



# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**



## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **MODELADO 3D Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MATRIZ DE SOPLADO PARA BOTELLAS PET POR MEDIO DE UN EQUIPO CNC PARA LA EMPRESA MOLPLASTIC**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**SAMUEZA CHUSHIG HUGO JOEL**

**[hugo.samueza@epn.edu.ec](mailto:hugo.samueza@epn.edu.ec)**

**DIRECTOR: ING. CESEN ARTEAGA MARIO ALBERTO, M.SC.**

**[mario.cesen@epn.edu.ec](mailto:mario.cesen@epn.edu.ec)**

**CODIRECTOR: ING. PANTOJA SUAREZ LUIS FERNANDO, PH.D.**

**[fernando.pantoja@epn.edu.ec](mailto:fernando.pantoja@epn.edu.ec)**

**Quito, 2022**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **Samueza Chushig Hugo Joel**, bajo nuestra supervisión.

---

Ing. Cesen Arteaga Mario Alberto, M.sc.  
**DIRECTOR DE PROYECTO**

---

Ing. Pantoja Suarez Luis Fernando, PH.D.  
**CODIRECTOR DE PROYECTO**

## DECLARACIÓN

Yo, **Samueza Chushig Hugo Joel**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Samueza Chushig Hugo Joel

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mi madre María Rosa Samueza Chushig por todo el esfuerzo dedicado en mi formación como persona y académica, que cada madrugada, consejo y castigo sirvió para estar en un buen camino y lograr este objetivo en mi vida.

A mi hermana Gabriela Roció Narváez Samueza por ayudarme en cada desvelada y estar ahí en mis peores días.

Lo logramos madre.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi madre por trabajar cada día, por darme un pan para comer, apoyarme y cuidarme en mis accidentes, estar a mi lado en las competencias y sobre todo por ser mi madre y haberme enseñado la sencillez y humildad.

A mi hermana por todo el apoyo cuando ya no podía más entre el trabajo y los estudios gracias por cada desvelada que te hice pasar, por estar aun en nuestro hogar cuidando y ayudando a mi madre.

A mi Ceci y mi amor chiquito por estar conmigo a lo largo de mi carrera, por no olvidarme, por soportarme y perdonar mis errores, por mostrarme lo bonito que es compartir y lograr metas juntos. Gracias amores.

Al Ingeniero Jorge Zabala, por toda la ayuda brindada a lo largo de la carrera, por permitirme enseñar el mundo del mecanizado, un fuerte abrazo.

A Edgar Rosero que más que un jefe es un amigo, por abrirme las puertas de su empresa Molplastic y enseñarme lo que es la mecánica.

A todos mis amigos de la EPN por ayudarme y estar ahí hasta el día de hoy, a mis compañeros de CORPORACIÓN FAVORITA por colaborar en mis inicios de carrera.

A todas las personas que me brindaron su apoyo incondicional.

Gracias.

# ÍNDICE

1	MARCO TEÓRICO.....	16
1.1	Estudio de soplado de botellas PET .....	16
1.1.1	EL origen del PET .....	16
1.1.2	Codificación.....	17
1.1.2.1	Primeras botellas PET.....	17
1.1.3	Plásticos termoestables .....	18
1.1.4	Plásticos termoplásticos.....	18
1.1.5	Impacto ambiental y la alternativa del reciclaje .....	18
1.2	Procesos de moldeo de plásticos .....	19
1.2.1	Moldeo por Inyección .....	19
1.2.2	Moldeo por compresión.....	20
1.2.3	Moldeo por soplado.....	21
1.2.4	Moldeo por transferencia .....	22
1.2.5	Moldeo por termoformado.....	23
1.3	Materiales para la fabricación de botellas plásticas .....	23
1.3.1	Polietileno de alta densidad (PEAD).....	23
1.3.2	Policloruro de vinilo PVC.....	24
1.3.3	Polipropileno (PP) .....	24
1.3.4	Utilización de PET reciclado .....	24
1.4	Materiales para fabricación de moldes .....	25
1.4.1	Acero .....	26
1.4.2	Aluminio.....	27
1.5	Máquinas para la fabricación de moldes .....	28
1.5.1	Centro de mecanizado CNC .....	28
1.5.2	Torno CNC .....	29
1.5.3	Máquinas convencionales.....	30
1.5.3.1	Torno .....	30
1.5.3.2	Fresadora Vertical .....	31
1.5.4	Códigos G y M.....	32
1.5.4.1	Códigos Generales.....	33
1.5.4.2	Códigos Misceláneos .....	34
1.5.5	Software.....	34
1.5.5.1	Inventor Autodesk Student.....	34
1.5.5.2	MACH 3 Turn.....	34
1.6	Máquinas para producción de botellas .....	35

1.6.1	Máquinas inyectoras .....	35
1.6.2	Máquinas sopladoras .....	36
1.7	Etapas en el proceso de producción de botellas PET .....	37
1.7.1	Aspectos importantes en la fabricación de moldes de soplado de botellas PET	38
1.7.1.1	Análisis del modelo de la botella.....	38
1.7.1.2	Diseño de cavidades para mecanizado.....	38
1.7.1.3	Salidas de aire.....	39
2	METODOLOGÍA.....	40
2.1	Modelado de la matriz .....	41
2.1.1	Prototipado .....	41
2.1.2	Molde 3D .....	41
2.1.3	Cuerpo del molde.....	42
2.1.4	Asiento o base del molde.....	42
2.1.5	Bases del asiento .....	43
2.1.6	Pines y bujes .....	44
2.1.7	Sistema de refrigeración .....	44
2.1.8	Ensamble 3D.....	45
2.2	Generación de códigos G para mecanizado .....	46
2.2.1	Herramientas .....	46
2.2.2	Código G.....	47
2.2.2.1	Pines y bujes .....	48
2.2.2.2	Asiento del molde.....	38
2.2.2.3	Base del asiento.....	40
2.2.2.4	Cavidad interna del molde .....	39
2.3	Fabricación .....	43
2.3.1	Mecanizado del cuerpo del molde .....	43
2.3.1.1	Mecanizado torno manual.....	43
2.3.1.2	Fresado.....	44
2.3.1.3	Perforación y rimado .....	44
2.3.1.4	Encerado de la herramienta en el torno CNC marca Yang SNC-4070.....	45
2.3.1.5	Pines.....	47
2.3.1.6	Bujes.....	48
2.3.1.7	Ensamblado del cuerpo del molde.....	48
2.3.1.8	Mecanizado de la cavidad interna del molde .....	50
2.3.2	Mecanizado del asiento .....	52
2.3.3	Mecanizado de la base del asiento.....	54

2.3.4	Salidas de aire.....	55
2.3.5	Sistema de refrigeración .....	56
2.4	Proceso de pulido.....	58
2.5	Tratamientos térmicos y superficiales.....	59
2.5.1	Nitrurado.....	59
2.5.2	Galvanizado.....	60
2.6	Ensamble.....	61
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	62
3.1	Análisis del mecanizado del molde.....	62
3.1.1	Tiempo de fabricación.....	62
3.1.2	Acabado superficial.....	63
3.1.3	Seguridad y vibración en el mecanizado .....	64
3.2	Análisis de la prueba de soplado .....	64
3.2.1	Defectos de cruces en la botella.....	64
3.2.2	Presencia de imperfecciones en la botella .....	66
3.2.3	Estabilidad estructural de la botella con la preforma de 17 [g] .....	66
3.3	Análisis y Comparación del modelo con las botellas obtenidas en el soplado.....	69
3.3.1	Comparación dimensional del prototipo con la botella obtenida del proceso de soplado .....	69
3.3.2	Análisis de capacidad.....	75
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	79
4.1	Conclusiones .....	79
4.2	Recomendaciones.....	82
5	BIBLIOGRAFÍA.....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Construcción de un muro con botellas.....	19
Figura 1.2. Esquema del moldeo por inyección con émbolo.....	19
Figura 1.3. Productos comunes fabricados mediante moldeo por inyección.....	20
Figura 1.4. Moldeo por compresión de plásticos termofijos.....	21
Figura 1.5. Moldeo de soplado por inyección.....	22
Figura 1.6. Secuencia de operaciones en el moldeo por transferencia.....	22
Figura 1.7. Diversos procesos de termoformado para una hoja de termoplásticos.....	23
Figura 1.8. Moldes de acero para preformas PET.....	26
Figura 1.9. Comparación de las propiedades para diferentes tipos de acero.....	27
Figura 1.10. Centro de mecanizado CNC-marca Fadal.....	28
Figura 1.11. Torno CNC-marca Yang SNC-4070.....	30
Figura 1.12. Torno tipo revolver.....	31
Figura 1.13. Fresadora Vertical.....	32
Figura 1.14. Interfaz general MACH 3.....	34
Figura 1.15. Turn Wizards rev 5.4.....	35
Figura 1.16. Sopladora para botellas de plástico.....	36
Figura 1.17. Etapas de la elaboración de botellas PET.....	37
Figura 1.18. Continuación de las etapas de elaboración de las botellas PET.....	38
Figura 1.19. Representación de las salidas de aire en una base tipo petaloide.....	39
Figura 2.1. Metodología para la fabricación de un molde.....	40
Figura 2.2. Modelo de la botella a obtener.....	41
Figura 2.3. Cuerpo del molde.....	42
Figura 2.4. Asiento del molde.....	43
Figura 2.5. Base del asiento.....	43
Figura 2.6. Pines y bujes del molde.....	44
Figura 2.7. Sistema de refrigeración.....	45
Figura 2.8. Ensamble del molde 3D.....	45
Figura 2.9. Tool table.....	47
Figura 2.10. Pantalla principal del controlador MACH 3.....	47
Figura 2.11. Operaciones básicas de MACH 3.....	48
Figura 2.12. Simulación del mecanizado de pines.....	35
Figura 2.13. Simulación de mecanizado de bujes.....	38
Figura 2.14. Simulación del mecanizado del asiento del molde.....	39
Figura 2.15. Simulación del mecanizado de la parte posterior del asiento.....	40

Figura 2.16. Simulación del mecanizado de la base del asiento. ....	39
Figura 2.17. Perforaciones en los bloques de duraluminio. ....	39
Figura 2.18. Medidas de cilindrado interior de acuerdo al perfil. ....	39
Figura 2.19. Desbaste, cilindrado interior N°1. ....	40
Figura 2.20. Desbaste, cilindrado interior N°2. ....	40
Figura 2.21. Desbaste, cilindrado interior N°3. ....	41
Figura 2.22. Desbaste, cilindrado cónico. ....	41
Figura 2.23. Simulación de operaciones de desbaste. ....	42
Figura 2.24. Simulación del código para el afinado de la cavidad interna. ....	43
Figura 2.25. Torneado placas de duraluminio. ....	43
Figura 2.26. Cuadrado de placas de duraluminio mediante proceso de cilindrado. ....	44
Figura 2.27. Rectificado de placas de duraluminio mediante proceso de fresado. ....	44
Figura 2.28. Realización de perforaciones. ....	45
Figura 2.29. Botón RESET. ....	45
Figura 2.30. Referenciado inicial de la herramienta. ....	46
Figura 2.31. Sistema de referencia torno CNC marca Yang SNC-4070. ....	46
Figura 2.32. Herramienta Soft Limits. ....	47
Figura 2.33. Módulo AXIS POSITION. ....	47
Figura 2.34. Pines y bujes. ....	48
Figura 2.35. Cilindrado interno. ....	48
Figura 2.36. Colocación de pines y bocines en el cuerpo del molde. ....	49
Figura 2.37. Colocación de espárragos en el cuerpo del molde. ....	49
Figura 2.38. Cuerpo del molde ensamblado. ....	50
Figura 2.39. Perforación de la cavidad interna del molde. ....	50
Figura 2.40. Resultado de la perforación de la cavidad interna del molde. ....	51
Figura 2.41. Desbaste con inserto DCMT11T304. ....	51
Figura 2.42. Mecanizado de la forma de la botella. ....	52
Figura 2.43. Asiento del molde mecanizado etapa uno. ....	52
Figura 2.44. Asiento del molde mecanizado etapa dos. ....	53
Figura 2.45. Cilindrado interno de la base de la botella. ....	54
Figura 2.46. Mecanizado torno manual. ....	54
Figura 2.47. Rectificado de la base del asiento. ....	55
Figura 2.48. Mecanizado de la base del asiento. ....	55
Figura 2.49. Salidas de aire. ....	56
Figura 2.50. Canales de refrigeración. ....	57
Figura 2.51. Colocación de prisioneros. ....	57

Figura 2.52. Superficie a pulir .....	58
Figura 2.53. Pulido con lija de agua N° 500 .....	59
Figura 2.54. Pulido con lija de agua N° 1200 .....	59
Figura 2.55. Pines y bujes sometidos a Tecnifer.....	60
Figura 2.56. Bases de los asientos galvanizadas. ....	60
Figura 2.57. Molde armado.....	61
Figura 3.1. Acabado superficial del molde antes de pulir. ....	63
Figura 3.2. Representación de las aristas internas del molde. ....	65
Figura 3.3. Comparación entre botellas que contienen cruce en el molde.....	65
Figura 3.4. Botella de plástico PET. ....	67
Figura 3.5. Visualización completa del asiento de la botella.....	68
Figura 3.6. Asiento de la botella de plástico PET.....	68
Figura 3.7. Cotas tomadas para el análisis. ....	69
Figura 3.8. Intervalo de confianza para tres medidas diferentes. ....	73
Figura 3.9. Intervalo de confianza para dos medidas diferentes. ....	73
Figura 3.10. Error relativo porcentual para tres medidas diferentes.....	74
Figura 3.11. Error relativo porcentual para dos medidas diferentes.....	75
Figura 3.12. Balanza marca protocols herramienta de calidad.....	76
Figura 3.13. Error relativo porcentual. ....	77
Figura 3.14. Descripción de las alturas en la botella PET. ....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.	Codificación internacional para los distintos plásticos.....	17
Tabla 1.2.	Cuadro comparativo del PET reciclado. ....	25
Tabla 1.3.	Códigos generales del controlador MACH 3 .....	33
Tabla 1.4.	Códigos misceláneos del controlador MACH 3 .....	34
Tabla 2.1.	Herramientas a utilizar en el torno CNC.....	46
Tabla 3.1.	Valores de las medidas de las cotas de la botella dibujada en Inventor. ....	70
Tabla 3.2.	Medidas de la botella real-diámetro del hombro.....	70
Tabla 3.3.	Resumen de los valores obtenidos de error porcentual e intervalo de confianza. ....	72

## RESUMEN

En el presente proyecto, se fabricó un molde de soplado de botellas PET (polietileno de tereftalato), para obtener la cavidad interna de la matriz se utilizó un perfil en revolución con el fin de poder mecanizar en un torno CNC (control numérico computarizado) de la empresa Molplastic. Se obtuvo el diseño del molde, planos de taller, ensamble en un programa CAD (diseño asistido por computadora), se utilizó herramientas de la empresa para poder obtener el código G, este programa debe correr en el torno CNC, sin errores y así obtener la cavidad interna del molde. Una vez ya obtenido todo el modelo de la matriz y el programa de mecanizado, se inició la fabricación del mismo. Partiendo de bloques de duraluminio (aluminio 7075) los cuales se mecanizaron mediante procesos de arranque de viruta, en máquinas convencionales como torno y fresadora, con lo que se obtuvieron caras paralelas y perpendiculares con un acabado superficial fino. Posteriormente se realizó perforaciones para colocar pines y bujes que ayudaron a ensamblar los dos bloques que conforman la matriz con la finalidad de poder sujetarlos en el torno CNC. Los bloques de duraluminio (aluminio 7075) colocados en el torno se los centro con la ayuda de un reloj comparador y se inició pasando brocas con el fin de remover la mayor cantidad de material para posteriormente hacer correr el programa y así se obtuvo la cavidad interna del molde. Además, en el torno CNC se pudo fabricar todos los elementos de revolución como pines, bujes y la base del molde. A continuación, se realizó un pulido a la cavidad interna del molde y la base del mismo. Finalmente, se ensambló y se realizó pruebas de soplado con el objetivo comparar la botella obtenida en las pruebas con el modelo 3D. Con esta metodología se concluyó que es posible obtener una matriz de soplado por medio de Torno CNC, en lugar de emplear un Centro de Mecanizado, que es un equipo más caro y al cual en muchas ocasiones no existe el acceso.

