775	3.581	2.865	2.204	1.790	1.432	1.102	895	716	572	477	358	286	227	179	
50	7.958	6.366	5.305	3.978	3.183	2.448	1.990	1.592	1.224	995	795	636	530	398	318	252	198	
55	8.754	7.002	5.836	4.376	3.501	2.693	2.188	1.750	1.346	1.094	875	700	584	438	350	277	218	
60	9.550	7.639	6.366	4.775	3.820	2.938	2.388	1.910	1.469	1.194	955	764	636	477	382	303	238	
70	11.142	8.912	7.428	5.570	4.456	3.428	2.785	2.228	1.714	1.392	1.114	891	742	557	445	354	278	
75	11.937	9.549	7.958	5.968	4.775	3.672	2.981	2.387	1.836	1.492	1.194	955	795	596	477	378	298	
80	12.732	10.185	8.488	6.366	5.092	3.918	3.183	2.546	1.958	1.592	1.273	1.018	848	636	509	404	318	
90	14.324	11.459	9.550	7.162	5.730	4.407	1.581	2.865	2.204	1.790	1.432	1.145	955	716	572	455	358	
100	15.915	12.732	10.611	7.958	6.366	4.897	3.978	3.183	2.448	1.989	1.592	1.273	1.061	795	636	505	398	

Fuente: *Blue-Maste*.

Si en dado caso, no se tienen estos valores, se pueden obtener los valores mediante el cálculo de la ecuación 4.

$$RPM = \frac{V_{corte} * 1000}{\pi * D_{herramienta}} \quad (4)$$

Donde:

- $RPM$  : Revoluciones por minuto
- $V_{corte}$  : Velocidad de corte o avance
- $D_{herramienta}$  : Diámetro de la herramienta

Profundidad axial: es la profundidad a la cual puede someterse la herramienta. Esta depende directamente del diámetro de la herramienta, las RPM y. Si se tienen cavidades demasiado profundas, se recomienda realizar varias rutas con una profundidad correcta, con el fin de no realizar una fractura en la herramienta.



La propuesta para realizar una llave anti-contacto se basa en poder utilizar la máquina de inyección APSX-PIM, la cual facilita y agiliza el proceso de manufactura. El proceso de selección de diseño y manufactura se compuso en un plan distribuido de 6 fases:

### 5.1. Material para inyección

Se inicia con una investigación general sobre los tipos de materiales que existen en el mercado para ser utilizado en el proceso de inyección. En este caso, se determinó que había que delimitar el campo, ya que existen grandes cantidades de materiales para el uso en la máquina de inyección.

El campo se acortó a materiales que puedan conseguirse dentro del perímetro de Guatemala. Se tomaría en cuenta materiales que puedan ser importados a buen precio y con agilidad de estar en el país, pero no se encontró material alguno que obtuviera estas condiciones.

Finalmente, se determinó los materiales que ya se encontraban en territorio guatemalteco, ya que existen distribuidores importantes que manejan este material en el país. Se hizo un lista de dichos materiales y se determino cuales de ellos cumplían con los parámetros de la inyectora APSX-PIM. Finalmente se seleccionaron tres posibles materiales, donde uno de ellos lo incluía lo inyectora como material para realizar las primeras pruebas con su molde. Se prosiguió a investigar las propiedades mecánicas de los mismos, observando que cumplan con los requerimientos permitidos de la llave anti-contacto. Finalmente, de los tres materiales, se realizaron cotizaciones, donde solo se pudo obtener uno de ellos, debido a lo limitante que es el la obtención de este material en bajas cantidades. Al realizar las pruebas de inyección, se utilizó el material comprado como el material que tenía la inyectora.

## 5.2. Sistema de alimentación

Para este sistema, inicialmente se determinó que parámetros eran importantes en el molde de inyección. Se inició realizando los análisis del bebedero y los corredores. El diámetro del bebedero se establece en base a criterios del diseñador, para luego iterar en base a la caída de presión ideal. Se determinó dicho diámetro por criterio personal dialogando con personas mas conocedoras del campo, siendo este el Ingeniero Gustavo Barrera, catedrático de la Universidad del Valle de Guatemala. Se utilizó la ecuación 5 para obtener el diámetro del bebedero como primera iteración. En la Figura 9, se puede observar la parte superior del bebedero como la parte inferior, demostrando que pueden variar sus diámetros dependiendo de la cantidad de corredores.

$$D_{inferior} = \frac{D_{superior}}{\sqrt{n_{corredor}}} \quad (5)$$

Donde:

- $D_{inferior}$  : Diámetro inferior del bebedero
- $D_{superior}$  : Diámetro superior del bebedero
- $n_{corredor}$  : Numero de corredores en el molde.

Se determinó la caída de presión en el bebedero. Esta caída de presión se establece mediante el producto entre el factor de longitud del molde y la caída de presión máxima, la cual se obtiene de la caída de presión ideal que indica la máquina de inyección para poder llenar una cavidad del molde (en este caso, 30 Mpa). La ecuación 1 representa este cálculo. Con la caída de presión ideal, se realizó la segunda iteración, obteniendo el radio del bebedero con el fin de mejorar el diámetro para mantener la caída de presión necesaria para llenar la cavidad del molde. Esta se realizo mediante la ecuación 2.

Obteniendo los cálculos del bebedero, se determinó el tipo de sección a utilizar para el corredor. El número de corredores dependía directamente de la complejidad del diseño, por lo que en este caso, es un diseño con figuras simples, por lo que se diseñó solo para un corredor. El tipo de corredor se determina dependiendo de las necesidades de llenado de la cavidad. En este caso, al ser un diseño sencillo, las limitaciones se encontraron en la distancia que recorrer, por lo que se seleccionó un corredor trapezoidal, como el que se muestra en la Figura 10. Para determinar el diámetro necesario del corredor, se repitió el proceso del bebedero, utilizando la ecuación 1 para encontrar la caída de presión ideal. Luego se utilizó la ecuación 2 para determinar el radio y diámetro del corredor. Al ser un corredor de forma trapezoidal, era necesario utilizar la ecuación 6, para determinar la altura (H) y ancho (W) del corredor. En este caso, se estableció el ancho del corredor primero, y se despejo para el alto, obteniendo los dos valores de dimensionamiento.

$$D_h = \frac{4 * W * H + 0.09 * H^2}{2 * W + (2.01 * H)} \quad (6)$$

Donde:

- $D_h$  : Diámetro del corredor
- $W$  : Ancho del corredor
- $H$  : Alto del corredor.

Se determino la eficiencia para un corredor trapezoidal. Dicha eficiencia se calculó mediante la ecuación 7

$$Eficiencia = \frac{\pi * D_h^2}{4 A_{seccin}} \quad (7)$$

Donde:

- $D_h$  : Diámetro del corredor
- $A_{seccin}$  : Área de la sección seleccionada

Se realizó el análisis preliminar de la compuerta a utilizar. Al igual que el corredor, este es un tema de diseñador, donde depende del acabado final. Debido a que la cavidad no es compleja, no hubo la necesidad de seleccionar alguna compuerta con características especiales para un mejor funcionamiento, al contrario, se buscó la compuerta la cual sus ventajas sean un diseño simple y que no genere complejidad en el maquinado, independientemente del acabado, ya que la compuerta se encuentra a un costado de la cavidad. Se seleccionó finalmente una compuerta de borde.

Se hicieron los cálculos para acoplar perfectamente el diseño del corredor a la cavidad. Se calculó la tasa de corte, mediante la ecuación 8. Se determinó la caída de presión, la cual no debe de sobrepasar los 10 Mpa, ya que el diámetro de este componente es muy pequeño, por lo que podría causar el cierre del paso del flujo de material. La caída de presión se realiza mediante la ecuación 9.

$$\gamma = \frac{6 * Q}{W * H^2} \quad (8)$$

Donde:

- $\gamma$  : Tasa de corte
- $D_h$  : Diámetro del corredor
- $W$  : Ancho del corredor
- $H$  : Alto del corredor
- $Q$  : Caudal

$$\delta P_{max} = \frac{2 * k * L}{H} * \left( \frac{2 * (2 + \frac{1}{n}) * Q}{W * H^2} \right)^n \quad (9)$$