**Palabras clave:** matriz de soplado, CAD, código G, torneado CNC, mecanizado.

## **ABSTRACT**

In this project, a PET (polyethylene terephthalate) bottle blow mold was manufactured, to obtain the internal cavity of the matrix a profile in revolution was used in order to be able to machine in a CNC (computer numerical control) lathe of the company Molplastic. The mold design, workshop plans, assembly in a CAD program (computer aided design) was obtained, tools of the company were used to obtain the G code, this program must run on the CNC lathe, without errors and thus obtain the internal cavity of the mold. Once the whole model of the die and the machining program were obtained, the manufacturing of the die was started. Starting from duraluminum blocks (7075 aluminum) which were machined by chip removal processes, in conventional machines such as lathe and milling machine, with which parallel and perpendicular faces with a fine surface finish were obtained. Subsequently, holes were drilled to place pins and bushings that helped to assemble the two blocks that make up the matrix in order to be able to hold them on the CNC lathe. The duraluminum blocks (7075 aluminum) placed on the lathe were centered with the help of a dial indicator and started by passing drills in order to remove the largest amount of material to later run the program and thus the internal cavity of the mold was obtained. In addition, the CNC lathe was used to manufacture all the elements of revolution such as pins, bushings and the base of the mold. Next, the internal cavity of the mold and the mold base were polished. Finally, it was assembled and blowing tests were carried out in order to compare the bottle obtained in the tests with the 3D model. With this methodology, it was concluded that it is possible to obtain a blow mold by means of a CNC lathe, instead of using a machining center, which is a more expensive equipment and to which in many occasions there is no access.

**Keywords:** blow die, CAD, G code, CNC turning, machining.

# **MODELADO 3D Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MATRIZ DE SOPLADO PARA BOTELLAS PET POR MEDIO DE UN EQUIPO CNC PARA LA EMPRESA MOLPLASTIC**

## **INTRODUCCIÓN**

El polietileno de tereftalato (PET) utilizado en la fabricación de botellas desde 1976 hasta la actualidad, ha revolucionado el mercado del envasado ya que se puede emplear en diferentes tipos de industrias como: bebidas, alimentos, medicinas, salsas, aceites, cosméticos, etc (Rangel Hernández , 2018). De esta manera los envases PET son fabricados con distintos diseños para las empresas que lo requieran. Pese a que, con el uso del material PET, se ha incrementado la contaminación ambiental. Sin embargo, en la actualidad se han implementado centros de reciclaje como: ENKADOR, ARCA CONTINENTAL, ECOCLIK, etc (Ecuador, 2012). Lo que ha hecho que el PET siga siendo un material altamente requerido.

Un aspecto importante antes de iniciar la fabricación de un molde es conocer el material, nivel de complejidad del diseño planteado y sus diferentes métodos de construcción (Cabrera Garcia, 2006), esto determina la ingeniería que se debe desarrollar y el uso de diferentes máquinas que por un lado se tengan a disposición, para la fabricación de la matriz deseada, así como la experiencia en la fabricación de este sistema. Las matrices con un excelente diseño y manufactura son importadas, lo que aumenta el costo de fabricación de los envases PET y reduce la posibilidad de las empresas para obtener una botella personalizada para cada producto (Yugsi LLano, 2019).

En la actualidad el proceso de fabricación de matrices se lo realiza en centros de mecanizado de 3 o más ejes, así como con el empleo de otras máquinas de mecanizado con el fin de obtener una infinidad de diseños personalizados, reducción de tiempo en el mecanizado, mejor calidad y disminución del costo en un proceso en serie (Iguasnia Vilema & Torres Barahona, 2016).

En Ecuador, la adquisición de estas máquinas representa un alto costo para las empresas dedicadas a la matricería, y se recurre a la compra de centros de mecanizados de 3 ejes, tornos CNC o máquinas convencionales usadas, en las cuales se pueda fabricar este tipo de matriz (Pacheco Vega & Espinosa Toro, 2016).

En el presente trabajo de titulación, se plantea realizar el modelado 3D y la construcción de una matriz de soplado para botellas PET, usando una máquina CNC para la empresa Molplastic. Con lo que se plantea generar la tecnología nacional suficiente para dar una solución a la necesidad de la empresa, reducir los costos de fabricación y obtener una matriz de alta calidad.

En el desarrollo del presente trabajo, se empleó los conocimientos adquiridos en el estudio de la carrera, relacionados con: materiales, modelado, diseño y manufactura CNC. Un equipo CNC es una máquina eficiente, rápida y precisa al momento de mecanizar perfiles (Bueno Guapacha & González Vargas, 2015), con lo que se puede fabricar la cavidad interna de un molde de soplado de botellas PET. Esta máquina es una alternativa diferente para no depender totalmente de una máquina CNC con más grados de libertad, de igual manera se puede obtener una reducción de costos y tiempos de fabricación, manteniendo la misma precisión que un centro de mecanizado. Esta alternativa es factible siempre y cuando el diseño del envase tenga un perfil circular y las cuchillas sean las adecuadas para trabajar con un equipo CNC (Yugsi LLano, 2019).

La utilización de un equipo CNC mediante el empleo de las operaciones de mecanizado (Fredes García & Vial Villalonga , 2018), permitirá la elaboración de un molde de soplado de botellas de PET. Para el cumplimiento de los objetivos, se elaborará el programa que contiene el código G que describa el perfil de la cavidad interna de la botella, obtenido a partir de los planos elaborados en un software CAD. Las superficies que se pueden obtener a través de este procedimiento deben ser geometrías simples generadas a partir de un elemento de revolución. Posteriormente, se emplearán los equipos de fabricación necesarios para los diferentes elementos de la matriz y el equipo CNC a utilizar para la fabricación de las cavidades del molde (Rangel, 2018).

El tema de tesis presentado nace de la necesidad de la empresa Molplastic de fabricar una matriz de soplado de botellas PET usando un equipo CNC con el fin de obtener la cavidad interna del molde, para lo cual se utilizó principalmente operaciones de mecanizado definidas (Fredes García & Vial Villalonga , 2018) y adicionalmente el empleo de otras máquinas para la fabricación de los componentes de la matriz.

## **Objetivo general**

Construir una matriz de soplado para botellas PET por medio de un equipo CNC para la empresa Molplastic.

## **Objetivos específicos**

- Realizar el estudio bibliográfico para el modelado y la fabricación de matrices.
- Determinar los parámetros de la matriz.
- Obtener el modelo CAD de la matriz.
- Generar el código G de programación para el molde a mecanizar en el equipo CNC.
- Elaborar los planos de fabricación de piezas y ensamblajes.
- Fabricar los elementos de la matriz.
- Realizar pruebas de soplado.

## **1 MARCO TEÓRICO**

### **1.1 Estudio de soplado de botellas PET**

#### **1.1.1 EL origen del PET**

La tecnología de los envases de PET surge por primera vez en el año de 1979, y ha generado una verdadera revolución en el mercado, siendo la opción principal para la distribución de líquidos de consumo masivo (Kandt, 2001). El procesamiento del PET se puede dar por la inyección-estirado-soplado para obtener cuerpos con un vaciado interno, o también por el termoformado para elaborar envases planos como por ejemplo láminas (Yugsi LLano, 2019).

El PET se puede someter a diferentes procesos de producción como: inyección y extrusión, en estos procesos las moléculas de este material se acomodan en dos posibles direcciones diferentes, en la cual esta orientación tiene una dirección longitudinal, paralela al eje del envase. En el caso de los envases la orientación tiene lugar según una dirección longitudinal, paralela al eje del envase, y según una dirección transversal al mismo (Paredes Luque & Roque Canahuire, 2015).

Es precisamente esta propiedad, conocida como bio orientación, la que confiere el PET una elevada resistencia mecánica, lo que, unido a su transparencia, hace que resulte un material idóneo para el envasado de productos líquidos. Para el caso de los envases que se obtienen a partir del proceso de termoformado la lámina genera una estructura interna que brinda una baja permeabilidad, buena resistencia y una gran transparencia (Paredes Luque & Roque Canahuire, 2015).

### 1.1.2 Codificación

Para una mejor identificación, los productos de plásticos llevan impreso el símbolo internacional de reciclado, como también un número que puede variar del 1 al 6 de acuerdo al material que se esté utilizando, como se muestra en la Tabla 1.1. El motivo primordial para usar este código de identificación es para realizar un proceso de reciclaje adecuado (Kandt, 2001). Además, cabe recalcar que el número de identificación del plástico solo especifica el tipo de material usado mas no su dureza ni tampoco su dificultad de ser reciclado (Groover, 2007).

Tabla 1.1. Codificación internacional para los distintos plásticos.

Tipo de plástico	Poliétileno Tereftalato	Poliétileno de alta densidad	Policloruro de vinilo	Poliétileno de baja densidad	Polipropileno	Poliestireno
Acrónimo	PET	PEAD/ PEHD	PVC	PEBD/ PELD	PP	PS
Código	1	2	3	4	5	6

(Fuente: Groover, 1997)

#### 1.1.2.1 Primeras botellas PET

El tereftalato de polietileno o comúnmente conocido como PET fue desarrollado en 1941 como un polímero para la primera fibra en el mundo por J. R. Whinfield y J. T. Dickson (Industria Química Imperial). El PET se ha ido desarrollando año a año a partir de su producción comercial en 1955, llegando a obtener niveles altos de sofisticación debido al aumento de las posibilidades de uso y la producción mundial. La fabricación de los envases ligeros, resistentes y transparentes a partir del PET tienen lugar a partir del año de 1976 (Kandt, 2001).

En todo este tiempo que el PET lleva presente en el mercado ha logrado estar en varios sectores, sustituyendo a los materiales que se usaban tradicionalmente. Esta gran variedad de usos ha provocado un gran crecimiento en su producción llevándolo a ser el material de embalaje con mejores expectativas de crecimiento (Kandt, 2001).

El PET ha ayudado a envasar miles de productos, pero todas las botellas fabricadas no siempre terminan en centros de acopio para su reciclaje. Una parte de estas botellas termina en el medio ambiente como: ríos y mares lo que a llevado a contaminar estos lugares debido a la resistencia a la degradación el PET esta presente por años llegando descomponerse en micro partículas las cuales pueden ingerirse por microorganismos y afectar los diferentes hábitats. (Schmitt, 2019)

### **1.1.3 Plásticos termoestables**

Los plásticos termoestables son materiales que al aplicar calor y presión en el proceso de moldeo llegan a tomar una forma fija al solidificarse, estos contienen una cadena polimérica tridimensional entrecruzada o reticulada. Se pueden diferenciar claramente con los termoplásticos, porque no se pueden soldar. Cabe recalcar que volver a calentar este material no se logrará su ablandamiento más bien si la temperatura es excesiva llegara a quemarse (Covarrubias Velázquez, Sáenz Galindo , & Castañeda Facio, 2016), esta característica hace que a altas temperaturas presente una buena resistencia química, rigidez, dureza superficial, etc (Cifuentes, 1991).

### **1.1.4 Plásticos termoplásticos**

Los termoplásticos son polímeros generalmente lineales o poco ramificados, por lo que pueden fluir a presión por encima de su punto de fusión. Pueden ser moldeados mediante calor una y otra vez, por lo que su reciclado es relativamente sencillo y les convierte en los materiales objeto de reciclaje en la actualidad (Castelles & De Gracia, 2012).

### **1.1.5 Impacto ambiental y la alternativa del reciclaje**

El tiempo que tarda en degradarse los envases de PET tiene un rango de 100 a 1000 años (Ruiz Valencia, López Pérez, Cortes, & Froese, 2012), por lo que el efecto del proceso del reciclado tiene un impacto muy grande en el ambiente del planeta. La degradación del PET en partículas pequeñas, ha llegado a contaminar incluso alimentos como también océanos y micro organismos. Aunque el plástico sea de vital importancia para el uso diario en nuestras vidas, su utilización debe ser responsable y solo en casos necesarios. El PET es un material que tiene la cualidad de poderse reutilizar varias veces, por lo cual es el plástico más reciclado actualmente para la fabricación de las mismas botellas, como también de prendas de vestir entre otros (Castelles & De Gracia, 2012).

Los productos que se pueden obtener a partir del reciclaje son: fibras simples o de relleno textil, botellas, correas, envases, entre otros. Se puede enumerar dos importantes razones por las cuales el reciclaje del PET debe ser prioritario. La primera se encuentra relacionada con su capacidad de poder ser reciclado varias veces, lo cual facilita la conservación de las materias primas. En segundo lugar, tenemos el ahorro de energía para la producción del material PET, ya que la energía utilizada en el proceso de reciclaje será menor en comparación de la obtención de material virgen desde cero (Castelles & De Gracia, 2012).

En conclusión, si el uso de la energía se reduce, su contaminación por gases de efecto invernadero también disminuirá. Otras alternativas importantes son la reducción de la cantidad de material individual que se emplea, como también la reutilización del aire

comprimido para aplicaciones de baja presión. Finalmente, el reciclaje de los envases de las botellas PET puede ser aplicado al campo de la construcción, para la elaboración de viviendas, muros, tanques, etc. Entre sus ventajas se puede evidenciar: el tiempo de duración, es un buen aislante térmico, presenta bajos costos, no es necesario de capacitaciones particulares para la fabricación de viviendas, muros, reciclaje de botellas y no tiene restricción de tamaño en los envases (Ruiz Valencia, López Pérez, Cortes, & Froese, 2012).



Figura 1.1. Construcción de un muro con botellas.  
Fuente: (Ruiz Valencia, López Pérez, Cortes, & Froese, 2012)

## 1.2 Procesos de moldeo de plásticos

### 1.2.1 Moldeo por Inyección

EL moldeo por inyección es un proceso en el cual los gránulos o pellets alimentan a un cilindro caliente para que se fundan, para posteriormente forzar a que fluya a alta presión.

Este fluido pasa por dentro del molde usando un sistema de tornillo giratorio o un émbolo hidráulico el cual le da presión al fluido. Concluido este paso se abre el molde y se retira la pieza de la cavidad (Boronat Vitoria, 2009).

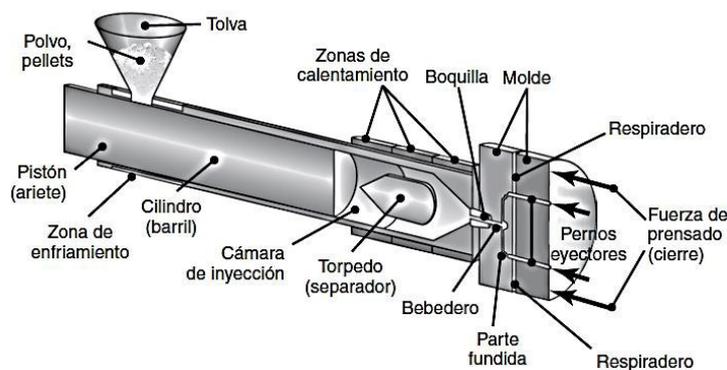


Figura 1.2. Esquema del moldeo por inyección con émbolo.  
Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2008)

Se pueden obtener formas intrincadas y complejas, para esto hay asegurar que en la fabricación del molde su cavidad sea acorde a la pieza a producir, y también asegurar el retiro de la misma.

Todo este proceso puede durar de 10 a 30 segundos, aunque también puede demorarse un poco más dependiendo del tamaño de la pieza, el elemento obtenido también se lo conoce como moldeo.

Los moldes pueden presentar varias cavidades, lo cual les permite producir varios productos al mismo tiempo (Boronat Vitoria, 2009).

El costo de fabricación de los moldes para piezas grandes y complejas puede llegar a ser de cientos de miles de dólares, aunque para la elaboración de piezas pequeñas estos moldes pueden aumentar su precio al tener múltiples cavidades incorporadas, toda esta inversión se verá justificada y por ende será más económico cuando se trabaje con grandes cantidades de producción (Boronat Vitoria, 2009)

Los principales elementos que se pueden producir a partir del moldeo por inyección son: vasos, contenedores, juguetes, accesorios de plomería, etc (Boronat Vitoria, 2009).

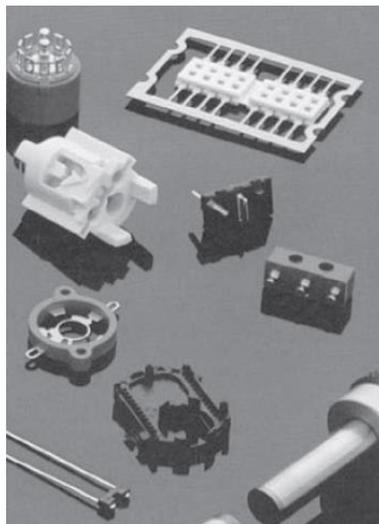


Figura 1.3. Productos comunes fabricados mediante moldeo por inyección.  
Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2008)

### 1.2.2 Moldeo por compresión

En el proceso de moldeo por compresión se utilizan prensas que están colocadas de manera vertical para sujetar dos placas que contienen las mitades del molde. Todo comienza cuando se aplica la cantidad exacta del compuesto a utilizar, mejor conocida como carga, en la parte inferior del molde que ya se encuentra precalentada, el

precalentamiento se realiza para suavizar el polímero y reducir el tiempo del proceso. El material utilizado puede presentarse en varias formas como: polvo, pellets, preformada o líquido. A continuación, se procede a unir las dos mitades del molde para hacer que el material fluya y tome la forma de la cavidad. Como siguiente paso se calienta la carga a través del molde para poder curar y polimerizar el compuesto en una pieza solidificada. Finalmente, se procede con la apertura del molde para sacar la pieza terminada presente en la cavidad (Groover, 2007).