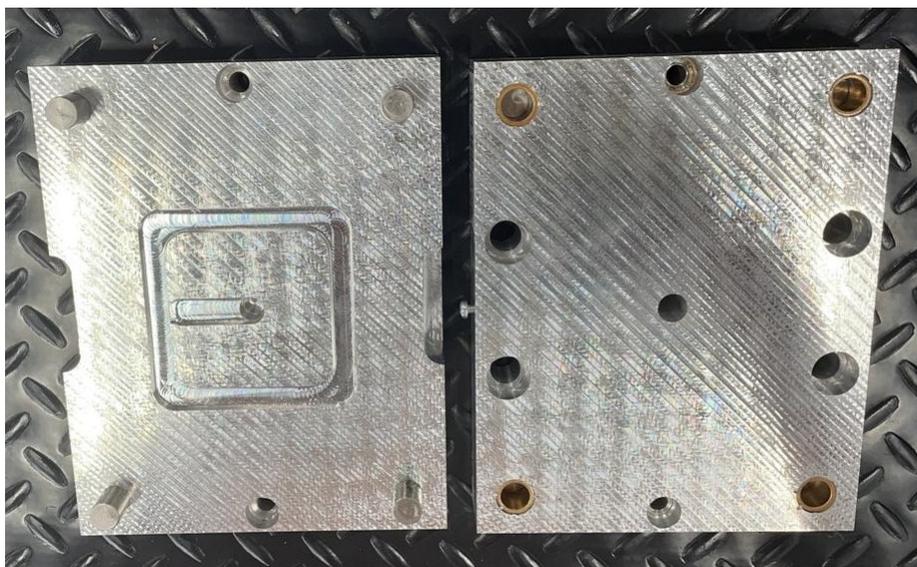
Donde:

- $\delta P_{max}$  : Caída de presión
- $W$  : Ancho del corredor
- $H$  : Alto del corredor
- $k$  : Viscosidad de referencia
- $L$  : Longitud de la compuerta
- $Q$  : Caudal.
- $n$  : Índice de ley de potencia

De último se determinaron los respiraderos en el molde. Para este caso, primero se determinó las secciones donde hubiera posible cierre de aire, el cual generará burbujas. Seleccionado las posiciones de los respiraderos, se debían realizar los cálculos necesarios para que el diseño de los respiraderos se encuentren en óptimas condiciones y determinar el diámetro adecuado, el cual fuera de tal dimensión que el para el material de inyección fuera imposible fluir.

En junio de 2021, cuando se ingresó la máquina APSX-PIM a la Universidad del Valle de Guatemala, se hicieron las primeras mediciones para observar si el diseño del molde cumplía con las condiciones de la inyectora. Para este caso, el molde diseñado no cumplió con algunos estándares de la máquina, ya que esta tiene un enfoque más estudiantil y no industrial, por lo que contaba con diferentes sistemas, como por ejemplo, sin anillo de retención o sin un sistema de refrigeración por líquido. Se llevó a cabo una actualización del molde, optando nuevamente por un molde de colada fría de dos platos. Para esta actualización del molde, se realizaron los cálculos mencionados anteriormente, ejecutando pequeños cambios de mejora. La máquina contaba con un molde de prueba, el cual se utilizó para iniciar iteraciones y se obtuvo un mejor punto de partida.

Figura 21: Molde de inyectora APSX-PIM



Fuente: Elaboración propia

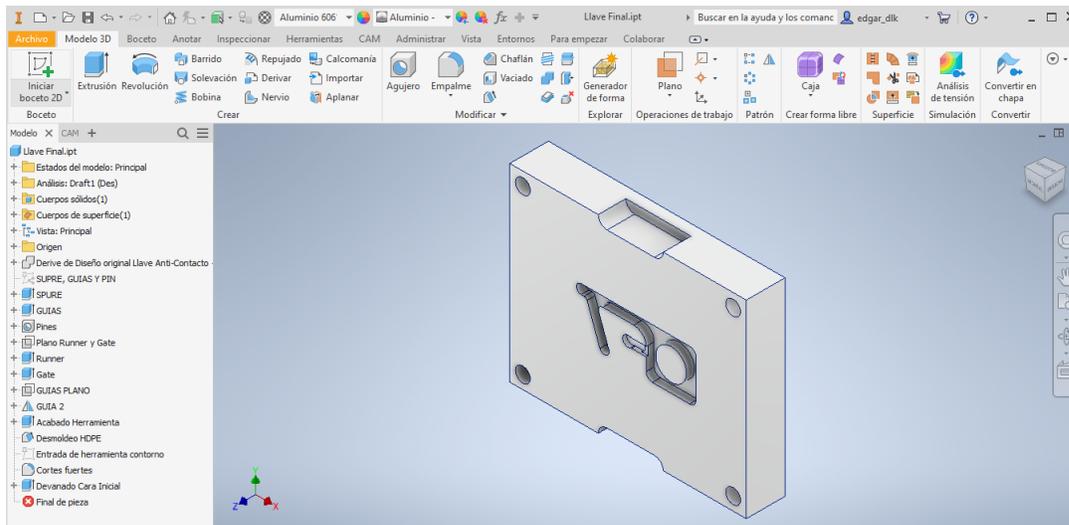
La máquina APSX-PIM tenía un menor tamaño en el área de moldeo, por lo que limitaba más los criterios de diseño. A diferencia del primer molde diseñado, este se le redujo el tamaño. Al utilizar el molde que traía la máquina como referencia, los cálculos del corredor, bebedero y compuerta fueron mas precisos, ya que se sacaron medidas del molde y se tomaron estas como las primeras medidas de iteración, por lo que el molde con la cavidad de la llave quedó con parámetros mas reales. Entre ellos está la determinación del ancho del corredor para solo calcular la altura. Se obtuvieron nuevos resultados, facilitando nuevos procesos como la manufactura del molde, que era un punto importante en el presente trabajo.

En el caso de los respiradores, se optó por no utilizarlos, ya que observando la Figura 21 y realizando pruebas en el molde que incluye la inyectora, este no cuenta con ellos debido a la poca complejidad de su cavidad, por lo que en la junta de los dos moldes, el aire se escapa, pero el material no llega a la fuerza para poder escapar. En este nuevo molde, la cavidad sigue siendo sencilla, por lo que el aire que se encuentra dentro del mismo al cerrar los moldes puede ser retirado sin que haya fuga de material.

### 5.3. Plano mecánico

Se creó el diseño del plano mecánico mediante el software de Autodesk Inventor 2022. El proceso se le dio inicio con un ensamblaje de las dos caras del molde, donde una de las caras contaba con la cavidad a inyectar y la otra cara solo contaba con el bebedero, como el que incluye la inyectora en la Figura 21, el cual es el que se conecta directamente a la inyectora.

Figura 22: Molde con cavidad llave anti-contacto



Fuente: Elaboración propia, *Software Autodesk Inventor*.

Se realizó un plano inicial de la llave anti-contacto, donde se determinan las dimensiones de la misma, acotando todos los detalles para su implementación en el molde. Se realizó una explosión del ensamblaje, donde se observa la posición de todos los elementos del molde para el correcto funcionamiento. En este segundo plano se presentan las piezas para el correcto funcionamiento del molde. Se enumera cada una de ellas y se detalla en una lista sus características principales.

Los siguientes dos planos contienen cada uno un molde. El primero, contiene el molde con la cavidad de la llave. En este, para efectos más prácticos, fue necesario utilizar herramientas del software, para poder acomodar de mejor manera la pieza y establecer las cotas en una posición la cual sea más fácil para la persona interpretarlas. En el segundo molde, se simplificaron estos parámetros, ya que el molde contiene pocas características, las cuales lo hacen más fácil de interpretar. Se utilizaron los tamaños del molde de la regla de planos ANSI.

## 5.4. Materiales

Con las piezas establecidas en el plano mecánico, se cotizó el material a utilizar. Se inició con los moldes, por lo que era necesario cotizar aluminio 6061. Para este material se realizaron llamadas a diferentes distribuidores, viendo parámetros como el costo, medidas en las que se venden y tipo de aluminio, que en este caso se recomendaba duraluminio debido a un mejor comportamiento en la manufactura como al elevar su temperatura en el proceso de inyección. Así mismo, inicialmente se empezó la cotización de anillos de bronce y pines de hierro, los cuales eran utilizados para alinear los moldes en la máquina de inyección, no obstante, ya no fueron necesarios en el ensamblaje final.

Para el material de inyección, se redujeron los establecimientos para la compra, ya que la mayoría de distribuidores solo realizan las ventas del material al por mayor y bajo pedido. Mediante un representante de la empresa Inyectores de Plástico, se obtuvo el material polietileno de alta densidad (HDPE) a una menor cantidad y un menor precio, siendo la única opción viable, por lo que fue el material que se seleccionó.

## 5.5. Manufactura de molde de colada fría

El proceso de manufactura se realizó en el centro de maquinado vertical Haas VF1. Para el maquinado del molde, el compañero Daniel Franco llevó a cabo el proceso de diseño CAM, nuevamente en el software Autodesk Inventor. En este proceso, se establecieron parámetros fundamentales para que la máquina trabajara de forma correcta y segura. Se implementó una ruta de trabajo. En la ruta, se determinó el proceso que se llevó a cabo, iniciando por un careado superficial, con el fin de dejar el lado donde se encuentra la cavidad lo más limpia posible. Para este proceso, se seleccionó una fresa plana de  $5/8'$ . Seguido, se determinó el fresado lateral, el cual realiza las guías que utiliza el molde para poder acoplarse a la máquina de inyección. Para este proceso se determinó utilizar la fresa de  $3/16'$ , pero verificando algunos factores, como el voladizo de la herramienta y el estrés de la misma, se seleccionó finalmente una fresa plana de  $1/2'$ .

Como tercer paso en la ruta de herramienta, se inició el maquinado de la cavidad. Las dimensiones de la cavidad son pequeñas, por lo que la única herramienta que se pudo utilizar, es la fresa de  $3/16'$ , ya que es con la que cuenta la universidad del Valle de Guatemala. Se realizó el desbaste de la llave con la herramienta mencionada, seguido por el desbaste del sistema de inyección, donde se encontraban el corredor y la compuerta. Obteniendo la cavidad, se realizaba un afinado en la misma, con el fin que dentro de ella se tuviera un mejor acabado, minimizando las imperfecciones que se pudieran generar por el ángulo de desmoldeo y/o la herramienta. Para este afinado, se seleccionó una fresa de punta plana de  $5/8'$ .

Se seleccionó el taladrado para los agujeros de los pines que guían al molde de la cavidad con el molde del bebedero. Para este proceso, se inició por utilizar la broca de  $3/8'$ , ya que el diámetro del agujero es específicamente de este valor, pero se podría generar mucho esfuerzo en la herramienta, por lo que se implementó el taladrado en dos pasos. Primero, se realizó un taladrado con una broca de 9 milímetros con picoteo de aproximadamente 2 milímetros para poder retraer la viruta y no generar algún daño a la herramienta. Luego, se seleccionó un taladrado con una fresa plana de  $3/8'$ , generando el agujero perpendicular a la cara superficial del molde y obteniendo el diámetro deseado. Finalmente con la herramienta seleccionada, se realizó el Cuadro 4 de herramientas, resaltando los parámetros a tomar en cuenta para el correcto maquinado.

Se realizó una simulación en el software, con el fin de observar que los parámetros estuvieran correctos, como los movimientos de la herramienta, las velocidades de entrada y salida, así como los cambios de herramientas. Se observó también que los ejes estuvieran referenciados correctamente, para no tener problemas con la máquina al alinearla. Revisado toda la ruta, se obtuvo el tiempo de maquinado. Se exportó el código G del software, para su uso en la máquina CNC.

Cuadro 4: Parámetros herramienta

Uso	Herramienta	Posición	Diámetro	Voladizo	RPM	Filos	Avance	Prof. axial
-	-	-	in	mm	-	-	mm/min	mm
Careado	F. punta plana	T5	5/8	46	5000	3	900	1
Fresado	F. punta plana	T2	1/2	46	5000	3	700	2.5
Cavidad	F. punta plana	T9	3/16	24	5000	4	500	2
Afinado	F. de bola	T3	3/16	29	3000	2	500	2
Taladrado 1	Broca	T10	(9mm)	70	4500	2	N/A	2
Taladrado 2	F. punta plana	T4	3/8	24	6000	4	N/A	13.46

Fuente: Elaboración propia

Al iniciar la manufactura, se realizó un ajuste en el *stock* del molde, ya que las medidas del molde comprado no eran las medidas finales del molde (este se encontraba más ancho del necesario). Se ajustó el molde mediante un careado lateral, ajustando la medida del molde y dejando a escuadra para una correcta sujeción en la máquina. Dicho proceso se realizó en una fresadora de banco ubicada en la Universidad del Valle de Guatemala.

Se ingresó el código G en el centro de maquinado vertical Haas VF1, Mediante la ayuda de uno de los encargados del taller de la Universidad del Valle de Guatemala, se realizó una simulación en la máquina para poder observar posibles errores en el maquinado. Seguido de la revisión, se alineó la máquina mediante sus ejes y se insertó la herramienta en las posiciones ya establecidas en la tabla de herramientas.

Terminado el proceso de manufactura, se retiró el molde con la cavidad y se revisaron que las medidas realizadas en el diseño CAD tuvieran concordancia con el resultado. En este caso, se tuvieron algunas imperfecciones en el molde, por lo que se realizó un proceso de pulido. Para ello, se utilizó un dremel, con el cual se perfeccionó el acabado de la pieza.

Para el segundo molde, este se decidió no manufacturar, debido a que el molde que ya incluye la inyectora trae dicho molde con el bebedero. Tener dos moldes como bebedero, sin otro uso en particular era innecesario, ya que los dos cumplían la misma función y probablemente cambiarían sus dimensiones, por lo que se decidió utilizar el mismo y acoplar el molde con la cavidad deseada a este molde, ahorrando así tiempo, material y costos. De igual manera, como se mencionó anteriormente, se realizó el plano mecánico de este, ya que era necesario ejemplificar las dimensiones y las guías del mismo.

## 6.1. Material de inyección

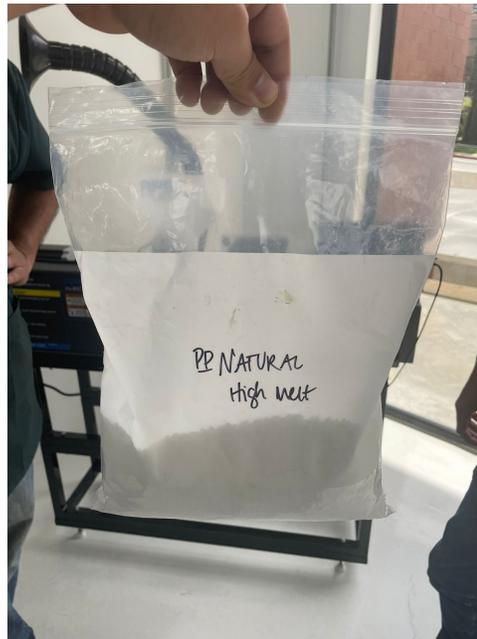
Cuadro 5: Material de inyección

Parámetros	Polietileno de alta densidad	Polipropileno	Dimensionales
Acrónimo	HDPE	PP	-
Temperatura de fusión	120-136	120-329	°C
Esfuerzo de rotura	18.6	28.9	Mpa
Alargamiento a la rotura	650	804	%
Modulo de elasticidad	0.559	1.30	Gpa
Cizallamiento máximo	40000	100000	1/s
Índice de ley de potencia	0.41	0.38	-
Referencia de viscosidad	10900	3510	$Pa * s^n$
Porcentaje de contracción	1.5 - 4.0	1.0 - 3.0	%

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 5 se observan los dos materiales que se utilizaron en la máquina de inyección con sus respectivos parámetros para su selección. En la Figura 23 se observa el material, llamado polipropileno con el cual cuenta la universidad y fue adquirido junto con la máquina de inyección.

Figura 23: Polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

Figura 24: Llave anti-contacto polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

Figura 25: Llave anti-contacto polipropileno trasero



Fuente: Elaboración propia.

Figura 26: Llave anti-contacto polietileno de alta densidad



Fuente: Elaboración propia.

Figura 27: Llave anti-contacto polietileno de alta densidad trasero



Fuente: Elaboración propia.

En las Figuras 24 a la 27 se observan los dos diferentes tipos de llaves realizadas mediante el molde de colada fría con cada uno de los materiales. A las mismas se les realizó pruebas de trabajo.

## 6.2. Dimensionamiento de sistema de alimentación

Cuadro 6: Dimensionamiento del bebedero

Parámetros	Valor	Unidad
Diámetro superior	9.04	mm
Numero de corredores	1	
Número de Reynolds	0.0081	
Caída de presión ideal	8.54	Mpa
Diámetro inferior final	6.90	mm
Tasa de corte	936.64	1/s

Fuente: Elaboración propia

En los Cuadros 6, 7 y 8 se observan los resultados de las dimensiones ideales para el sistema de inyección del material al molde de colada fría. También, se observa los parámetros calculados para el correcto funcionamiento del sistema.

Cuadro 7: Dimensionamiento corredor

Parámetros	Valor	Unidad
Ancho (w)	5.84	mm
Alto (h)	2.59	mm
Diámetro corredor	3.62	mm
Caída de presión corredor	7.46	Mpa
Eficiencia del corredor	67.99	%
Porcentaje de error	13.38	%

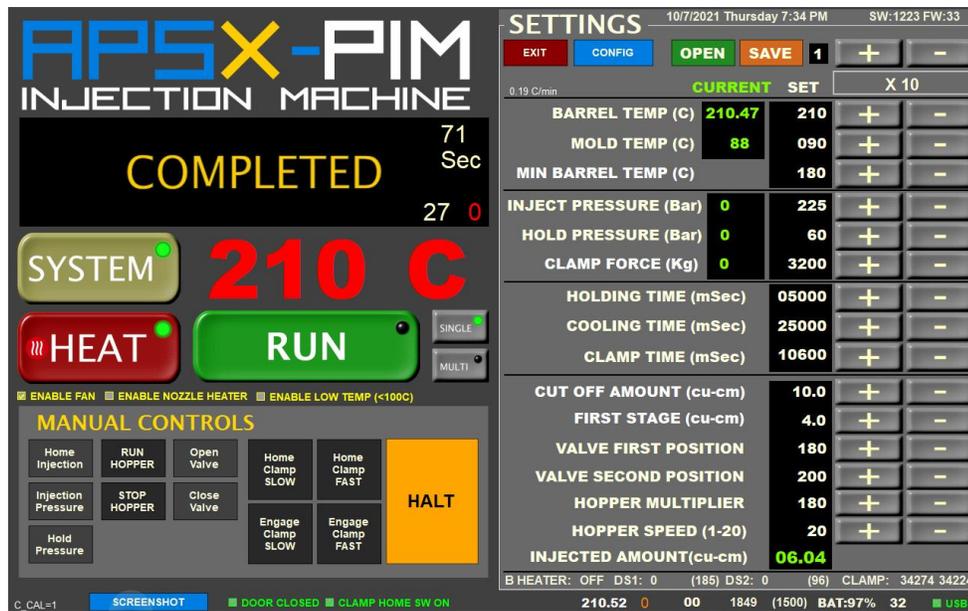
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 8: Dimensionamiento compuerta

Parámetros	Valor	Unidad
Ancho (w)	5.84	mm
Alto (h)	1.32	mm
Tasa de corte	17661.88	1/s
Caída de presión compuerta	0.028	Mpa

Fuente: Elaboración propia

Figura 28: Parámetros llave anti-contaco



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 28, se detalla los parámetros finales para la inyección del material en la cavidad del molde.