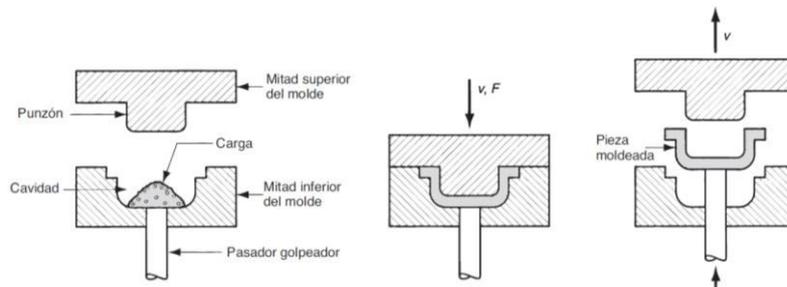


Figura 1.4. Moldeo por compresión de plásticos termofijos  
Fuente: (Groover, 2007)

Los moldes usados en este proceso pueden ser de tres tipos:

- Moldes manuales: utilizados para hacer ensayos.
- Semiautomáticos: necesitan de un operador para colocar y retirar la carga.
- Automáticos: su ciclo operativo es totalmente automático.

Los plásticos termoestables son los más utilizados en el proceso de moldeo por compresión, llegando a obtener productos como: mangos, platos, accesorios, etc. Entre sus ventajas más notables están: los moldes son más sencillos, requieren menos mantenimiento y son más baratos. Una de sus desventajas es que su tiempo de producción es mayor.

### 1.2.3 Moldeo por soplado

En este proceso se usa aire a presión para inflar el plástico blando que se encuentra dentro de la cavidad del molde. Los materiales más comunes para la fabricación de estas matrices son: acero, aluminio y cobre-berilio. El moldeo por soplado consta de dos etapas principales, la primera hace referencia a la fabricación del tubo de inicio de plástico fundido, conocido comúnmente en la literatura como Parison, aunque en la empresa es conocido como preforma. La preforma se obtiene a partir de un proceso de extrusión o moldeo por inyección previo. En la segunda etapa se realiza el inflado de la preforma mediante el aire a presión para adquirir la forma de la cavidad (Groover, 2007).

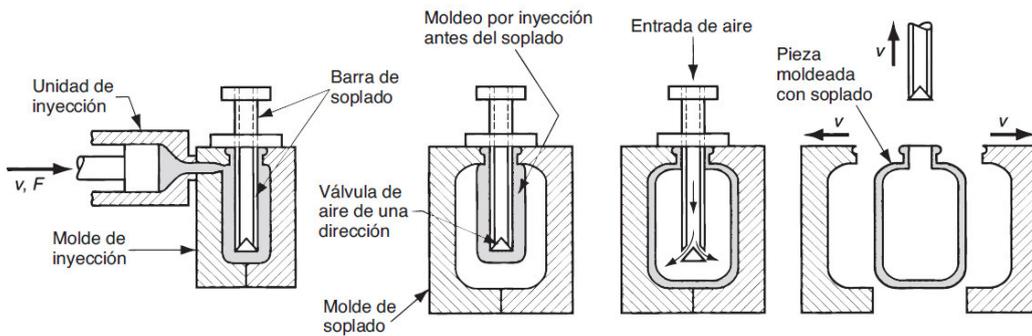


Figura 1.5. Moldeo de soplado por inyección  
Fuente: (Groover, 2007)

Lo más común que se puede producir con este proceso son las botellas de plástico y contenedores pequeños con vaciado interno, a partir de materiales base como el: polietileno y polietere tercetona.

#### 1.2.4 Moldeo por transferencia

En este tipo de moldeo se usa una resina o carga termofija, la cual se coloca en una cámara que se encuentra delante de la cavidad del molde, para ser calentada. Después se procede con la aplicación de presión para obligar al polímero suavizado a que pase por el interior de los conductos con dirección al molde caliente, este proceso genera un aumento en la cantidad de calor, favoreciendo a la homogenización del flujo viscoso (Kalpakjian & Schmid, 2008).

El curado es el proceso final el cual se da por enlaces cruzados. Existen dos tipos de posibilidades para este proceso (Kalpakjian & Schmid, 2008) que son los siguientes:

- Moldeo de transferencia por vasija.
- Moldeo de transferencia por pistón.

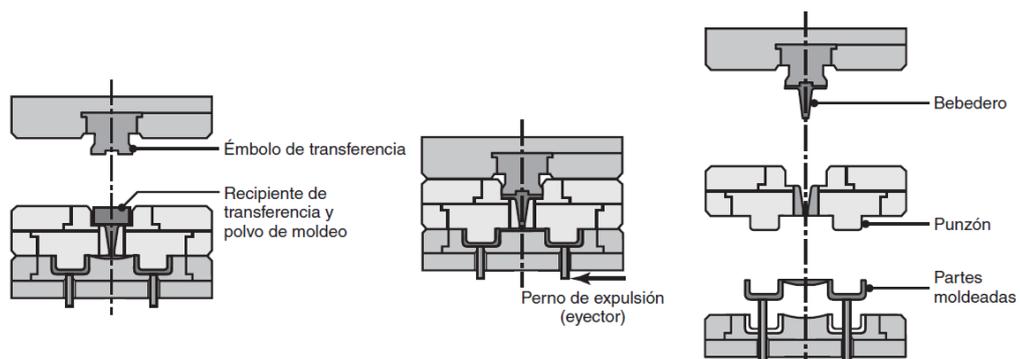


Figura 1.6. Secuencia de operaciones en el moldeo por transferencia.  
Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2008)

### 1.2.5 Moldeo por termoformado

Este proceso se caracteriza por la utilización de presión y calor para formar películas o láminas de termoplásticos. Las láminas se obtienen a través de un proceso de extrusión previo y se las almacena en forma de cintas bobinadas (Rangel, 2018).

Las láminas utilizadas se fijan y calientan a la temperatura de hundimiento, por lo general el calentamiento se lo realiza por radiación (Kalpakjian & Schmid, 2008), para adquirir la forma deseada las láminas son forzadas sobre la superficie del molde mediante la aplicación de vacío o presión del aire. En la siguiente figura 1.7 se puede ilustrar dos diferentes procesos de termoformado (Kalpakjian & Schmid, 2008).

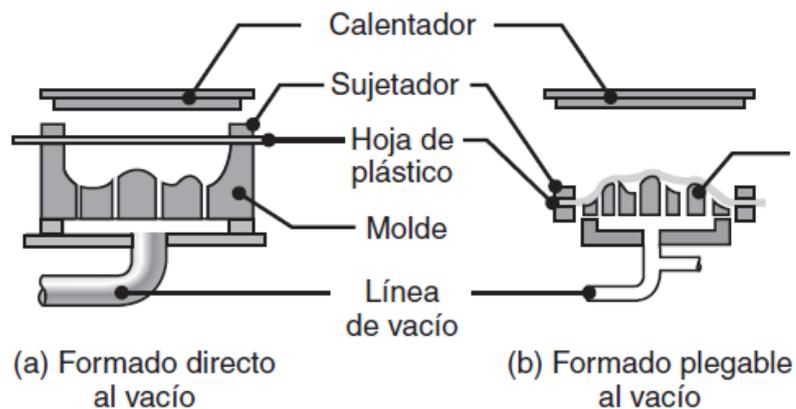


Figura 1.7. Diversos procesos de termoformado para una hoja de termoplásticos  
Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2008)

El material con el que se fabrican estos moldes es principalmente de aluminio, para crear el vacío los moldes constan de orificios con un diámetro menor a 0,5 mm para evitar la creación de marcas en las partes elaboradas. Los objetos que se pueden obtener en este proceso son empaques, recubrimientos para refrigeradores, paneles, etc (Kalpakjian & Schmid, 2008).

## 1.3 Materiales para la fabricación de botellas plásticas

Existen algunos tipos de materiales para la elaboración de botellas, cada uno presenta sus propias características y ventajas. Entre los más utilizados tenemos el: Polietileno de alta densidad (PEAD), Policloruro de vinilo (PVC), Polipropileno (PP) y el Tereftalato de polietileno o comúnmente conocido como PET.

### 1.3.1 Polietileno de alta densidad (PEAD)

Es un termoplástico el cual está constituido por varias unidades de etileno, además es conocido como (HDPE) por sus siglas en inglés, se obtiene a partir de un proceso de

polimerización por adición. Su característica principal es su alta densidad molecular debida principalmente a que sus moléculas carecen de ramificaciones, esto hace que este material tenga una gran dureza y resistencia. Entre sus aplicaciones tenemos la elaboración de tuberías, tapas, sillas, pueden contener productos químicos de distinto tipo por eso es común en los de productos de limpieza, etc (Ruiz Valencia, López Pérez, Cortes, & Froese, 2012).

### **1.3.2 Policloruro de vinilo PVC**

Es un material versátil y de bajo costo, que puede ser utilizado en varios campos como la construcción, electrónica, salud, etc. La característica que más resalta es su versatilidad, ya que se puede producir desde tuberías, hasta envolturas de plásticos. El PVC puede ser tan delgado y flexible como un revestimiento para superficies. En el apartado de envasado de productos, el PVC juega un papel importante ya que se usa en el campo de la salud para transportar medicamentos, debido a sus características de durabilidad y confianza. Un ejemplo de esto es el vinilo transparente (Boronat Vitoria, 2009).

### **1.3.3 Polipropileno (PP)**

Su desarrollo e investigación se da a partir de la segunda mitad del siglo XX, y alrededor de los años 80 este plástico experimenta una verdadera expansión en todo el planeta, logrando así una gran diversificación de sus aplicaciones. Entre sus principales características se tiene:

- Gran resistencia a los agentes químicos.
- Excelente estabilidad térmica.
- Sirve para el proceso de reciclado.
- Baja densidad.
- Poca absorción de agua.

El polipropileno sirve para la elaboración de: botellas, juguetes, bolsas, etc (Boronat Vitoria, 2009).

### **1.3.4 Utilización de PET reciclado**

El proceso de reciclado del PET puede darse de 3 formas distintas, las cuales pueden ser reciclado mecánico, químico o energético. El más utilizado es el reciclaje mecánico, en donde se realizan procesos de separación, limpieza y molido (Castelles & De Gracia, 2012).

El proceso inicia con la separación y lavado de elementos contaminantes que puedan estar presentes, a continuación, ya que el material se encuentre limpio, se procede a secar y a guardar en un contenedor intermedio para después homogenizar el material y tritararlo (Castelles & De Gracia, 2012).

A partir de este punto el PET reciclado se puede usar para generar nuevos productos. Cabe recalcar que la utilización de plástico reciclado es más barata en comparación al plástico virgen, por lo cual al elegir esta opción se produce un ahorro de dinero, como también se contribuye de manera positiva al cuidado del medio ambiente (Yugsi LLano, 2019). A continuación, en la tabla 1.2 se muestran las ventajas y desventajas de usar PET reciclado (Yugsi LLano, 2019).

Tabla 1.2. Cuadro comparativo del PET reciclado.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Más económico en comparación al plástico virgen.	Reducción parcial de la calidad y transparencia.
Conservación del medio ambiente.	Para el campo alimenticio se necesita un procesamiento especial.
Se optimizan recursos.	

(Fuente: Propia)

## 1.4 Materiales para fabricación de moldes

Los materiales utilizados para la elaboración de moldes deben cumplir ciertos requerimientos (Uddeholm, 2017), los cuales son:

- Resistente al desgaste y corrosión.
- Que se pueda maquinar.
- Que presente una buena estabilidad dimensional.
- Una excelente conductividad térmica, para poder evacuar el calor del molde de una manera adecuada.

Por lo cual los aceros endurecidos, las aleaciones de berilio-cobre y el aluminio son los más comunes. Este último es el más utilizado si se compara con los dos restantes, debido a que tiene un correcto equilibrio entre costo, duración, facilidad de maquinado y conductividad térmica. Estos moldes son utilizados principalmente en la industria del embotellado y embalaje (Uddeholm, 2017).

### 1.4.1 Acero

Los moldes que se construyen de acero están diseñados para que duren muchos años, por lo cual se los conoce como moldes “para toda la vida” como se puede observar en la figura 1.8. Como defecto se tiene que el acero y sus aleaciones son difíciles de mecanizar, debido a su dureza, pero esta misma cualidad hace que su tiempo de vida sea muy grande, y sirva principalmente para producir grandes series de piezas de plástico.

Entre los aceros más utilizados se encuentran: acero pre templado para moldes, acero de temple para moldes y acero para moldes resistente a la corrosión (Uddeholm, 2017). Además, se tiene que los termoplásticos son altamente abrasivos por lo que requieren de un material resistente (Uddeholm, 2017)

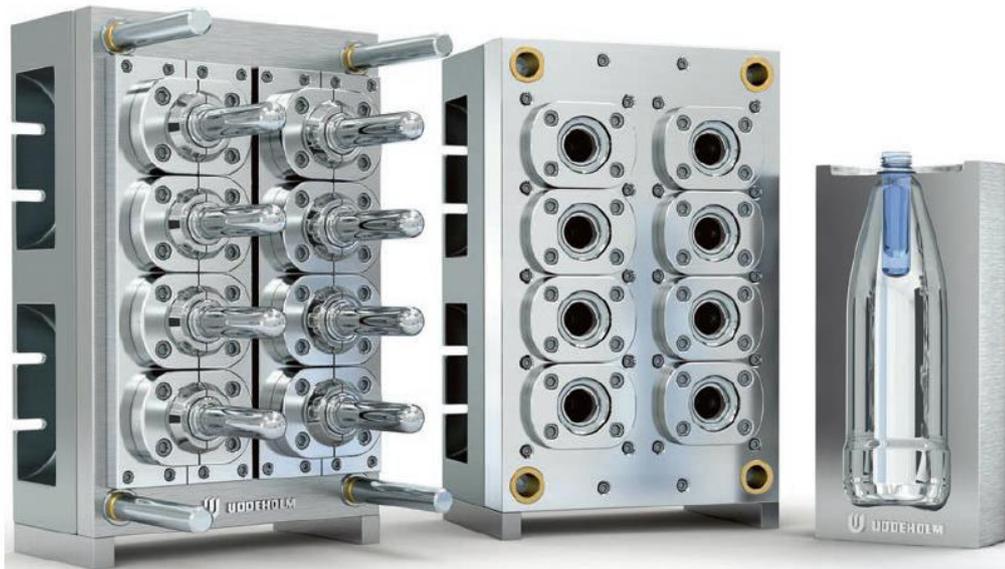


Figura 1.8. Moldes de acero para preformas PET  
Fuente: (Uddeholm, 2017)

A continuación, se muestran las propiedades de los principales tipos de acero para moldes y porta moldes, ver figura 1.9, en una escala del 1 al 10, siendo el 10 la mejor puntuación, de la empresa Uddeholm AB. Estas comparaciones son aproximaciones que sirven como ruta para la elección correcta del acero.

PROPIEDAD	Impax Supreme	Nimax	Nimax	Mirrax 40	Corrax	Vidar 1 ESR	Orvar Supreme	Stavax ESR	Mirrax ESR	Polmax	Unimax	Rigor	Elmax	Vanadis 4 Extra	Ramax HH	RoyAlloy	Holdax
Dureza normal HRC (HB)	(~310)	(380)	(380)	(380)	46	48	52	52	52	52	58	59	58	62	(~340)	(~310)	(~310)
Resistencia al desgaste	3	4	4	4	5	6	7	7	7	7	8	8	9	10	4	3	3
Tenacidad	9	10	10	6	7	8	6	5	6	5	6	3	4	5	3	4	4
Resistencia a la compresión	4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	8	9	9	9	5	4	4
Resistencia a la corrosión	2	2	2	7	10	3	3	8	9	8	3	2	6	2	7	7	2
Mecanibilidad**	5	5	5	6	4	9	9	8	7	8	7	5	3	4	6	7	7
Pulibilidad	7	8	7	8	7	8	8	9	9	10	8	5	8	8	4	4	4
Soldabilidad	6	7	7	5	6	4	4	4	4	4	4	2	2	2	5	6	6
Nitrurado	6	5	5	-	-	10	10	-	-	-	8	6	-	8	-	-	5
Texturizado	8	9	8	8*	8*	9	9	8*	8*	8*	9	5	8*	8	3	3	3

Figura 1.9. Comparación de las propiedades para diferentes tipos de acero.