### 6.3. Plano mecánico

Los planos mecánicos realizados se encuentran ubicados en el espacio de anexos. Estos representan la dimensiones de los moldes finales, así como su ensamblaje y algunas características específicas que se tuvieron que tomar en cuenta al momento del maquinado

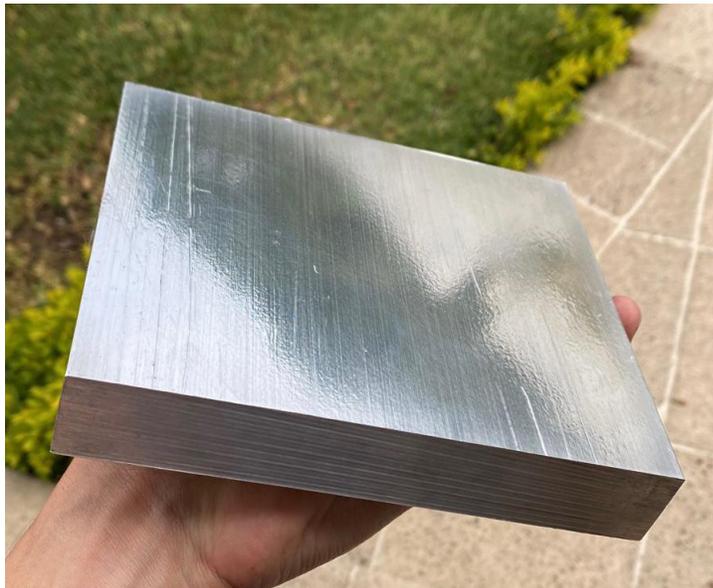
### 6.4. Cotización de elementos y materiales del molde

Cuadro 9: Cotización aluminio 6061

Distribuidor	Medidas	Precio	Ubicación	Tipo de material
Aceros suecos	12in * 12in * 1in	Q800.00	zona 12, Guatemala	Duraluminio
Proventsa	6in * 5in * 1in	Q146.00	zona 12, Guatemala	Duraluminio
Mayen	12in * 12in * 1in	Q1200	zona 3, Mixco	Duraluminio
Alumicentro	20in * 6in * 1in	Q1800	zona 12, Guatemala	Duraluminio

Fuente: Elaboración propia.

Figura 29: Material para molde de colada fría



Fuente: Elaboración propia.

Figura 30: Material polietileno de alta densidad



Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 9 se observa la cotización del material para el molde de colada fría, donde se incluye los parámetros que se utilizaron para seleccionar el mejor establecimiento de adquisición. En la Figura 29 se puede observar el material y tamaño seleccionado. En la Figura 30, se observa el material de inyección cotizado y adquirido, así como la cantidad del mismo.

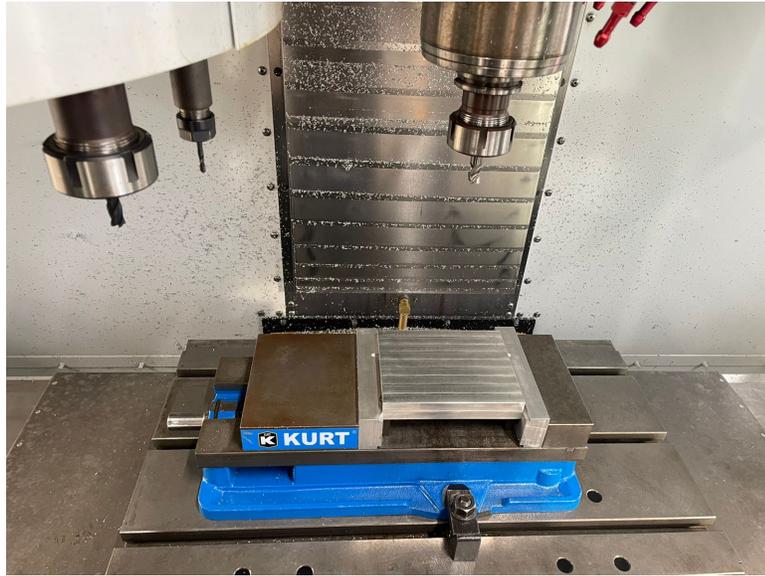
## 6.5. Manufactura del molde de colada fría

Cuadro 10: Molde final

Proceso	Precio	Tiempo
Material	Q146.00	N.A.
Mecanizado	N.A.	31 minutos

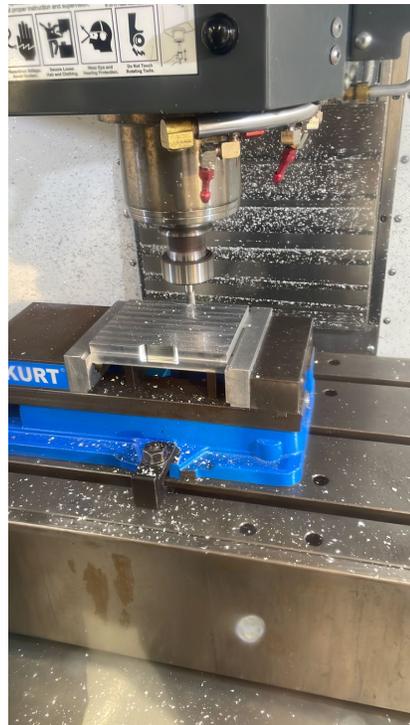
Fuente: Elaboración propia

Figura 31: Careado superior del *stock*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 32: Fresado de ranuras



Fuente: Elaboración propia.

Figura 33: Desbaste de cavidad finalizado y afinado



Fuente: Elaboración propia.

Figura 34: Molde de colada fría finalizado



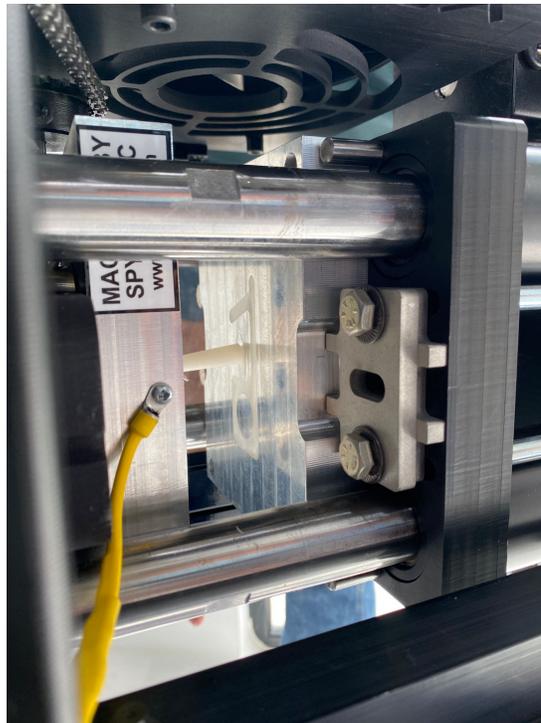
Fuente: Elaboración propia.

Figura 35: Molde de colada fría



Fuente: Elaboración propia.

Figura 36: Molde de colada fría



Fuente: Elaboración propia.

En las Figuras 31 a la 35 se observa el proceso de maquinado que se realizó para el molde de colada fría. En la Figura 36 se observa el funcionamiento del molde dentro de la máquina de inyección APSX-PIM.