Fuente: (Uddeholm, 2017)

## 1.4.2 Aluminio

El uso del aluminio para la elaboración de moldes es cada vez más frecuente por sus múltiples ventajas. Debido a esto se ha generado una nueva familia de aleaciones llamadas de segunda generación, pensados únicamente para la industria del plástico (Uddeholm, 2017). Las principales mejoras en comparación a los aluminios convencionales son:

- Mayor estabilidad de forma.
- Mayor soldabilidad, que se encuentra relacionado con la capacidad de realizar reparaciones y modificaciones en el molde.
- Buena resistencia a la corrosión, que ayuda a aumentar la vida útil del molde.

Realizando una comparación con el acero, el aluminio presenta un menor peso llegando a ser una tercera parte que del acero. Esta característica hace que sea más fácil la manipulación de grandes bloques, disminuyendo el esfuerzo y los costos de traslado. También se tiene que el aluminio tiene una velocidad de mecanizado más rápida que la del acero, alargando la vida útil de las herramientas utilizadas (Uddeholm, 2017).

En la producción de las botellas de plástico, la disipación de calor producida por el proceso es muy importante, en este sentido el aluminio tiene características que lo ubican como un gran conductor y disipador de calor, llegando a evacuar de 3 a 4 veces más rápido que el acero.

## 1.5 Máquinas para la fabricación de moldes

### 1.5.1 Centro de mecanizado CNC

La tecnología en donde una computadora adquiriría el control de una máquina herramienta se comienza a desarrollar a partir del año 1948 en el Institute of Technology Massachussets, por disposición de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos (Pacheco Vega & Espinosa Toro, 2016). Estas nuevas máquinas se crean debido al interés de la Aérea de los Estados Unidos (Pacheco Vega & Espinosa Toro, 2016).

El proceso de fabricación de una pieza en una máquina CNC es igual o parecido al de una fresadora convencional, con la gran diferencia que en el proceso manual lo realiza un operario, en cambio en el CNC lo ejecuta el control numérico computarizado. Para dar inicio con la ejecución del programa se determinan previamente las instrucciones para elaborar la pieza. Mientras se corre el programa, el control numérico toma paso a paso todas las líneas de código, realizando una correcta comunicación con los demás componentes de la máquina. Los canales de comunicación entre el controlador numérico y la máquina se dan por medio de los diferentes actuadores y sensores, los cuales reciben datos y envían ordenes respectivamente (Pacheco Vega & Espinosa Toro, 2016)

Los centros de mecanizado cuentan con motores de avance que trasladan los carros en los ejes: longitudinal, transversal y vertical, mediante el husillo, ver figura 1.10. El control numérico emite señales eléctricas de baja potencia para dotar de velocidad y dirección al movimiento del carro.



Figura 1.10. Centro de mecanizado CNC-marca Fadal.  
Fuente: (Propia)

A continuación, se presentan las diferentes partes que tiene un centro de mecanizado CNC (Pacheco Vega & Espinosa Toro, 2016), que son las siguientes:

- Cabezal.
- Husillos de desplazamiento (X, Y, Z).
- Circuito de regulación de posición.
- Circuito de regulación de velocidad.
- El control CNC.
- Elementos constitutivos principales.
- Sistema de lubricación.
- Sistemas de seguridad.
- Hardware y Software.

### **1.5.2 Torno CNC**

El torno CNC presenta un control numérico incorporado a una máquina herramienta que tiene como objetivo la elaboración de piezas de revolución de manera automática. Este proceso lo logran con un software especializado también llamado CNC o control numérico por computadora. Su funcionamiento se basa en el control del posicionamiento de los carros sobre los ejes X, Z. Los procesos de mecanizado que se pueden realizar son: desbastado, refrentado, roscado, taladrado, etc. Los componentes y diseño de un torno CNC varía con respecto al de un torno convencional, aunque si se comparan sus principios básicos son iguales. Así pues, se puede definir al torno CNC como una máquina-herramienta precisa y compleja la cual se utiliza para la producción de piezas en serie y con geometrías complejas (Pacheco Vega & Espinosa Toro, 2016).

A continuación, en la figura 1.11 se presentan algunas ventajas que tiene los tornos CNC, con respecto a los tornos convencionales (Pacheco Vega & Espinosa Toro, 2016) y son las siguientes:

- Mayor precisión dimensional.
- Reducción en los tiempos de mecanizado.
- Utilización de diferentes operaciones debido al cambio de herramientas.
- Elaboración de piezas con gran precisión.



Figura 1.11. Torno CNC-marca Yang SNC-4070  
Fuente: (Propia)

### 1.5.3 Máquinas convencionales

#### 1.5.3.1 Torno

El torno es una máquina enfocada en mecanizar o elaborar elementos que poseen geometrías de revolución ver figura 1.12. Su funcionamiento se basa en hacer girar el mandril donde se encuentra sujeta la pieza, para poder realizar el arranque de viruta mediante herramientas de corte o cuchillas. El torno es una de las máquinas más utilizadas debido a que permite la realización de múltiples trabajos: refrentado, cilindrado, roscado, perforado, mandrinado, tronzado, etc (Pacheco Vega & Espinosa Toro, 2016).

Tipos de torno:

- Torno horizontal o paralelo.
- Torno vertical.
- Torno copiador.
- Torno revólver.
- Torno automático.



Figura 1.12. Torno tipo revolver.  
Fuente: (Pacheco Vega & Espinosa Toro, 2016)

### 1.5.3.2 Fresadora Vertical

Fueron desarrolladas a principios del siglo XIX, y con el transcurso de los años se han convertido en una de las máquinas más utilizadas y básicas para realizar el proceso de mecanizado en materiales. La fresadora vertical, ver figura 1.13, es una máquina-herramienta que realiza el arranque de viruta mediante el giro de una herramienta rotativa a altas velocidades, denominada fresa (Pacheco Vega & Espinosa Toro, 2016).

A continuación, se muestran las diferentes partes de las que consta una fresadora vertical (Pacheco Vega & Espinosa Toro, 2016) y son las siguientes:

- Motor.
- Cabeza.
- Encendido y paro de la fresadora.
- Husillo.
- Mesa.
- Columna.
- Volante de movimiento X, Y, Z.
- Base.
- Caja del sistema eléctrico.



Figura 1.13. Fresadora Vertical.  
Fuente: (Propia)

#### 1.5.4 Códigos G y M

EL código de programación fuente en la gran parte de las máquinas CNC se realiza a través del lenguaje de bajo nivel comúnmente conocido como G y M.

El significado de las G y M viene dado por que este lenguaje tiene comandos o instrucciones generales y misceláneas. Es un lenguaje de programación de naturaleza vectorial en donde se pueden detallar instrucciones simples y entidades geométricas sencillas (arcos de circunferencia y segmentos de rectas), acompañado de sus parámetros de velocidad y avance de las herramientas (Daza Murgado & Luengas Zepeda, 2016).

Uno de los avances más importantes en este campo fue la estandarización del código de programación impulsado por la ISO, lo cual llevo a que la mayoría de los fabricantes de maquinaria CNC adoptara esta medida.

Los cual permitió usar los mismos programas en máquinas CNC diferentes de manera directa o con adaptaciones menores (Daza Murgado & Luengas Zepeda, 2016).

### 1.5.4.1 Códigos Generales

Tabla 1.3. Códigos generales del controlador MACH 3

<b>Código G</b>	<b>Significado</b>
G00	Posicionamiento rápido
G01	Interpolación lineal
G02	Interpolación circular (horaria)
G03	Interpolación circular (antihorario)
G04	Pausa
G10	Configuración del origen del sistema de coordenadas
G15/G16	Movimientos de coordenadas polares en G0 y G1
G17	Selección de plano XY
G18	Selección de plano XZ
G19	Selección de avión YZ
G20/G21	Unidad de pulgadas/milímetros
G28	Regreso a Home
G28.1	Ejes de referencia
G30	Regreso a Home
G32	Roscado
G40	Cancelar compensación de radio de punta
G41/G42	Iniciar compensación de radio de punta izquierda/derecha
G50	Restablecer todos los factores de escala a 1,0
G51	Establecer factores de escala de entrada de datos de eje
G52	Compensaciones temporales del sistema de coordenadas
G53	Mover en el sistema de coordenadas absolutas de la máquina
G54	Usar compensación de dispositivo 1
G55	Usar compensación de dispositivo 2
G56	Usar compensación de dispositivo 3
G57	Usar compensación de dispositivo 4
G58	Usar compensación de dispositivo 5
G59	Usar compensación de dispositivo 6 / usar número de dispositivo general
G61/G64	Modo de parada exacta/velocidad constante
G76	Ciclo fijo – corte por tornillo
G77	Ciclo fijo
G80	Cancelar modo de movimiento (incluidos ciclos fijos)
G81	Ciclo fijo - taladrado
G82	Ciclo fijo - taladrado con pausa
G83	Ciclo fijo - perforación picoteada
G90	Modo de distancia absoluta
G91	Modo distancia incremental
G92	Coordenadas compensadas y parámetros establecidos
G92.x	Cancelar G92 etc.
G94	Modo alimentación por minuto
G95	Modo de alimentación por revoluciones
G98	Vuelta al nivel inicial tras ciclos fijos
G99	Retorno del nivel del punto R después de ciclos fijos

Fuente: (Art Soft, 2006)

### 1.5.4.2 Códigos Misceláneos

Tabla 1.4. Códigos misceláneos del controlador MACH 3

Código M	Significado
M00	Parada de programa
M01	Parada de programa opcional
M02	Fin del programa
M03/04	Girar el husillo en sentido horario/antihorario
M05	Detener la rotación del cabezal
M06	Cambio de herramienta (por dos macros)
M07	Refrigerante en aspersion
M08	Encendido del refrigerante
M09	Apagado del refrigerante
M30	Fin de programa y rebobinado
M47	Repetir programa desde la primera línea
M48	Activar anulación de velocidad y avance
M49	Deshabilitar anulación de velocidad y avance
M98	Llamada de Subrutina
M99	Retorno de subrutina/repetir

Fuente: (Art Soft, 2006)

### 1.5.5 Software

#### 1.5.5.1 Inventor Autodesk Student

El software Inventor es un programa de diseño asistido por computadora, el cual es una herramienta para el campo de la ingeniería y diseño de productos a nivel profesional. Este programa facilita el diseño mecánico en 3D, la simulación, la visualización y la documentación del proyecto (Autodesk, 2022).

Producido por la empresa AutoDesk desde el 20 de septiembre de 1999 en su primera versión.

#### 1.5.5.2 MACH 3 Turn

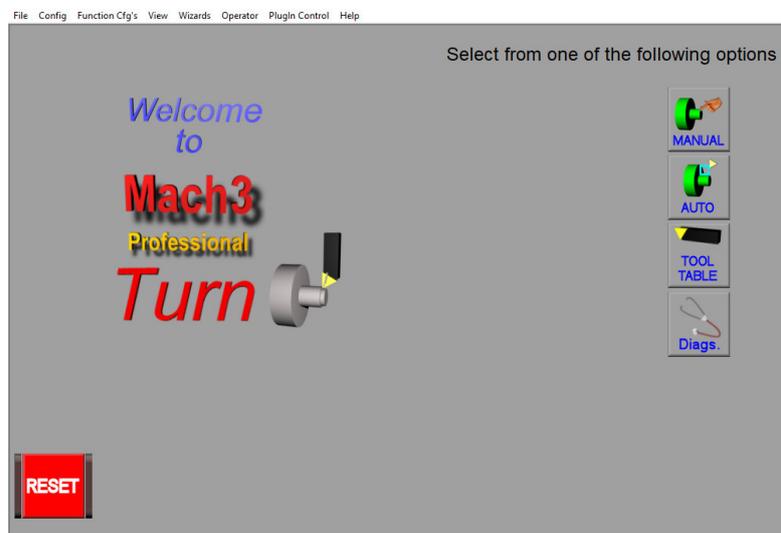


Figura 1.14. Interfaz general MACH 3.  
Fuente: (Propia)

El programa MACH 3, ver figura 1.14, es un controlador de máquina muy potente y económico que se puede ejecutar en una computadora, el cual cuenta con funciones preinstaladas que permiten programar operaciones sencillas como: cilindrado, refrentado, tronzado, etc, sin necesidad de usar un software CAD/CAM. Los datos que se pueden cargar al programa son: las dimensiones de la pieza en bruto, velocidad de giro del mandril, velocidades de corte para desbaste y afinado, etc. Como se puede observar en la figura 1.15 a la herramienta que se llama MACH Wizards (Art Soft, 2006).

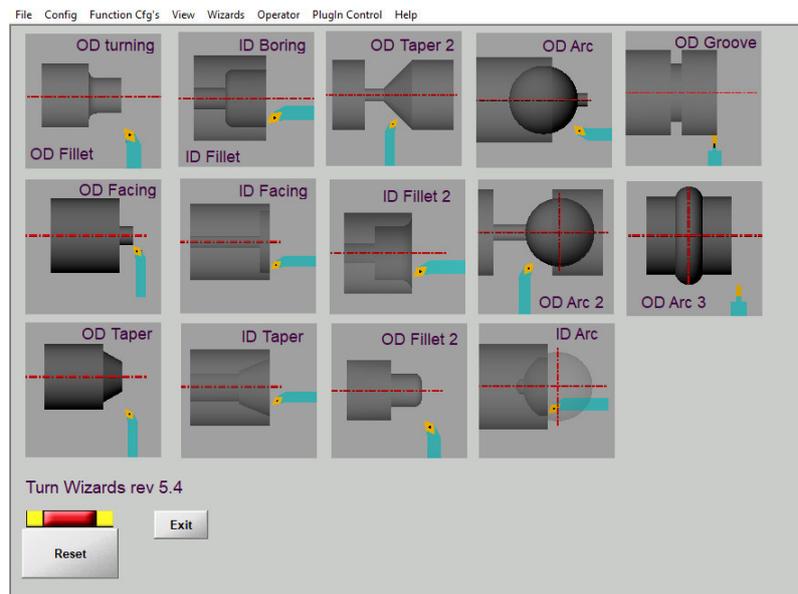


Figura 1.15. Turn Wizards rev 5.4  
Fuente: (Propia)

Los requerimientos técnicos generales son:

- Windows XP (o Windows 2000).
- Procesador de 1GHz.
- Pantalla de 1024 x 768 píxeles de resolución.

El programa MACH 3 cuenta con un asistente para operaciones de mecanizados comunes como: cilindrado interior y exterior, refrentado, entre otros.

## 1.6 Máquinas para producción de botellas

### 1.6.1 Máquinas inyectoras

Las máquinas inyectoras brindan de materia prima a los moldes que se encargan de dar forma a las piezas y enfriarlas. La materia prima utilizada pueden ser termofijos y termo plásticos. El proceso de inyección comienza elevando la temperatura para lograr que el plástico que se está utilizando se funda de tal manera que pueda fluir cuando se le aplique una determinada presión. La masa viscosa que se produce por la fundición de los gránulos

de plástico se proyecta a través de un canal que reduce de manera gradual su profundidad, todo esto se realiza con el fin de empujar toda la masa viscosa del material fundido hacia la compuerta del molde. Toda la masa viscosa pasa hacia el interior del molde para que se solidifique y pueda enfriarse. Cuando la pieza logre un estado sólido es retirada del molde para su empaque. Cuando todo este proceso se termina se vuelve al punto de inicio para continuar con el proceso de producción. Existen algunos tipos de máquinas inyectoras (Yugsi LLano, 2019) las cuales son:

- Hidráulicas.
- Eléctricas.
- Híbridas
- Micro moldeo por inyección.

### 1.6.2 Máquinas sopladoras

Las máquinas sopladoras son utilizadas para la elaboración de elementos u objetos que presentan una cavidad interna o que estén huecos, ver figura 1.16, mediante el inflado de un tubo de plástico mejor conocido como preforma. La preforma es calentada previamente antes entrar en el molde, para después inyectar aire a presión para obtener la forma de la botella. Como parte final la botella se enfría y es expulsada por el molde (Castelles & De Gracia, 2012). Los materiales más utilizados son:

- Polietileno de alta densidad.
- Polietileno de media y baja densidad.
- Tereftalato de polietileno.
- Polipropileno.



Figura 1.16. Sopladora para botellas de plástico.  
Fuente: (Propia)

## 1.7 Etapas en el proceso de producción de botellas PET

El proceso de fabricación de las botellas PET consta de varias etapas, aunque se distinguen dos etapas principales, la primera es la elaboración de la preforma mediante un proceso de alta velocidad de inyección y la segunda etapa es la elaboración de la botella por un proceso de soplado a partir de la preforma anteriormente realizada. La preforma tiene la figura similar a la de un tubo de ensayo la cual está diseñada para tomar cualquier forma y grosor. En la actualidad existen máquinas que pueden realizar estos dos procesos en la misma línea de producción. La primera fase consta en transformar la materia prima que encuentra en forma de pellets en una resina mediante la adición de calor. A continuación, se elabora la preforma a partir de la resina PET mediante el proceso de inyección, ver figura 1.17 (Castelles & De Gracia, 2012).

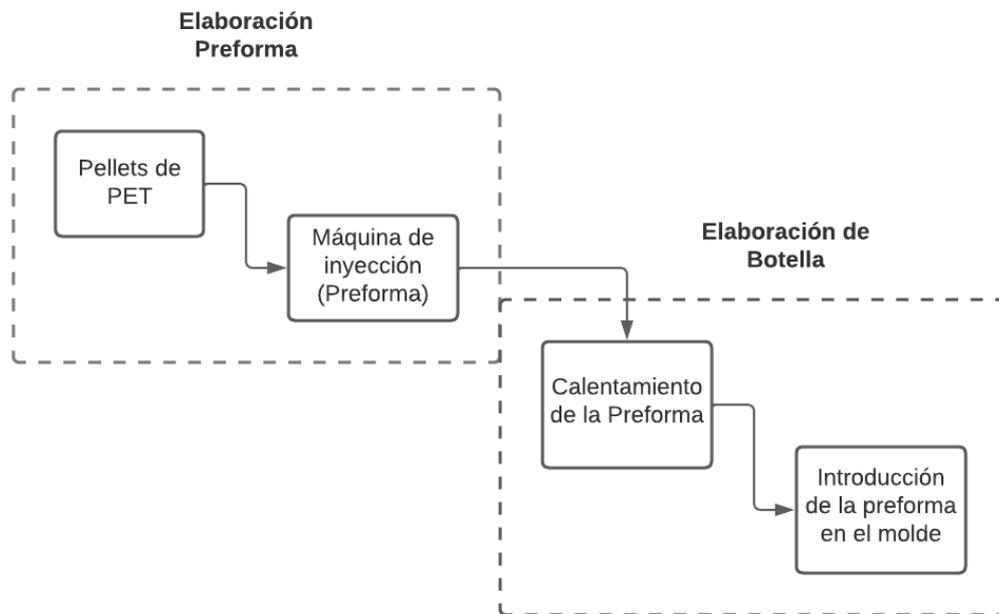


Figura 1.17. Etapas de la elaboración de botellas PET.  
Fuente: (Propia)

Para la etapa dos se comienza calentando la preforma para que tome la forma deseada del molde. Cuando la preforma se encuentra en la máquina de soplado se realiza el estiramiento y el pre soplado mediante el desplazamiento de un pistón neumático. Después se realiza el soplado final con la introducción de aire a alta presión, para después realizar la apertura del molde y la descarga de la botella, ver figura 1.18.

### **Elaboración Botella**

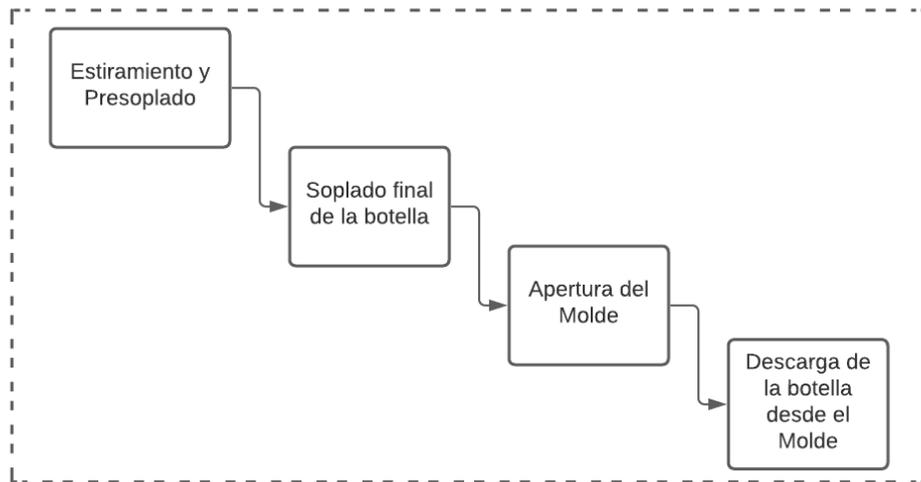


Figura 1.18. Continuación de las etapas de elaboración de las botellas PET.  
Fuente: (Propia)

## **1.7.1 Aspectos importantes en la fabricación de moldes de soplado de botellas PET**

### **1.7.1.1 Análisis del modelo de la botella**

Cuando se haya elegido el modelo definitivo de la botella, se procede con el diseño y construcción del molde a utilizar. Existen muchos aspectos para tener en cuenta en la elaboración de molde de soplado, aunque siempre el más relevante será la forma de la botella, ya que esto condiciona su localización en el molde, como también el lugar donde va a estar localizado el: sistema de refrigeración, sistema de alimentación, sistema de expulsión, etc. Actualmente en el mercado existen empresas especializadas en la elaboración de moldes, lo cual es un ahorro en el tiempo de fabricación. Aunque en resumen siempre se debe escoger el molde que más convenga con el tipo de pieza que se desea realizar (Rangel Hernández , 2018).

### **1.7.1.2 Diseño de cavidades para mecanizado**

Existen cuatro tipos de cavidades diferentes que hay que tener en cuenta, las dos primeras hacen referencia a la geometría de la botella y el asiento de esta, la siguiente son los conductos de refrigeración que pasan a través de todo el molde con el objetivo de disipar la mayor cantidad de calor, para que el material se solidifique en el menor tiempo posible. Esto ayuda a reducir el tiempo del ciclo, así como también su costo, cabe recalcar que el enfriamiento debe ser uniforme para reducir problemas de encogimiento, esfuerzos generados y de extracción de la pieza. Finalmente, tenemos los orificios donde están

localizados los pines y bujes que sirven para dar una sujeción correcta a las dos partes del molde (Yugsi LLano, 2019).

Todas estas operaciones pueden ser visualizadas en un software CAD, específicamente el Inventor Autodesk en su versión estudiantil, para posteriormente pasar a la programación del código G ayudados del programa MACH 3 Turn.

Cuando se realiza el diseño de las cavidades se debe comenzar con la selección del material del molde que se va a utilizar, el cual debe poseer unas buenas características con respecto a la conductividad térmica y a la maquinabilidad. Todas las dimensiones del bloque del material estarán condicionadas tanto por la altura de la botella y su radio máximo (Rangel, 2018).

El sistema de enfriamiento debe estar localizado de tal manera que no se cruce con ninguna arista de geometría de la botella como también este diseñado para que pueda transferir la mayor cantidad de calor posible. Finalmente, los pines y bujes deben construirse para que exista un correcto acoplamiento de las caras en donde se entran las cavidades de la botella para evitar la fuga del material cuando se esté soplando las botellas (Harper, 2006).

### 1.7.1.3 Salidas de aire

Uno de los aspectos muy importantes en el diseño de moldes es la elaboración de las salidas de aire, ver figura 1.19, que tienen por función la evacuación de los gases generados en el proceso, debido a que estos pueden producir defectos superficiales y reducir la calidad del elemento elaborado. Estas cavidades se encuentran distribuidas de manera uniforme en el asiento del molde. Para el caso particular de los moldes por soplados estos siempre deberán contar con canales o perforaciones de este tipo (Rangel, 2018)

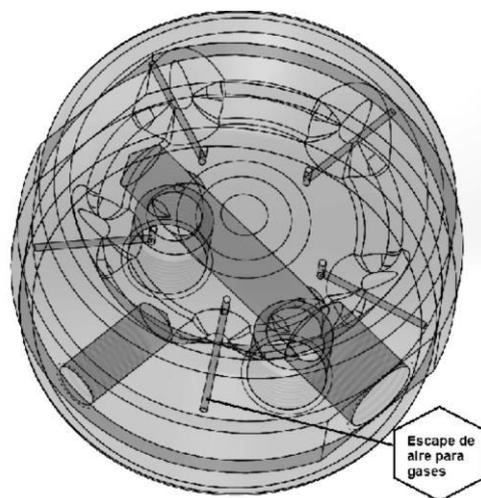


Figura 1.19. Representación de las salidas de aire en una base tipo petaloide.  
Fuente: (Rangel, 2018)

## 2 METODOLOGÍA

La fabricación del molde de soplado empezó a partir del modelado de la botella en un programa CAD con la finalidad de obtener el ensamble del molde. Para lo cual se analizó y cambió la geometría de la botella para obtener un perfil circular. Además, se debe verificar la disponibilidad de las herramientas para mecanizar. Al obtener un prototipo definido se procedió a comprar el material y se preparó el mismo, para ser mecanizado una vez que se obtuvo el código G de todas las partes y seguidamente se mecanizó en el torno CNC de la empresa Molplastic.

Al obtener las partes del molde, se pasó a la etapa de pulido de la cavidad interna del molde. Además, se debe realizar un tratamiento térmico a los elementos de acople y tratamiento superficial a la base del molde para evitar su corrosión. Finalmente, se procedió a ensamblar el molde y se realizó las pruebas de soplado en máquinas de la misma empresa, como se puede observar en la figura 2.1.

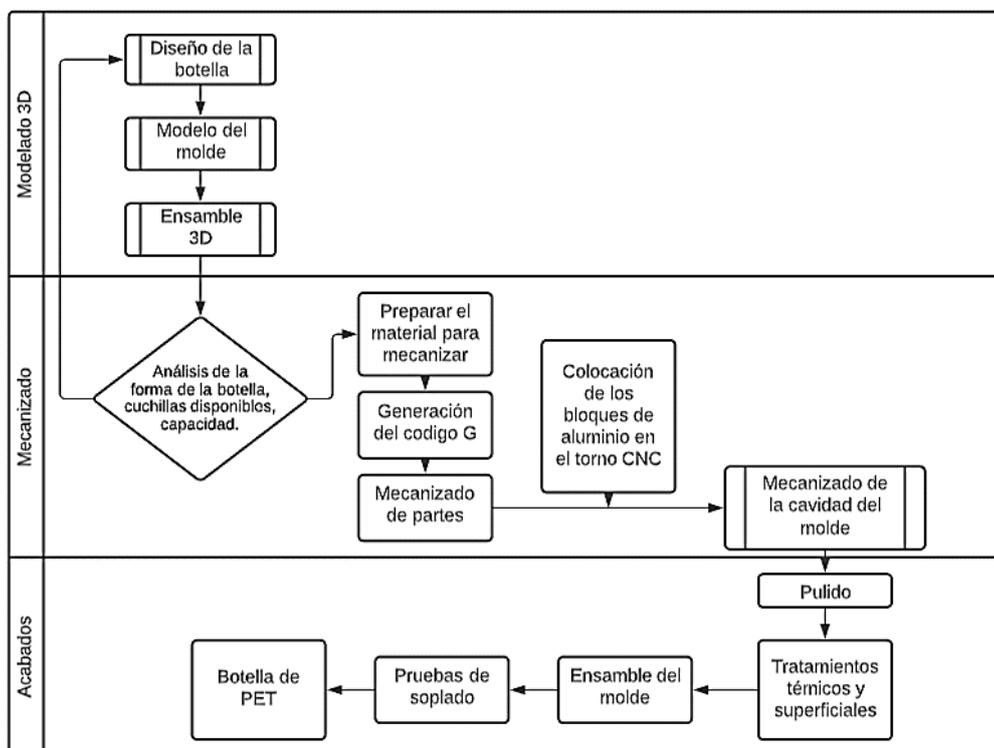


Figura 2.1. Metodología para la fabricación de un molde.  
Fuente: (Propia)

Progresivamente se obtuvieron las muestras de botellas y se analizaron, compararon con el prototipo obtenido con el fin de obtener datos, estos resultados servirán para la

fabricación de los siguientes moldes mecanizados en un torno CNC de la empresa Molplastic.

## 2.1 Modelado de la matriz

### 2.1.1 Prototipado

Para fabricar el molde primeramente se diseñó una botella cilíndrica Figura 2.2 con el objetivo de poder ser maquinada en el torno CNC. Las medidas y especificaciones técnicas de la botella se pueden observar en el Anexo 1.



Figura 2.2. Modelo de la botella a obtener.  
Fuente: (propia)

El modelo de la botella se realizó en el programa Autodesk Inventor 2022. Las características principales que debe cumplir el envase, es que debe contener 500 [ml] a una determinada altura y fue soplado con una preforma pico corto de 17 [g].

El diseño del modelo de la botella que se obtuvo es propiedad de la Empresa MOLPLASTIC, al fabricar el molde se empezará la producción en masa de las botellas con el diseño establecido para entregar a la Empresa Splendor la cual se dedica a envasar agua con gas y sin gas.

### 2.1.2 Molde 3D

Una vez definido el prototipo de la botella se procedió a obtener el molde de la misma y todas las partes que conlleva el molde: pines y bujes, asiento del molde, salidas de aire y sistema de refrigeración

En esta etapa se analizó la disponibilidad de herramientas, geometría, dimensiones del molde ya que cualquier parámetro en este punto se lo puede cambiar y ver cómo afecta a todo el ensamble del molde para no tener algún problema el momento de maquinar y ensamblar el molde

### 2.1.3 Cuerpo del molde.

La parte más grande y principal es el cuerpo del molde Figura 2.3. ya que esta contiene la cavidad del molde y es en la que se ensambló todas las partes del mismo. El material del cuerpo del molde es de duraluminio (aluminio 7075), el cual se va a adquirió en la empresa BÖHLER ECUADOR. Las dimensiones del molde se pueden ver en el Anexo 2 y la ficha técnica se detalla en el Anexo 8.



Figura 2.3. Cuerpo del molde.  
Fuente: (propia)

### 2.1.4 Asiento o base del molde

Este elemento puede variar de acuerdo al diseño de la botella, dependiendo del tamaño del molde y la máquina en el que va a trabajar ya que puede ir ensamblado en el molde o puede ir sujeto a la base de la máquina. El asiento del molde debe soportar la fuerza y presión el momento que esté trabajando ya que va estar en un constante contacto con la varilla de estiramiento por lo que se fabricó en el mismo material del cuerpo del molde duraluminio (aluminio 7075), esto también se le puede fabricar de acero M201, pero debido a costos se lo fabricara en duraluminio.

Para el diseño escogido, el asiento estará ensamblado en la máquina y además se lo fabricó en el torno CNC Figura 2.4, posteriormente se realizó las salidas de aire. Las dimensiones se las puede ver en el Anexo 3.



Figura 2.4. Asiento del molde.  
Fuente: (propia)

### 2.1.5 Bases del asiento

El tamaño de la botella es una variable importante al momento de diseñar el molde, ya que las dimensiones del molde van a variar según el tamaño de la botella, además de la forma en que se va a mecanizar (Figura 2.5).

Con el fin de evitar que el molde sea demasiado largo, al momento de mecanizar en el torno se decidió realizar en dos partes para facilitar el mecanizado, posteriormente este fue ensamblado con el cuerpo del molde con la ayuda de pernos. El material en el que se fabricó es de acero A36, estos elementos también pueden ser fabricados en acero M201 o en duraluminio debido a costos y maquinabilidad se seleccionó el acero A36. Las medidas de este elemento se pueden ver en el Anexo 4 y la ficha técnica del material en el Anexo 10.

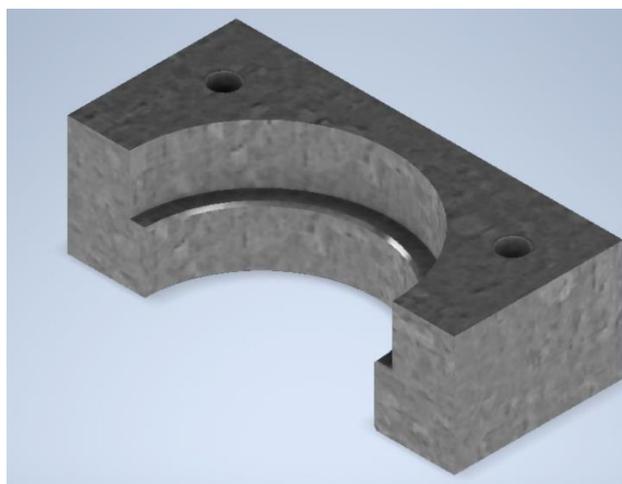


Figura 2.5. Base del asiento.  
Fuente: (propia)

### 2.1.6 Pines y bujes

Como se puede ver un molde de soplado está formado por el cuerpo el cual está constituido de dos placas, las cuales al unir las forman la cavidad del molde. La unión de estas dos placas se logra gracias a elementos de sujeción o acople los cuales se los conoce como pines y bujes Figura 2.6. Estos elementos están sometidos a un constante deslizamiento al momento de apertura y cierre del molde por lo que se fabricó de acero M201 y posteriormente se realizó un tratamiento térmico para aumentar la dureza previniendo así el desgaste al momento de trabajar. Las medidas de los pines, bujes se los puede ver en el Anexo 5, 6 respectivamente y la ficha técnica del material M201 en el Anexo 9.