### 7.1. Material de inyección

En la el Cuadro 5, se representan los dos materiales utilizados en la máquina APSX-PIM para realizar la llave anti-contacto. Seleccionando un material de fácil obtención en Guatemala, se determinó el polietileno de alta densidad. Este material, para obtenerlo, se encontró gran variedad de distribuidores ya que es un material muy comercial para la industria y el cual tiene como característica importante su reciclaje. Esto lo hace un material de bajo costo, además de su materia prima, proveniente del etileno, por lo que se hizo gran candidato para su uso en máquinas de inyección. Para optar por un material que cumpliera con las condiciones de la llave, se dio el punto de partida desde el polipropileno, ya que es un material que se encuentra de igual manera, fácilmente en el mercado y con condiciones aceptables para el trabajo que debe realizar la llave, ya que este no demanda un esfuerzo considerable para buscar materiales muy específicos. El polipropileno, se le conoce por ser un material muy flexible, ya que tiene un esfuerzo de rotura alto, así como un alargamiento de rotura alto, el cual indica que el material soporta una fuerza considerable siendo flexible. En comparación con el polietileno de alta densidad, dichos parámetros son menores, por lo que se obtiene un material que puede soportar una misma fuerza con menor flexibilidad sin llegar a fracturarse.

Al finalizar el proceso de manufactura del molde, se realizaron prototipos de la llave anti-contacto, con polietileno de alta densidad y polipropileno como se observa en la Figura 24 y en la 26. La prueba de cerradura se realizó en las nuevas instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala. En la Figura 24, se puede observar que al realizar la acción de la puerta, se ejerce una pequeña flexión en la llave, caso contrario de la Figura 26, la cual en la misma cerradura, no se encuentra con flexión.

## 7.2. Dimensionamiento de sistema de inyección

Para el sistema de admisión del material de inyección, se obtuvo los parámetros en condiciones ideales de inyección para que el flujo de material llegara correctamente a todas las partes de la cavidad. Esto se puede ver reflejado en los Cuadro 6 para el bebedero, Cuadro 7 para el corredor y en el Cuadro 8 para la compuerta. Los diámetros fueron dimensionados directamente en el molde con la cavidad, asegurando que el flujo del material fuera capaz de pasar por los mismos sin o con mucho esfuerzo. De los cálculos realizados, como la caída de presión o tasa de corte, dependen directamente del tipo de material que inyección, como se puede observar en la ecuación 2. Para estos casos, se utilizó el material seleccionado, polietileno de alta densidad.

Al realizar la inyección en el molde, se insertó los parámetros ideales obtenidos, los cuales no eran obligatorio utilizar, mas bien dar el punto de partida para una correcta inyección. En las primeras llaves, se observó una llave completamente llena, pero algo complejo de sacar del molde. Para ello, se decidió realizar cambios en los parámetros, como una menor presión y un mayor tiempo de enfriamiento. Estos parámetros, en la practica, se editan para encontrar el punto intermedio entre un acabado funcional, presentable, de menor tiempo de proceso de inyección y utilizando el menor material posible para reducir gastos. Finalmente, el cambio más representativo fue la caída de presión y el tiempo de enfriamiento, ya que al disminuir mucho la presión se empezaban a encontrar marcas de contracción, ya que no se rellenaba toda la cavidad y la pieza al enfriarse se contrae, dejando pequeños espacios vacíos. El tiempo de enfriamiento al extenderlo demasiado, el material se solidifica muy rápido, por lo que en el momento en el que el material dentro de la cavidad choca frío, este ya no se mezcla, dejando un punto de ruptura alto donde se puede fracturar la pieza fácilmente. Los parámetros finales se pueden observar en la Figura 28.

## 7.3. Plano mecánico

El primero plano que se realizó es el de la llave anti-contacto. En este se representan todo el diseño de la misma, así como del material que se realizó y el ancho necesario para la pieza. Los planos del plato de la cavidad del molde y el ensamblaje se trabajaron en un plano A3, debido a la cantidad de características que conllevan. El primer plano, del ensamblaje, detalla directamente las piezas esenciales para el correcto funcionamiento del molde de dos platos de colada fría. En este se detallan las posiciones de cada uno de los componentes, una descripción de cada uno de ellos y las medidas estándar de los elementos mecánicos que se tuvo que adquirir.

Para el plano del molde con cavidad, se realizaron dos secciones. La primera, una sección en detalle, donde se presenta la cavidad en escala 1:1, con el fin de poder observar todas las dimensiones de la llave anti-contacto. Se hizo una vista seccionada 1:1 a la cavidad de la llave, para poder demostrar las medidas del sistema de inyección del material en el molde de colada fría. En este plano, se puede observar las medidas del *stock* del material, así como las ranuras para sostenerse a la máquina de inyección y los agujeros de las guías para acoplarse al molde del bebedero.

Para el plano del molde que contiene únicamente el bebedero, se selecciono un plano A4. Se hicieron los detalles de los agujeros para las guías del molde y los agujeros donde se ubican los tornillos para la sujeción a la máquina. Estos moldes pasaron por una previa revisión del Ingeniero Andrés Viau.

## 7.4. Cotización de elementos y materiales del molde

Se realizó una cotización de los implementos necesarios para el molde. Como se observa en el Cuadro 9, las principales características a tomar en cuenta fueron las medidas del material y el precio, ya que dependen directamente uno del otro. En este caso, solo se necesitó un plato, ya que el plato que contiene el bebedero no sería manufacturado. Por ello, la mejor opción fue con el distribuidor Proventsa, el cual se puede observar en el Cuadro 9. Este distribuidor es el que manejó un menor costo con las dimensiones del plato casi a la medida, por lo que llevar el material al dimensionamiento adecuado llevó un proceso más corto.

No se cotizaron anillos ni pines, ya que se utilizó el plato del bebedero que tiene la máquina, por lo que este ya cuenta con los anillos y pines, por lo que no fue necesario realizar compras de estos elementos para realizar la inyección de la cavidad.

## 7.5. Manufactura del molde de colada fría

Al seleccionar las herramientas detalladas en el Cuadro 4 para el proceso de manufactura, se establecieron los parámetros de la herramienta al trabajar en la máquina. Para la fresa de 5/8', se utilizó un avance rápido, debido a que la cantidad de material que quitaba era bajo, ya que este careado era solo para dejar la superficie del plato plana como se muestra en la Figura 31.

Inicialmente para el fresado de las ranuras se estableció trabajarlo con la fresa de 3/16', pero debido a la longitud radial que tenía este diseño, el voladizo no era apto para el mismo, por lo que podría haber un choque de la base de la herramienta con la mesa de trabajo. Por ello, se seleccionó una fresa de 1/2', como se muestra en la Figura 32. Esta herramienta tuvo un voladizo mayor, asegurando el maquinado. Además, al tener un diámetro mayor, la herramienta pudo trabajar a RPM y avances más altos, acortando el tiempo de maquinado.

Al realizar la cavidad del molde, se utilizó la fresa de 3/16'. Esta herramienta contaba con 4 filos, por lo que fue recomendable trabajar a un menor valor de avance, para cuidar la herramienta, ya que la viruta podía quedarse metida entre la herramienta y la cavidad, generando imperfecciones en el acabado y esfuerzos en la herramienta. Además, se le implemento una profundidad axial de 2 milímetros, con el fin de no realizar demasiada carga a la herramienta. Para el afinado se utilizó una fresa de la misma medida pero de bolas, que se observa en la Figura 33. En este proceso se siguió el mismo parámetro anterior, pero ahora con menor RPM, para desvanecer las gradas que podía dejar el ángulo de desmoldeo implementado en la cavidad. En estos dos procesos fue necesario el uso de refrigerante, para mantener la temperatura de trabajo correcta.

Se realizó un taladrado inicial con el fin de dar guía al taladrado final, sacar la mayor parte de material para que la fresa de 3/8' no sufriera mucho esfuerzo al sacar el material. Dividir el proceso de taladrado también funcionó para evitar vibraciones en la herramienta y dejar un mal acabado en los pines.

Terminado el proceso de manufactura que se muestra en la Figura 34, se secó y limpió el molde. Se optó por probar el correcto ensamblaje con el otro plato que solo contiene el bebedero. En este caso, los orificios donde se encontrarían los pines en el plato con la cavidad, se encontraron desfasados por 4.75 milímetros. Esto se dio, debido a un mal dimensionamiento en el área de diseño. Este problema no descartaba al molde para su uso en la máquina de inyección, ya que los pines son de uso obligatorio para un molde que contiene cavidad en los dos platos, por lo que necesita estar alineado correctamente para que la pieza salga a la medida original. En este caso, al tener el molde de cara plana solo con bebedero, era necesario que solo el bebedero quedara alineado con la entrada del bebedero en el plato de la cavidad, el cual se encontraba directamente en el centro, como se puede observar en la Figura 35.

Se realizó las pruebas de inyección, donde se demostró que el molde funcionaba correctamente, ya que si era sostenido mediante las ranuras laterales por la inyectora y si se inyectaba el material directamente, como se muestra en la Figura 36.

Se realizaron varias inyecciones en la máquina, obteniendo diferentes tipos de resultados. Se inició ingresando los parámetros de presión, obtenido del Cuadro 6, la temperatura y el tiempo de enfriamiento. En las primeras pruebas se obtuvo una baja presión, por lo que no se inyectó la llave por completo. Se realizó un aumento del mismo, junto al tiempo de refrigeración, obteniendo mejores resultados y estableciendo como parámetros finales los datos de la Figura 28.