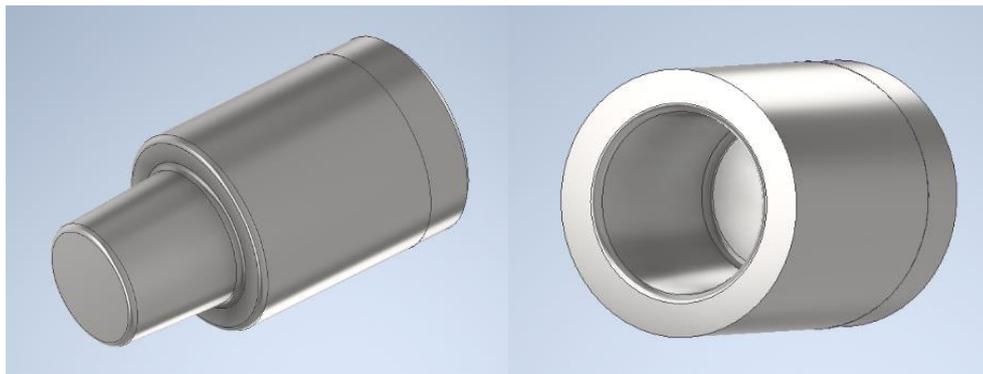


Figura 2.6. Pines y bujes del molde.  
Fuente: (Propia)

### 2.1.7 Sistema de refrigeración

Para que la preforma de PET adquiera la forma del molde, esta debe calentarse y así posteriormente adquirir la forma del molde. En el proceso en el que la preforma entra al horno esta se calienta y sale a alrededor de 70° [C] seguidamente se coloca la preforma en el molde, se sopla la preforma y se obtiene la botella.

El molde al inicio del proceso de soplado se va a encontrar a una temperatura ambiente, pero la preforma va a estar a una temperatura mayor por lo que el calor de la preforma se va a transferir por conducción al molde, debido a ello, es necesario un sistema de refrigeración para poder mantener el molde a una temperatura constante menor a la de la preforma.

El sistema de refrigeración del molde consta de una entrada, una salida y perforaciones internas por las cuales va a circular agua fría con el fin de enfriar el molde Figura 2.7. Si el molde llegara a calentarse en el proceso de soplado, las botellas no se formarían correctamente. Las dimensiones del sistema de refrigeración se las puede ver en el Anexo 2.

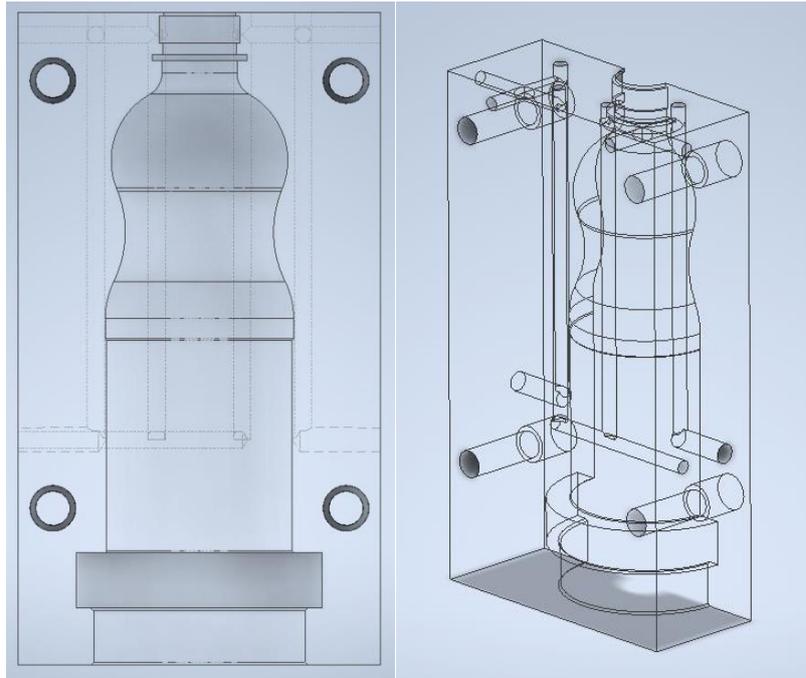


Figura 2.7. Sistema de refrigeración.  
Fuente: (Propia)

### 2.1.8 Ensamble 3D

Finalmente, como se puede ver en la figura 2.8 se obtuvo el ensamble del molde, en esta etapa se pudo ver si al momento de ensamblar el molde este tendrá algún problema, es decir que no choquen las partes entre sí o que se realicen perforaciones incorrectas, todo el ensamble y lista de elementos del molde se puede ver en el Anexo 7.

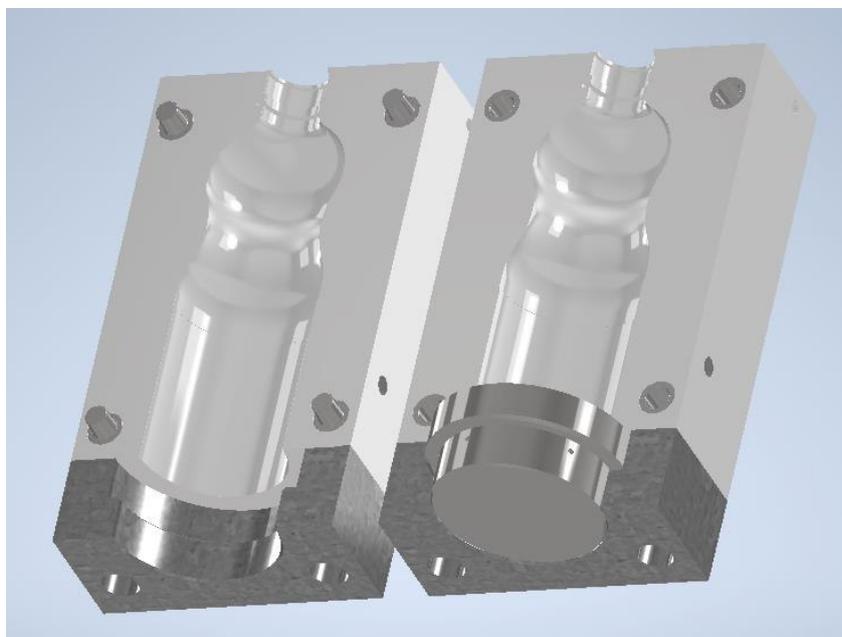


Figura 2.8. Ensamble del molde .3D.  
Fuente: (Propia)

## 2.2 Generación de códigos G para mecanizado

Para poder mecanizar cada uno de los elementos que constituyen el molde se utilizó cuchillas de cilindrado, cuchillas de cilindrado interior las cuales se detalla a continuación con sus respectivas velocidades.

### 2.2.1 Herramientas

Para el mecanizado se utilizó las siguientes herramientas teniendo en cuenta que el torno a utilizar llega a una velocidad máxima de 1200 [RPM]. La ficha técnica del inserto a utilizar se encuentra en el Anexo 11.

Tabla 2.1. Herramientas a utilizar en el torno CNC.

Uso	Herramienta	Inserto	Porta herramienta
Desbaste y acabado	Cilindrado externo	VNMG 12T304-NF	SVJNR 16-2.5F
			
Desbaste y acabado	Cilindrado interior	VNMG 12T304-NF	A25R SVUNR-12
			

Fuente: (propia)

El torno que se utilizó no dispone de una torreta con múltiples herramientas, por lo que cada herramienta se colocó en una torreta fija y al terminar de usar de usar una herramienta, se cambió de herramienta y se enceró nuevamente, para encerar la herramienta se procedió a topar el material a mecanizar en los ejes X y Z y grabar la posición con la medida del material en cada eje respectivamente, se mecanizó una parte del material y se comprobó la medida final con la medida que se colocó en la programación si esta es la misma no se realizó ningún cambio mientras que si este valor no es el mismo se colocó la medida real Figura 2.9.

Para encerar cada herramienta se procedió a ir a la opción de tool table del programa MACH 3 Figura 2.9.

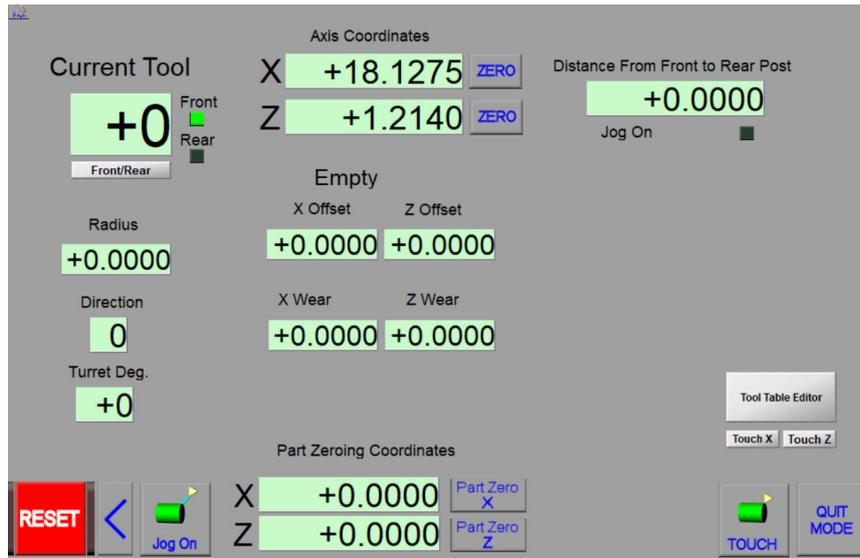


Figura 2.9. Tool table.  
Fuente: (Propia)

## 2.2.2 Código G

Los códigos obtenidos para mecanizar cada elemento son diferentes a los que se usan en otras máquinas CNC, debido al controlador que tiene instalado.

MACH 3 es el controlador del torno a utilizar y los códigos se los obtendrá con el asistente del controlador y en algunos códigos se programará desde cero ya que el asistente del controlador también tiene sus limitaciones.

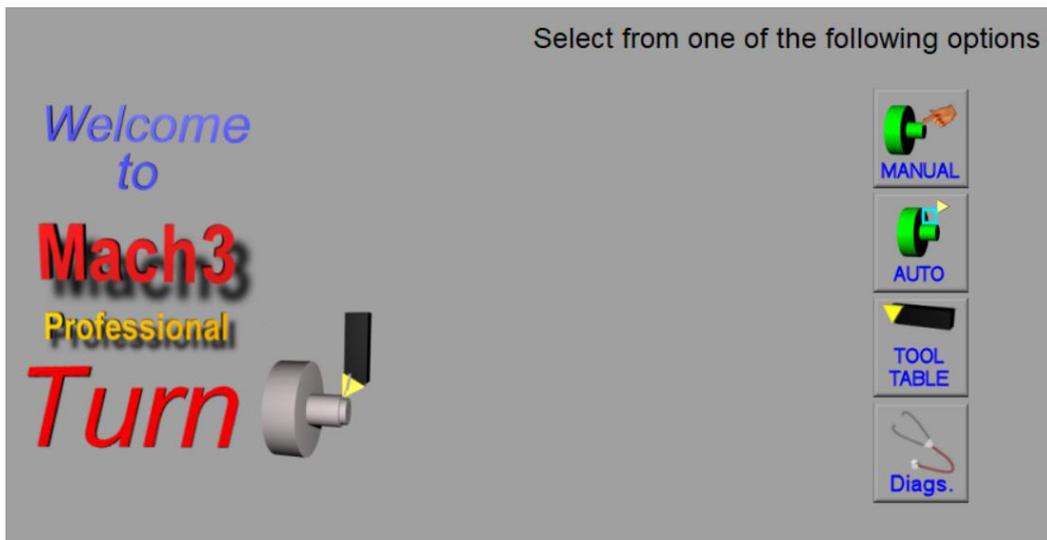


Figura 2.10. Pantalla principal del controlador MACH 3.  
Fuente: (Propia)

El asistente de MACH 3 tiene algunas configuraciones de operaciones básicas para mecanizar, en cada operación se ingresó valores de acuerdo a las dimensiones requeridas

y posteriormente se obtuvo el código G de la operación deseada. También ayudó a obtener el código G de una forma más didáctica y rápida Figura 2.11.

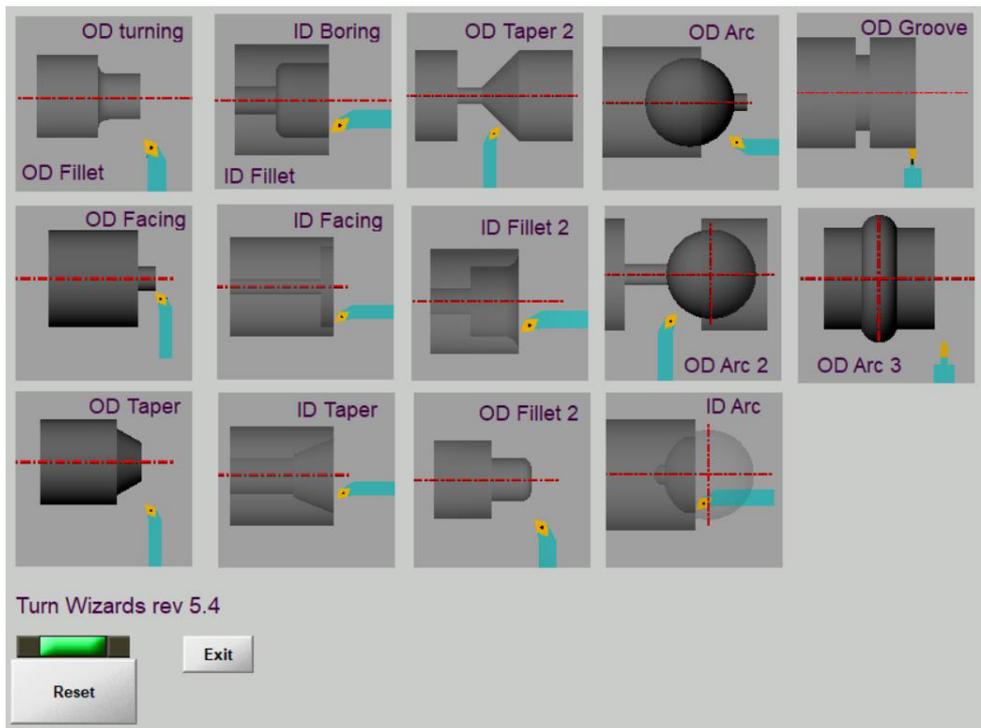


Figura 2.11. Operaciones básicas de MACH 3.  
Fuente: (Propia)

Se obtuvo el código G de cada operación que se utilizó y se procedió a unir todas las operaciones en un solo archivo de formato .txt. Al archivo se le agregó varias líneas de inicio del programa como el fin del mismo, se comprobó que el programa obtenido esta correcto ejecutándose en el ciclo automático del programa MACH 3 y se puede ver el perfil a obtener como también el tiempo de mecanizado y si este programa tuviera caracteres especiales o códigos que no reconozca el controlador el programa no se ejecutará.

### 2.2.2.1 Pines y bujes

- PINES

El programa obtenido en código G para el mecanizado de los pines se programó tomando en cuenta los siguientes aspectos: velocidad máxima 1200 [RPM], inserto VNMG 12T304-NF Anexo 11.

Los parámetros de corte que se utilizó son acordes a las características técnicas a la que debe trabajar el inserto.

A continuación, se muestra el código G obtenido para mecanizar los pines:

G18 G40 G49 G90 G94	G0 X10.001 Z-32.199	G1 X9.301
G80 G21	G0 Z-0.199	G0 Z-0.199
S800 M3 M8	G0 X8.8	F100
G4 P5	G0 Z-0.199	G1 X5.46
M6 T0101	G1 Z-32.7	G1 X5.9996 Z-11
G0 X50 Z50	G1 X10.801	G1 X9.301
G0 X10.301 Z0.301	G0 Z-0.199	G0 Z-0.199
F125	F125	G0 Z-0.5
G0 Z-0.3	G0 X8.5	G0 X4.524
G1 X0.3F125	G1 Z-33	F100
G0 Z0.301	G1 X10.801	G1 Z-1
G0 X10.301	G0 Z-0.199	G02 X5.024 Z-1.475 I0 K-
G0 Z-0.6	G0 X9.301 Z-0.199	0.5
G1 X0.3F125	F125	G1 X5.5 Z-11
G0 Z0.301	G0 X7.659	G1 X7.5
G0 X10.301	G1 X8.1836 Z-10.7	G02 X8 Z-11.5 I0 K-0.5
G0 Z-0.7	G1 X9.301	G1 Z-27
G1 X0.3F125	G0 Z-0.199	G1 X7.95
G0 Z0.301	G0 X6.858	G1 Z-33
G0 X10.301	G1 X7.3826 Z-10.7	G1 X10
G0 Z-1	G1 X9.301	G0 Z1
F100	G0 Z-0.199	G0 X50 Z50
G1 X0	G0 X6.057	M5 M9 M70
G0 Z0.301	G1 X6.5816 Z-10.7	G4 P1
G0 X10.801 Z-0.199	G1 X9.301	M71
F125	G0 Z-0.199	M30
G0 X9.2	G0 X5.76	
G1 Z-32.7	G1 X6.2846 Z-10.7	

El código G obtenido tiene en el encabezado la primera línea el lenguaje y los códigos que usa el torno CNC, unidades a utilizar [mm], el sistema o plano de coordenadas, entre otros, estos códigos se los puede ver en la Tabla 1.3. Siguiendo el orden de los códigos, en la siguiente línea se insertó las revoluciones a las que va a girar el mandril a la par, con el comando M3 se enciende el usillo y el refrigerante con el comando M8.

En la tercera línea tiene un comando de G4 P5 el cual es un tiempo de pausa para seguir leyendo cada línea del código, con lo que el programa entra en pausa un lapso de 5 segundos esto ayuda a que el mandril alcance las revoluciones seleccionadas. La cuarta línea indica que se va a trabajar con la herramienta 1, y seguidamente la quinta línea G0 X50 Z50 indicó que lleve la herramienta a la posición indicada ya que esta coordenada ubica a la herramienta en la posición segura.

Estas 5 primeras líneas siempre van a estar en cada programa y las cuales se las debe escribir manualmente, después de esta línea ya inició el código en el cual va a trabajar la herramienta con una velocidad de avance de 125 y 100 [mm/min] para el desbaste y

acabado respectivamente, un aspecto importante es la profundidad de corte en cada pasada la elegida para mecanizar es de 0,8 [mm] y la parte del acabado se la programó manualmente sin ayuda del asistente del controlador en la que el código mecanizó el perfil final con una profundidad de corte de 0,5 [mm] es decir una sola pasada para el acabado.

Finalmente, al terminar de mecanizar, la herramienta se dirigió a la posición segura, se apagó el husillo, se apagó el refrigerante y se encendió la alarma la cual indica que terminó de mecanizar, esta alarma sonó 1 [s] y se apagó la alarma al terminar la pausa, seguidamente el programa se reiniciará y regresó a la primera línea.

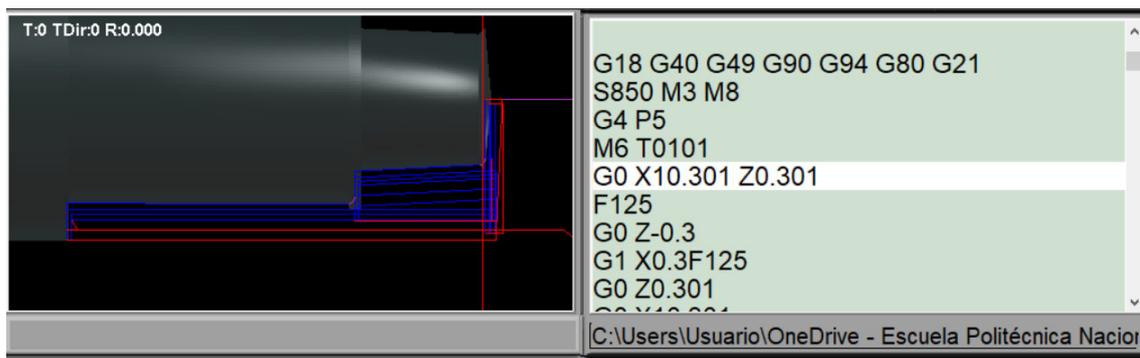


Figura 2.12. Simulación del mecanizado de pines.  
Fuente: (Propia)

El programa obtenido se lo ejecutó en el ciclo automático Figura 2.12. y duró 5 minutos en mecanizar.

- BUJES

El código obtenido tiene la misma estructura que el código para mecanizar los pines, con la diferencia que, en este mecanizado se utilizó dos herramientas, que a continuación se explica.

En las cinco primeras líneas se estableció el lenguaje del controlador, velocidad del husillo, encendido del husillo en sentido horario, encendido del sistema de refrigeración, el tiempo de pausa hasta que le husillo adquiriera las revoluciones programadas, selección de la primera herramienta a utilizar y rápidamente la cuchilla se movió a la posición segura.

Las siguientes líneas del código son los desbastes con los siguientes parámetros de corte: velocidad de avance de desbaste F125 y afinado F100 [mm/min], profundidad de corte de

cada pasada 0,8 [mm], la pasada final se la programó manualmente, obteniendo un perfil del buje. Una vez terminada de mecanizar la herramienta T0101 volvió a la posición segura y se cambió a la herramienta T0202 moviendo esta herramienta a la posición segura, seguidamente empezó a realizar el cilindrado cónico del buje. Teniendo en cuenta previamente que el eje debe estar perforado con una broca de diámetro de 9,5 [mm] para evitar que la cuchilla pierda su filo al mecanizar un eje sólido.

Seguidamente, se muestra el código G obtenido para mecanizar los bujes:

G18 G40 G49 G90 G94 G80	G0 Z-0.199	G1 X-0.801
G21	G1 Z-23.7	G0 Z-0.199
S800 M3 M8	G1 X10.801	G0 X3.244
G4 P5	G0 Z-0.199	G1 X2.6445 Z-12.199
M6 T0101	F125	G1 X-0.801
G0 X50 Z50	G0 X8.5	G0 Z-0.199
G0 X10.301 Z0.301	G1 Z-24	G0 X4.045
F125	G1 X10.801	G1 X3.4455 Z-12.199
G0 Z-0.3	G0 Z-0.199	G1 X-0.801
G1 X0.3F125	G0 X7.5	G0 Z-0.199
G0 Z0.301	G1 Z-1	G0 X4.239
G0 X10.301	G02 X8 Z-1.5 I0 K-0.5	G1 X3.6395 Z-12.199
G0 Z-0.6	G1 Z-17	G1 X-0.801
G1 X0.3F125	G1 X7.95	G0 Z-0.199
G0 Z0.301	G1 Z-24	F50
G0 X10.301	G1 X10	G0 X5.04
G0 Z-0.7	G0 Z5	G1 X4.4005 Z-13
G1 X0.3F125	M6 T0202	G1 X-0.801
G0 Z0.301	G0 Z5	G0 Z-0.199
G0 X10.301	G0 X-0.801 Z-0.199	G0 X5.976
G0 Z-1	F50	G1 Z-1
F100	G0 X0.841	G03 X5.476 Z-1.5 I0 K-0.5
G1 X0	G1 X0.2415 Z-12.199	G1 X4.9 Z-13
G0 Z0.301	G1 X-0.801	G1 X0
G0 X10.801 Z-0.199	G0 Z-0.199	G0 Z5
F125	G0 X1.642	G0 X50 Z50
G0 X9.2	G1 X1.0425 Z-12.199	M5 M9 M70
G1 Z-23.7	G1 X-0.801	G4 P1
G0 X10.001 Z-23.199	G0 Z-0.199	M71
G0 Z-0.199	G0 X2.443	M30
G0 X8.8	G1 X1.8435 Z-12.199	

Al terminar de mecanizar la herramienta T0202, esta misma volvió a la posición segura. Consecutivamente, en las últimas cinco líneas se apagó el husillo, se apagó el sistema de refrigeración, se encendió la alarma por 1 [s], luego se apagó la misma transcurrido este tiempo. Finalmente, el programa regresó a la primera línea para empezar a mecanizar nuevamente.

El código obtenido se lo ejecutó en el modo automático del programa MACH 3, ejecutándose sin ningún error como se puede observar en la Figura 2.13, este código en ejecutarse se demoró aproximada mente 8 [min].

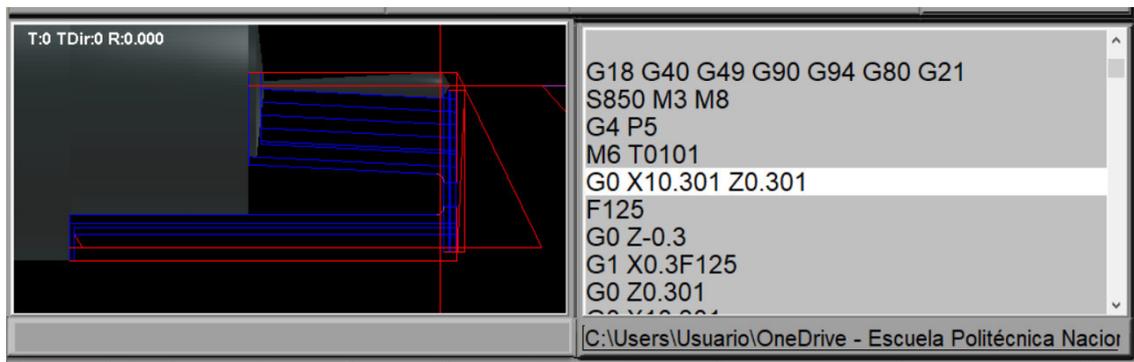


Figura 2.13. Simulación de mecanizado de bujes.  
Fuente: (Propia)

### 2.2.2.2 Asiento del molde

El código del asiento del molde se lo obtuvo utilizando el asistente de MACH 3, en las cinco primeras líneas se estableció el lenguaje del controlador, velocidad del husillo, encendido del husillo en sentido horario, encendido del sistema de refrigeración, el tiempo de pausa hasta que el husillo adquiriera las revoluciones programadas, selección de la primera herramienta a utilizar y rápidamente la cuchilla se movió a la posición segura.

Las próximas líneas del código son los desbastes con los siguientes parámetros de corte: velocidad de avance de desbaste F125 y afinado F100 [mm/min], una profundidad de corte de cada pasada 0,8 [mm], la pasada final se la programó manualmente con 850 [RPM], profundidad de corte de 0,1 [mm] y un avance de F100 [mm/min]. Una vez terminada de mecanizar la herramienta T0101 volvió a la posición segura y se cambió a la herramienta T0202 moviendo esta herramienta a la posición segura, seguidamente empezó a mecanizar. El asiento del molde se lo mecanizó en dos partes primeramente la parte de la cavidad del asiento, una vez terminada esta parte se colocó el eje con la parte mecanizada en el mandril para poder mecanizar la parte posterior del asiento. Seguidamente, se muestra el código G utilizado para mecanizar el asiento del molde en el Anexo 12.

Al terminar de mecanizar la herramienta T0202, esta misma volvió a la posición segura. Seguidamente, en las últimas cinco líneas se apagó el husillo, se apagó el sistema de refrigeración, se encendió la alarma por 1 [s], luego se apagó la misma transcurrido este tiempo. Finalmente, el programa regresó a la primera línea para empezar a mecanizar nuevamente.

El código obtenido se lo ejecutó en el modo automático del programa MACH 3, ejecutándose sin ningún error como se puede observar en la Figura 2.14., este código en ejecutarse se demoró 40 [min].

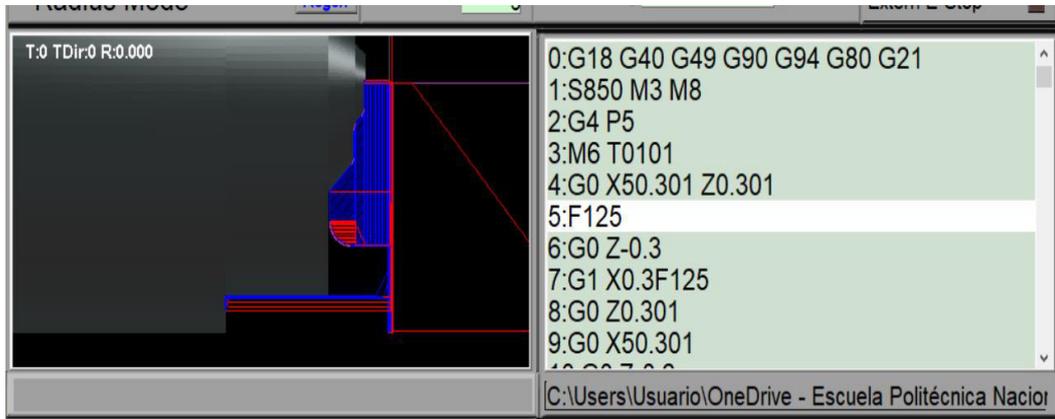


Figura 2.14. Simulación del mecanizado del asiento del molde.

Fuente: (Propia)

El asiento del molde se lo mecanizó en dos partes primeramente la parte de la cavidad del asiento, una vez terminada esta parte se colocó el eje con la parte mecanizada en el mandril para poder mecanizar la parte posterior del asiento.

Seguidamente, se muestra el código G utilizado para mecanizar la parte posterior del asiento del molde:

```

G18 G40 G49 G90 G94 G0 X43.601 Z-0.199 G1 Z-20.7
G80 G21 F125 G0 X38.801 Z-20.199
S800 M3 M8 G0 X42 G0 Z-0.199
G4 P5 G1 Z-20.7 G0 X37.2
M6 T0101 G0 X42.801 Z-20.199 G1 Z-20.7
G0 X50.301 Z0.301 G0 Z-0.199 G0 X38.001 Z-20.199
F125 G0 X41.2 G0 Z-0.199
G0 Z-0.3 G1 Z-20.7 G0 X36.8
G1 X0.3F125 G0 X42.001 Z-20.199 G0 Z-0.199
G0 Z0.301 G0 Z-0.199 G1 Z-20.7
G0 X50.301 G0 X40.4 G1 X43.601
G0 Z-0.6 G1 Z-20.7 G0 Z-0.199
G1 X0.3F125 G0 X41.201 Z-20.199 F100
G0 Z0.301 G0 Z-0.199 G0 X35.5
G0 X50.301 G0 X39.6 G1 Z-1
G0 Z-0.7 G1 Z-20.7 G1 X36.5 Z-2
G1 X0.3F125 G0 X40.401 Z-20.199 G1 Z-21
G0 Z0.301 G0 Z-0.199 G1 X40.8
G0 X50.301 G0 X38.8 G1 X42.8 Z-22.15
G0 Z-1 G1 Z-20.7 G1 X43.601
F100 G0 X39.601 Z-20.199 G0 Z-0.199
G1 X0 G0 Z-0.199 G0 Z5
G0 Z0.301 G0 X38 G0 X50 Z50

```

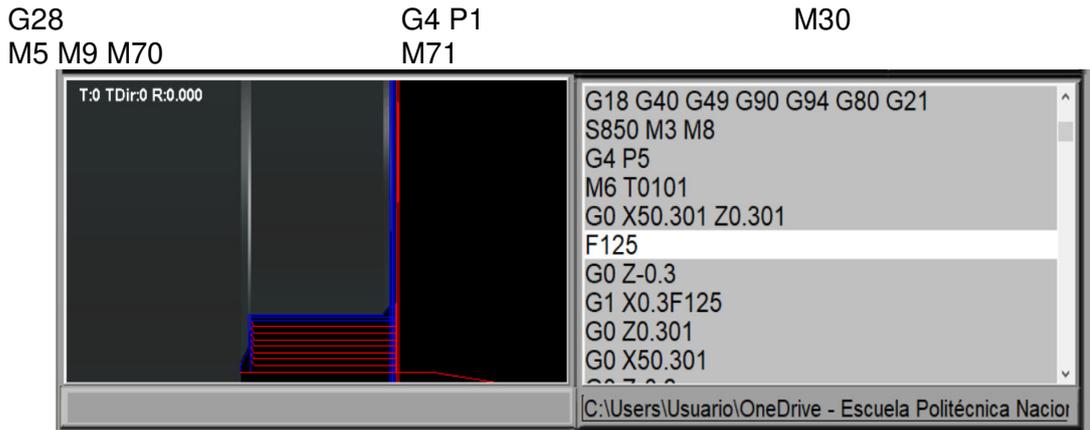


Figura 2.15. Simulación del mecanizado de la parte posterior del asiento.  
Fuente: (Propia)

### 2.2.2.3 Base del asiento

El código de la base del asiento se lo obtuvo utilizando al asistente de MACH 3, las cinco primeras líneas se estableció el lenguaje del controlador, velocidad del husillo, encendido del husillo en sentido horario, encendido del sistema de refrigeración, el tiempo de pausa hasta que le husillo adquiriera las revoluciones programadas, selección de la primera herramienta a utilizar y rápidamente la cuchilla se movió a la posición segura.

Las próximas líneas del código son los desbastes con los mismos parámetros que se ha venido trabajando, con la ayuda del asistente y la pasada final se programó manualmente. Una vez terminada de mecanizar la herramienta T0202 volvió a la posición segura. Teniendo en cuenta previamente que las placas deben estar perforadas con una broca de diámetro de 31 [mm] para evitar que la cuchilla pierda su filo al mecanizar un eje sólido y optimizar tiempo de mecanizado. Seguidamente, se muestra el código G que se utilizó para mecanizar la base del asiento del molde, ver el Anexo 13.