Se identificó que el polietileno de alta densidad era el material que mejor se adecuaba a las funciones que realiza la llave anti-contacto y que era posible su uso en el molde de colada fría ubicado en la máquina APSX-PIM. Así mismo, se realizaron pruebas con polipropileno, ya que era el material con el que contaba la máquina de inyección.

Se llevó a cabo el diseño del sistema de llenado con la dimensión adecuada para que la cavidad fuera rellena completamente y el flujo del material circulara de manera correcta respecto a las propiedades del material, iniciando desde el sistema de inyección de la máquina APSX-PIM hasta la cavidad del molde de inyección de colada fría. El molde no requirió ningún accesorio.

Se elaboraron los planos mecánicos del molde de colada fría a través de la herramienta *Autodesk Inventor*

Se cotizó aluminio 6061 (duraluminio), el cual fue indispensable para llevar a cabo el proceso de maquinado y ensamble del molde de colada fría. Además, se hizo una cotización del polietileno de alta densidad, para la inyección en la máquina APSX-PIM.

Se ejecutó el proceso de maquinado para realizar la cavidad del molde de la llave higiénica anti-contacto. Se determinaron los parámetros para el correcto funcionamiento en el centro de maquinado Haas VF1.



#### **Estudiantes**

Crear modelos más complejos que requieran nuevos diseños de alimentación donde se incluyan respiradores con el fin de poder encontrar nuevas limitantes en la máquina de inyección.

Implementar un sistema de expulsión, el cual sea demandando por un diseño con mayor complejidad. La inyectora cuenta con un tornillo sin fin el cual puede ser funcional para poder agilizar el proceso de inyección y que el mismo se realice de manera mas automatizada.

De ser necesaria una nueva compra de material, contemplar los distribuidores y los procesos que estos tienen para la obtención de sus materiales, realizando el pedido con el mayor de tiempo posible antes del uso y de ser necesario utilizar un color en específico, hacerlo saber.

#### **Personal de la Universidad del Valle de Guatemala**

Considerar las dimensiones máximas y mínimas de los elementos mecánicos para utilizar en la máquina de inyección, ya que la máquina APSX-PIM es una adquisición reciente, por lo que es necesario tomar en cuenta las características que demande la misma.

Obtener un mayor suministro en material de inyección, ya que el proceso puede cumplir con altos niveles de producción, por lo que puede ser implementado para generar elementos que puedan ser utilizados en beneficio de la Universidad del Valle de Guatemala.



- Aguilar, D. (2010). "Manual de inyección de plásticos".
- Albarrán, G., Ramirez Cadena, M., Molina, A. & Perez, R. (2012). *Estudio de controladores de Movimiento CNC para micro máquinas herramienta* (inf. téc.). Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura. Habana, Cuba.
- Aneiro Martinez, F., Sanches, T., Frías, G. & Pinilla, A. (2005). *Comportamiento del acabado superficial de la pieza y el desgaste de la herramienta al fresar aluminio con altas velocidades de corte en fresadoras CNC convencionales* (Científico). Facultad de Ingeniería. Mecánica. CUJAE. La Habana, Cuna.
- APSX, L. (s.f.). APSX-PIM USER MANUAL: Plastic Injection Machine (2.3).
- Bernal, Y. (2014). *Procedimiento Para El Diseño De Moldes Plásticos Por Inyección Usando El Software Inventor* (Tesis). Universidad central "Marta Abreu" de las Villas. Santa Clara, Cuba.
- Cuevas, D. (2020). "Coronavirus: Cuatro meses de precariedad marcan al hospital temporal del Parque de la Industria". 22/07/2020. <https://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/coronavirus-cuatro-meses-de-precariadad-marcan-al-hospital-temporal-del-parque-de-la-industria/>
- Escobar, I., Cumes, W. & Dominguez, A. (2020). "Alejandro Giammattei confirma el primer caso de coronavirus en Guatemala". 13/03/2020. <https://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/coronavirus-alejandro-giammattei-confirma-el-primer-caso-de-covid-19-en-guatemala/>
- Fernandez, J. (2014). *Diseño de un molde de inyección de una pieza plástica* (Tesis doctoral). Escuela universitario de Ingeniería Técnica Industrial de Bilbao. <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/13373/2%20MEMORIA.pdf?sequence=19&isAllowed=y>
- Ferrer, R. (2020). COVID-19 Pandemic: the greatest challenge in the history of critical care. *Agosto - Septiembre 2020*, 44, 324. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.medic.2020.04.005>
- Grupo Tecnología Mecánica. (s.f.). "Geometría de la herramienta de corte".
- Haas F1 Tesam. (2021). Características. Consultado el 28 de octubre de 2021, desde <https://www.haascnc.com/es/machines/vertical-mills/vf-series/features.html>

- Instituto Mexicano de Plástico Industrial, S.C. (2020). *Enciclopedia de Plastico* (1.<sup>a</sup> ed.) [original-date: 1997]. impi.
- Kazmer, D. O. (2016). *Injection Mold Design Engineering* (2da, Vol. 1). Hanser Publishers.
- Montealegre Zuleta, J. d. J. (1990). *Principio de diseño de máquinas de inyección* (Tesis doctoral). Autónoma de Occidente. Cali, Colombia.
- News, B. (2020). "El coronavirus llega a todos los países de América Latina". 20/03/2020. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina>
- Pérez, J. (2019). *Inyectoras de Plástico*. <http://www.portalelectromecanico.org/CURSOS/inyectoras/index.html>
- Vásquez, L. (2020). "¿Cuándo fue el primer caso de coronavirus en Estados Unidos?" 26/04/2020. [https://us.as.com/us/2020/04/26/actualidad/1587927286\\_917534.html](https://us.as.com/us/2020/04/26/actualidad/1587927286_917534.html)

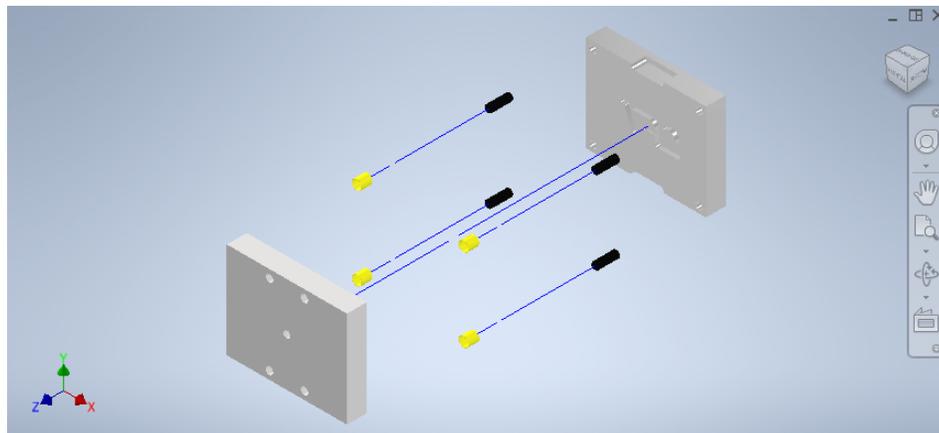
Cuadro 11: Inyección final

Proceso	Precio	Tiempo
Material	Q246.00	N.A.
Inyección	N.A.	70 segundos

Fuente: Elaboración propia

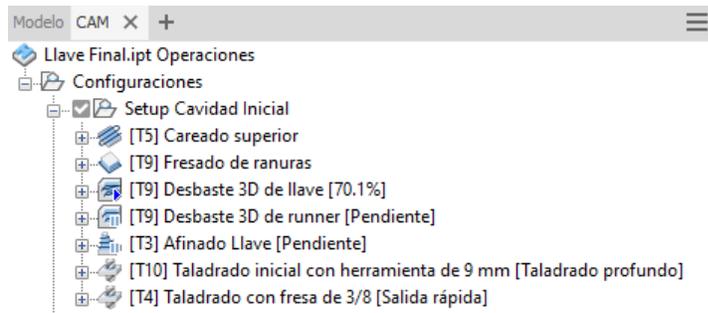
En el Cuadro **11** se representa los resultados de sistema de inyección.

Figura 37: Explosión del ensamble de moldes



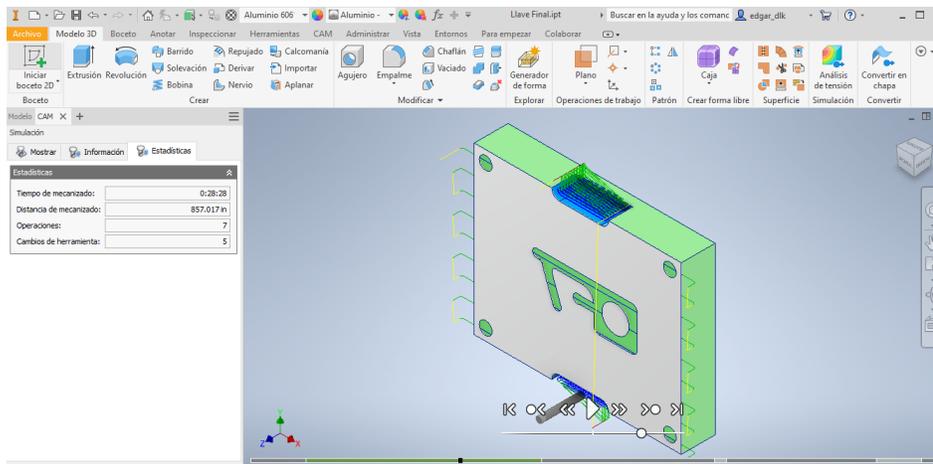
Fuente: Elaboración propia.

Figura 38: Ruta de herramienta para mecanizado de molde



Fuente: Elaboración propia.

Figura 39: Prueba y tiempo de mecanizado



Fuente: Elaboración propia.

Figura 40: Código G



Fuente: Elaboración propia.



Figura 43: Peso de llave anti-contacto polipropileno



Fuente: Elaboración propia.

Figura 44: Peso de llave anti-contacto polipropileno con sistema de alimentación



Fuente: Elaboración propia.

Figura 45: Peso de llave anti-contacto polietileno

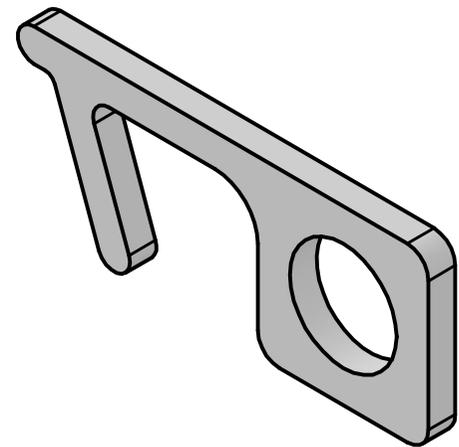
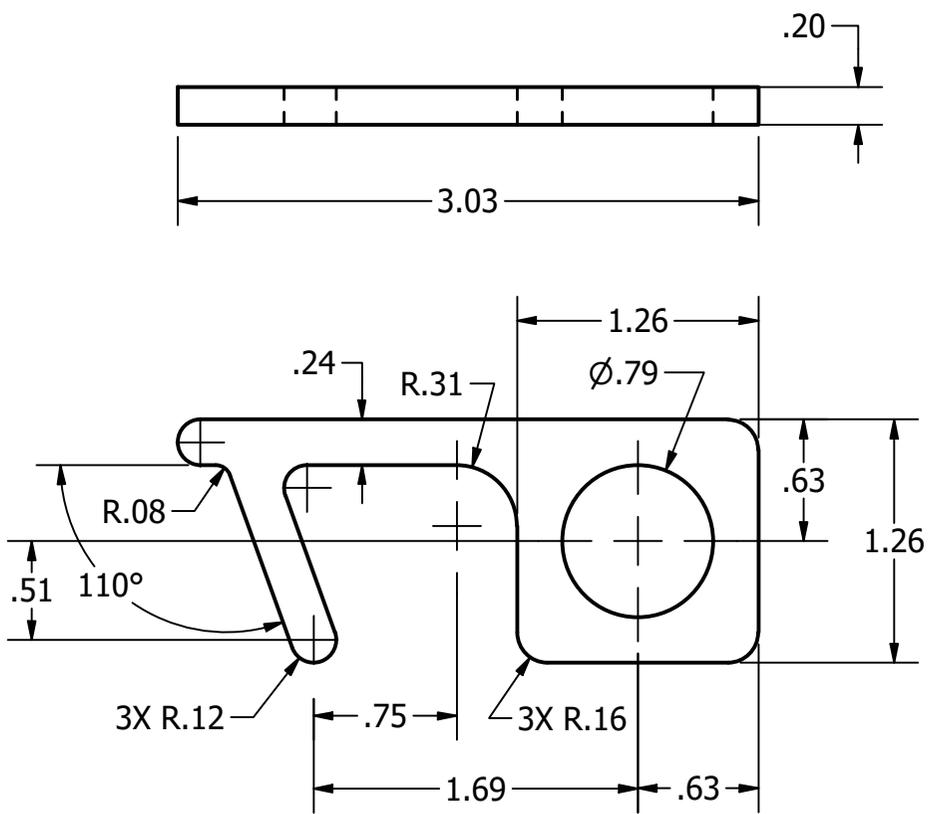


Fuente: Elaboración propia.

Figura 46: Peso de llave anti-contacto polietileno con sistema de alimentación



Fuente: Elaboración propia.



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

**TOLERANCIAS GENERALES**

LINEAL .X ± 0.1  
.XX ± 0.05  
.XXX ± 0.025

ANGULAR ± 0.5°

FRACCIONES ±

RUGOSIDAD SUPERFICIAL ✓

DIBUJADO POR	FECHA
D. Franco	19/03/2021
DISEÑADO POR	FECHA
D. Franco	10/03/2021
REVISADO POR	FECHA
A. Viau	26/10/2021
APROBADO POR	FECHA
G. Barrera	31/10/2021

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III  
Guatemala, Guatemala 01015  
PBX: (502) 2634-0336 / 40  
info@uvg.edu.gt

**UG**  
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Excelencia que trasciende  
DEL VALLE

TÍTULO: **LLAVE ANTI-CONTACTO**

MATERIAL  
HDPE

TRATAMIENTO  
Inyectado

MASA: 4.1 gramos

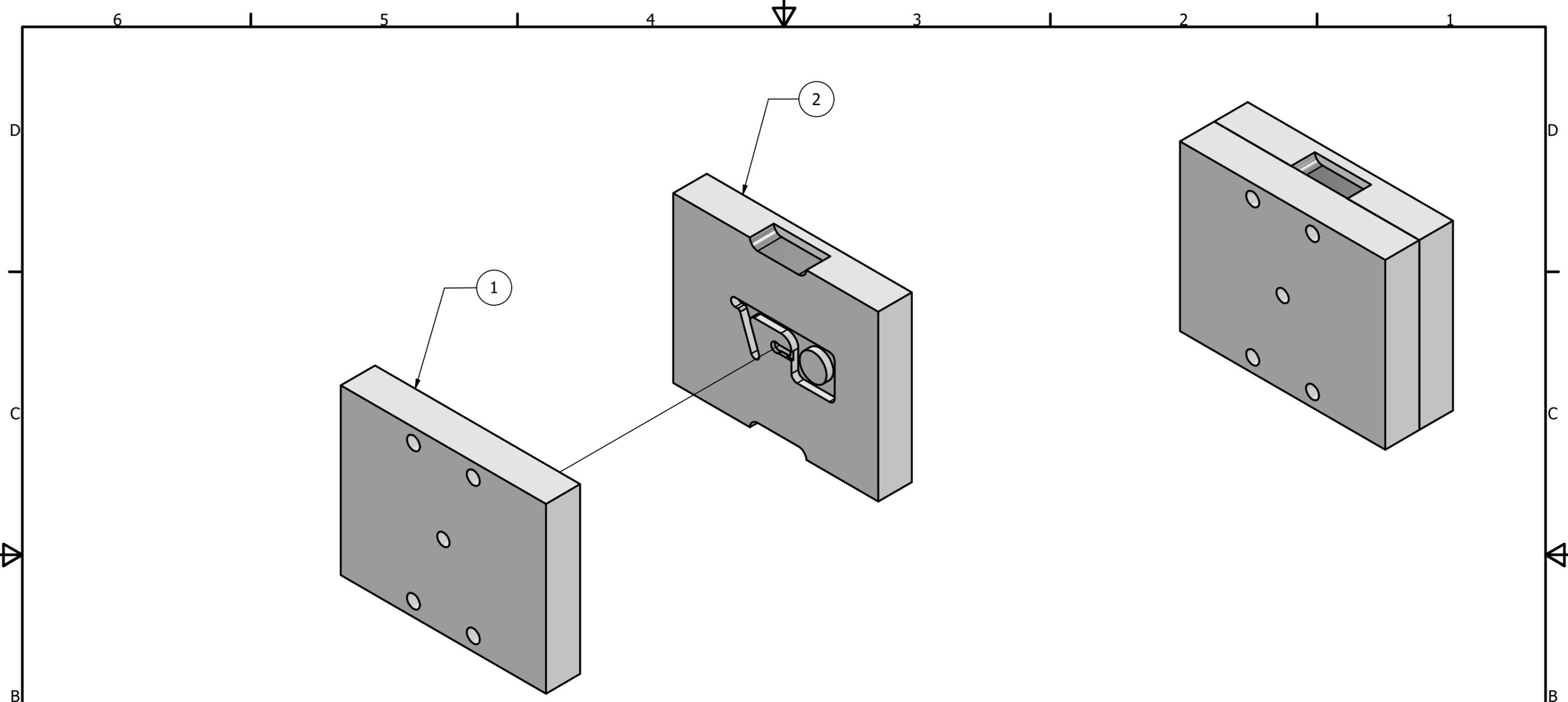


NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO  
**Inyectora Molde 1**

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

NÚMERO DE DIBUJO: 1

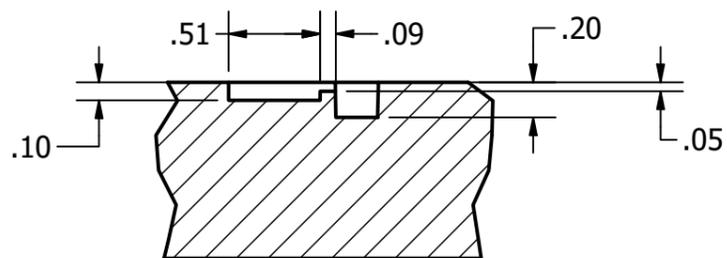
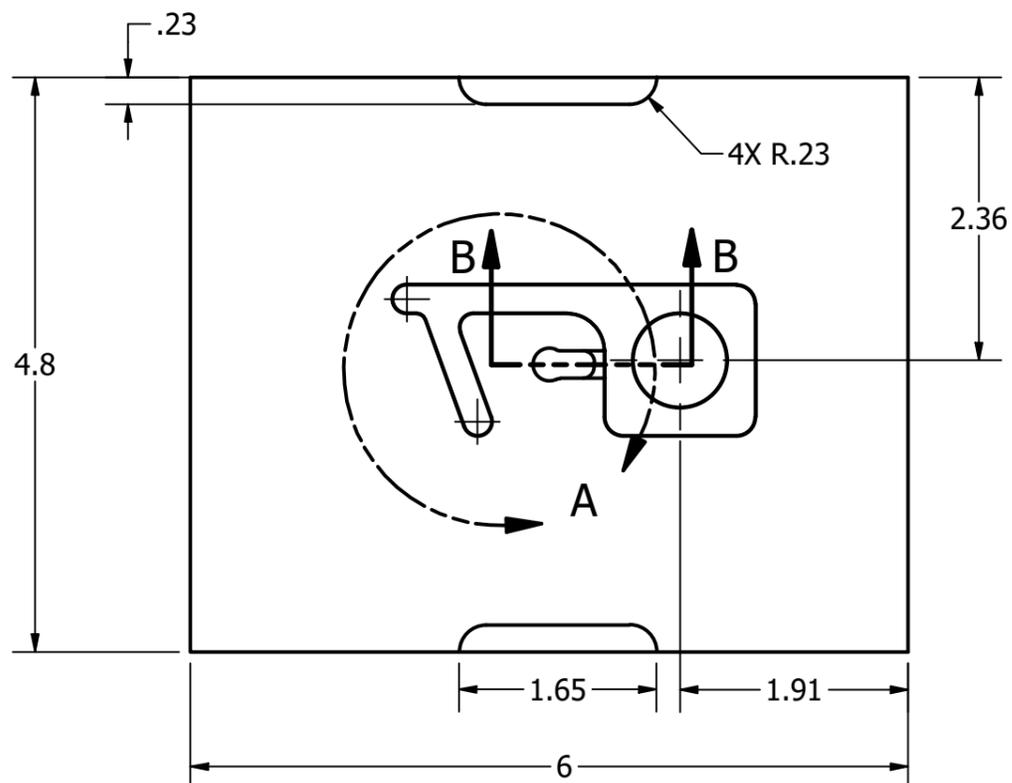
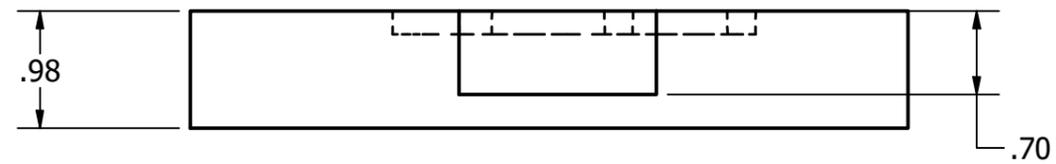
FORMATO	ESCALA: 1 : 1	UNIDADES: IN
<b>A4</b>	PÁGINA 1 DE 4	REV 0



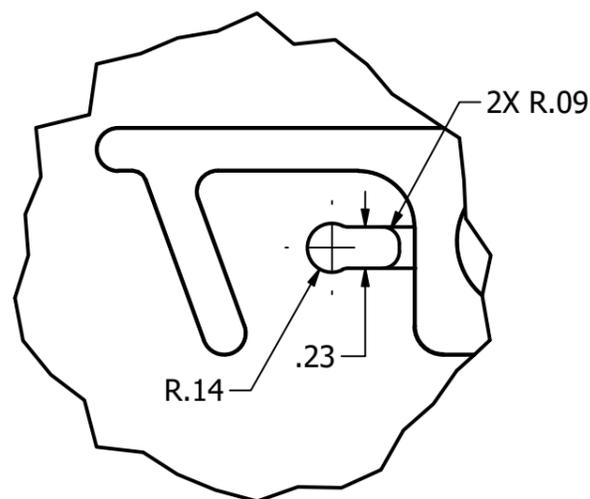
NOTA: LOS AGUJEROS UBICADOS EN EL MOLDE DEL BEBEDERO PARA EL USO DE PINES GUÍAS NO SERÁN MAQUINADOS EN EL MOLDE CON CAVIDAD.

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Molde bebedero	Molde con cara plana. Pieza no manufacturada.
2	1	Molde cavidad	Molde con sistema de alimentación y diseño de la cavidad final.

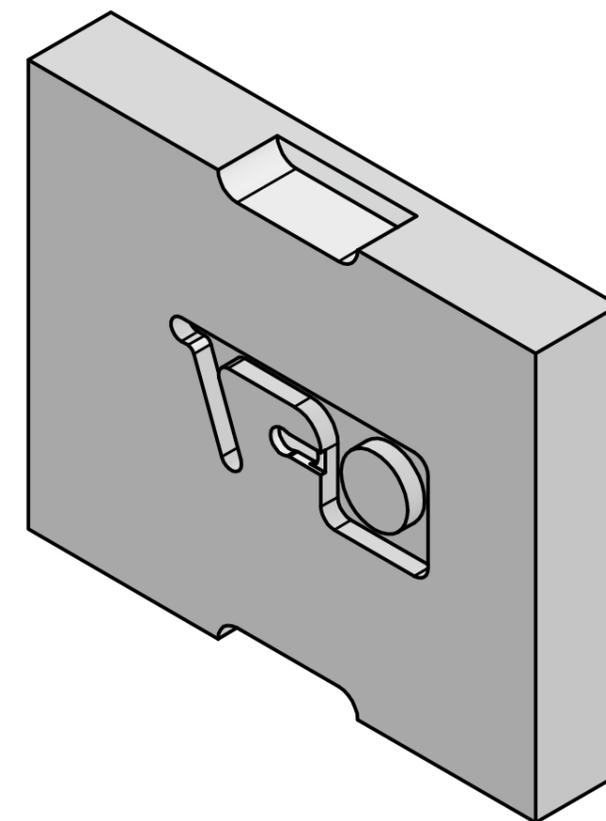
TODAS LAS MEDIDAS EN PULGADAS SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO. INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009.	INTEGRANTE 1	CARNÉ	 UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA 18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III Guatemala, Guatemala 01015 PBX: (502) 2634-0336 / 40 info@uvg.edu.gt
	E. de León Kestler	161062	
	INTEGRANTE 2	CARNÉ	
TOLERANCIAS GENERALES LINEAL .X ± 0.1 .XX ± 0.05 .XXX ± 0.025 ANGULAR ± 0.5° FRACCIONES ± RUGOSIDAD SUPERFICIAL ✓	D. Franco	15609	
	INTEGRANTE 3	CARNÉ	
	APROBADO POR	FECHA	
	G. Barrera	31/10/2021	
	NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO		TÍTULO: MOLDE DE DOS PLATOS DE COLADA FRÍA
	Inyectora Molde 1		NÚMERO DE DIBUJO: 2
MATERIAL Aluminio 6061 TRATAMIENTO - MASA: 5.62 lbs	 TERCER ÁNGULO DE PROYECCIÓN	TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.	FORMATO <b>A3</b>
		ESCALA: 1 / 2	UNIDADES: IN
		PÁGINA 2 DE 4	REV 0



SECCIÓN B-B  
ESCALA 1:1



DETALLE A  
ESCALA 1:1



NOTA: CAVIDAD CUENTA CON  
ÁNGULO DE DESMOLDEO DE 0.8°.

DIMENSIONAMIENTO DE LA  
CAVIDAD EN DIBUJO NÚMERO 1

TÍTULO: MOLDE CON CAVIDAD  
LLAVE ANTI-CONTACTO

NÚMERO DE DIBUJO: 3

FORMATO ESCALA: 1/2 UNIDADES: IN

A3 PÁGINA 3 DE 4 REV 0