Seguidamente, en las últimas cinco líneas se apagó el husillo, se apagó el sistema de refrigeración, se encendió la alarma por 1 [s], luego se apagó la misma transcurrido este tiempo. Finalmente, el programa regresó a la primera línea para empezar a mecanizar nuevamente si fuese necesario. El código obtenido se lo ejecutó en el modo automático del programa MACH 3 y se ejecutó sin ningún error como se puede observar en la Figura 2.16., este código en ejecutarse se demoró aproximadamente 45 [min].

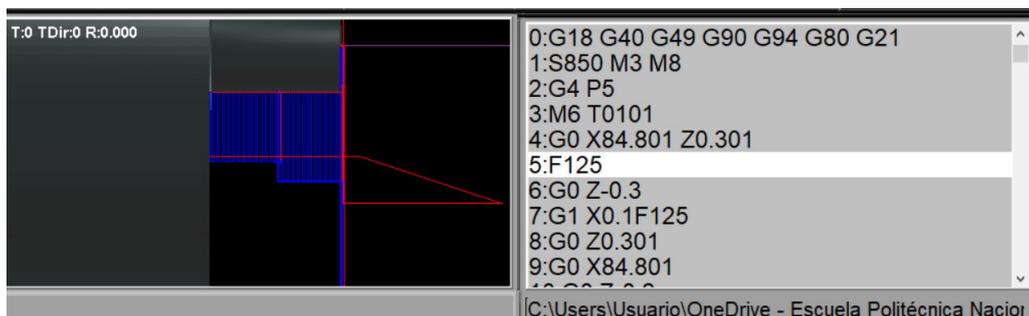


Figura 2.16. Simulación del mecanizado de la base del asiento.  
Fuente: (Propia)

#### 2.2.2.4 Cavity interna del molde

Para mecanizar la cavidad interna del molde, primero se realizó una serie de perforaciones para optimizar tiempo en el desbaste, estas perforaciones se las realizó como se indica en la Figura 2.17. Toda operación del desbaste a realizar no debe sobrepasar el perfil de la cavidad interna, por lo cual cada operación del desbaste se la obtuvo considerando las medidas del perfil, ver Figura 2.18.

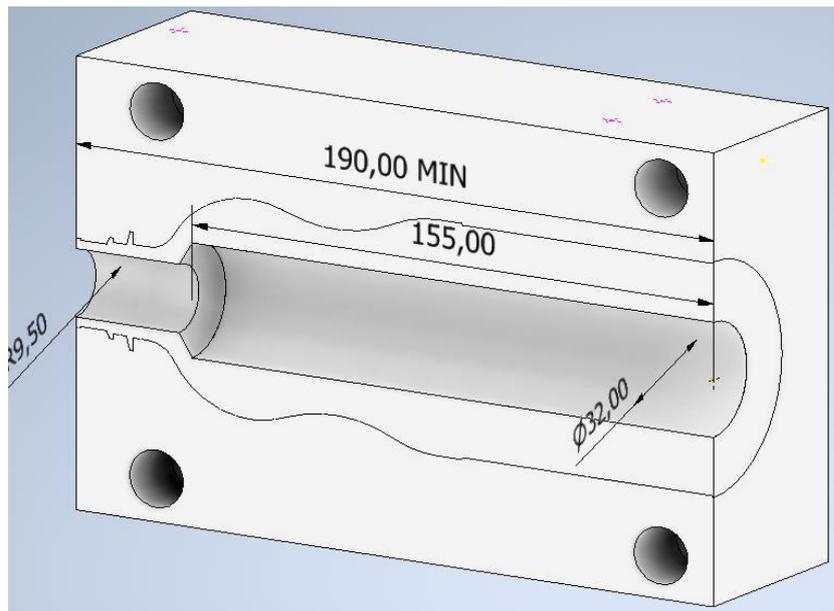


Figura 2.17. Perforaciones en los bloques de duraluminio.  
Fuente: (Propia)

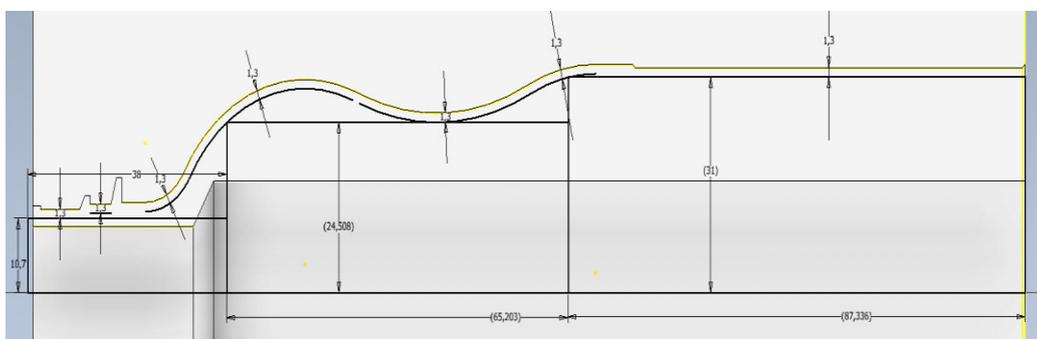


Figura 2.18. Medidas de cilindrado interior de acuerdo al perfil.  
Fuente: (Propia)

El desbaste de la cavidad interna se lo realizó desde el diámetro más grande al más pequeño para ayudar a la salida de la viruta, la primera operación de desbaste se la puede observar en la Figura 2.19., la cual indica las dimensiones del cilindrado interior.

Seguidamente, se procedió a la segunda operación de desbaste, la cual es un cilindrado interior Figura 2.20., sin llegar a topar el perfil final de la cavidad.

Estas operaciones se las realizó con una cuchilla de interiores y esta operación de cilindrado interior se la realizó de manera radial para que la viruta salga con facilidad ya que si se trabaja de manera longitudinal la viruta puede quedar atrapada entre el material y la cuchilla.

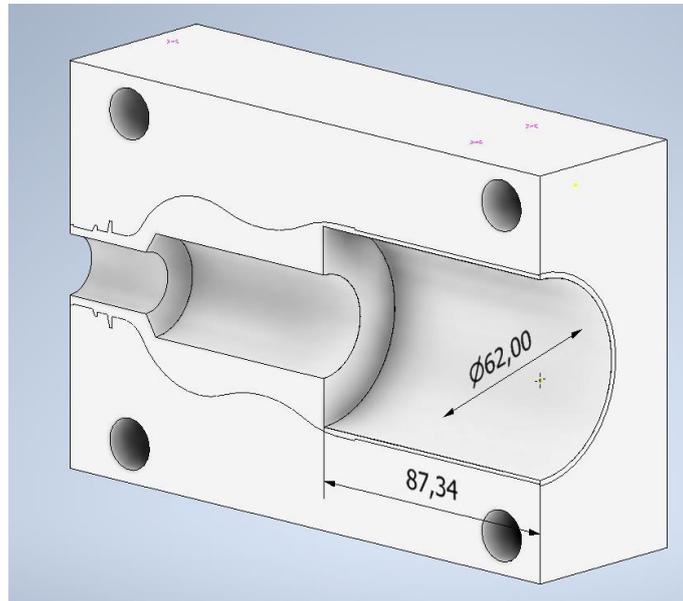


Figura 2.19. Desbaste, cilindrado interior N°1.  
Fuente: (Propia)

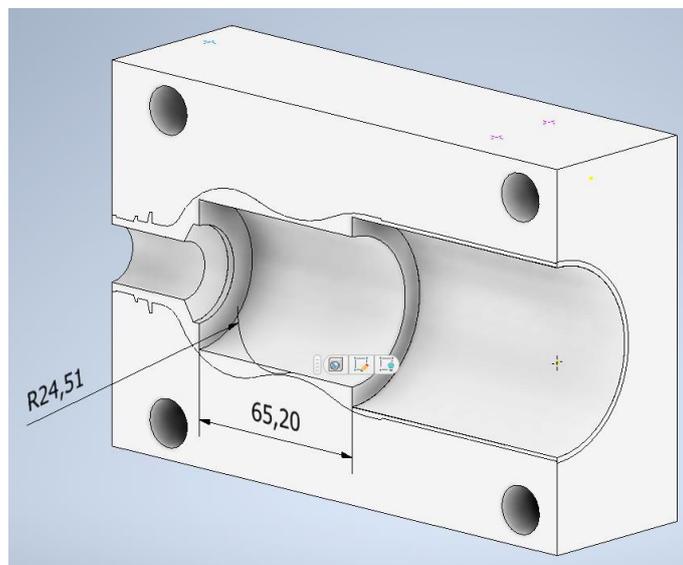


Figura 2.20. Desbaste, cilindrado interior N°2.  
Fuente: (Propia)

Para el último desbaste interior, se procedió a mandrinar la cavidad del pico de la botella, como se puede ver en la Figura 2.21. Una vez terminada la operación se procedió a un cilindrado cónico con el fin de desbastar y poder llegar al perfil de la cavidad Figura 2.22.

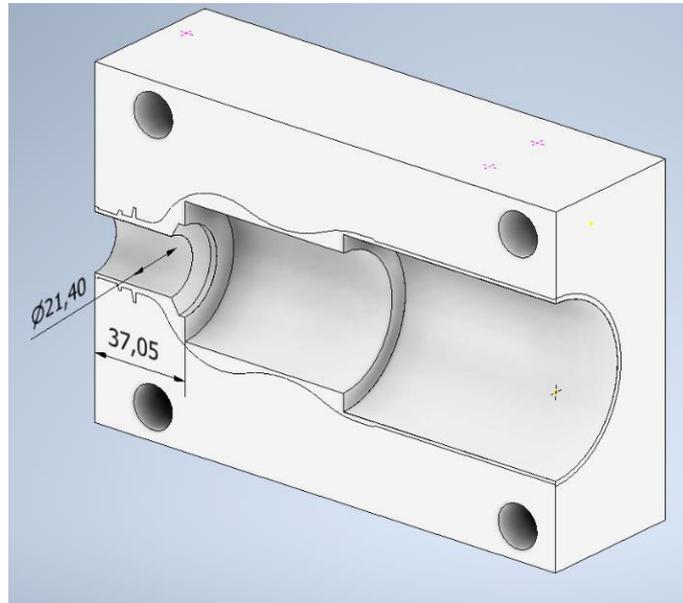


Figura 2.21. Desbaste, cilindrado interior N°3.  
Fuente: (Propia)

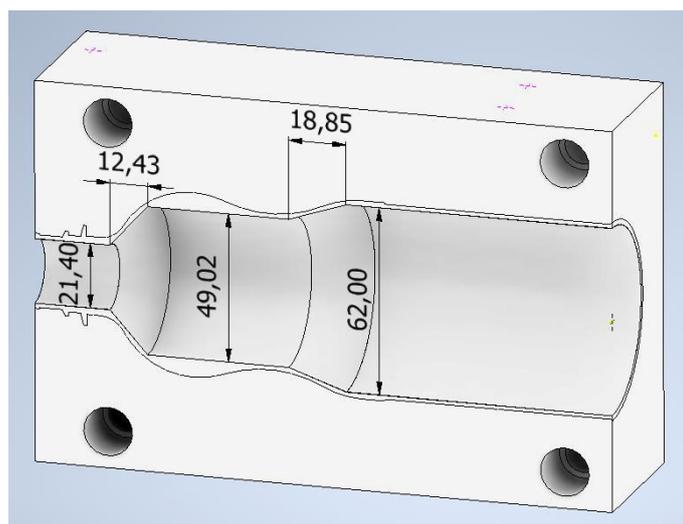


Figura 2.22. Desbaste, cilindrado cónico.  
Fuente: (Propia)

El asistente del MACH 3, tiene sus limitaciones al no realizar operaciones diversas, por lo que el último desbaste es una curva, la cual se programó manualmente, una vez obtenido el orden en el cual se va a desbastar la cavidad interna del molde se procedió a obtener

los códigos G, con el asistente de MACH 3 Figura 2.23. En la cual se puede ver todas las operaciones de desbaste y el perfil de la cavidad teniendo en cuenta que cada una de estas no puede llegar al perfil y después se ejecutó manualmente el código de afinado.

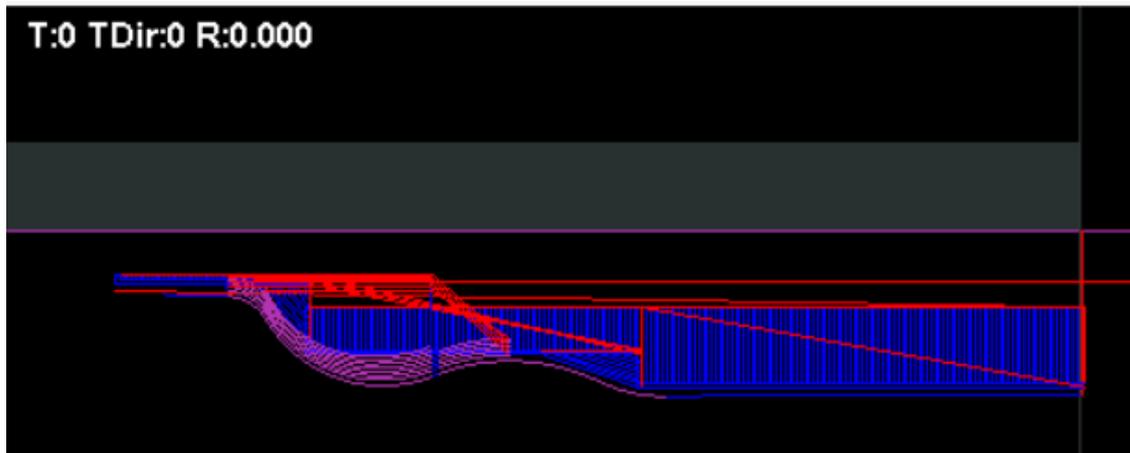


Figura 2.23. Simulación de operaciones de desbaste.  
Fuente: (Propia)

A continuación, se presenta el código de desbaste de la cavidad interna del molde en el Anexo 14. Al desbaste realizado a la cavidad interna del molde se consideró que este no debe llegar a la medida final, por lo que para llegar a la medida final faltan 1,3[mm], este sobre espesor dejado se lo quitó en el afinado de la cavidad. El código para el afinado se lo obtuvo manualmente para tener un afinado continuo sobre toda la superficie de la cavidad.

El proceso de afinado se lo realizó de manera escalonada con profundidades de corte de 0,4, 0,4, 0,2, 0,2 [mm] y la pasada final de 0,1[mm] a una velocidad de 800 RPM, esto considerando que en el torno van a estar dos bloques de duraluminio sujetos al mandril, ver figura 2.24.

El código del afinado de la cavidad interna del molde se presenta en el Anexo 15.

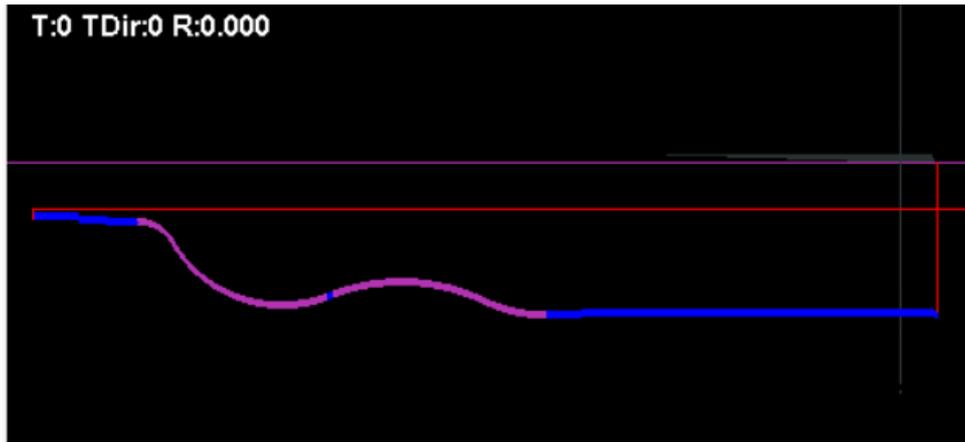


Figura 2.24. Simulación del código para el afinado de la cavidad interna.  
Fuente: (Propia)

## 2.3 Fabricación

El siguiente paso una vez realizado el diseño y simulación del mecanizado, se fabricó cada elemento del molde para lo cual se involucran operaciones básicas en máquinas convencionales y el torno CNC.

### 2.3.1 Mecanizado del cuerpo del molde

#### 2.3.1.1 Mecanizado torno manual

El torno manual ayudó a refrentar las placas de duraluminio, esta operación de refrentado se lo realizó para obtener una de las caras más grandes de los bloques de duraluminio rectificadas.



Figura 2.25. Torneado placas de duraluminio.  
Fuente: (Propia)

Seguidamente se dio la vuelta al bloque de duraluminio con el fin de mecanizar el lado opuesto al que fue ya mecanizado, aquí este proceso debe hacerse poco a poco debido a que en cada pasada de la operación de refrentado se debe ir cuadrando estas caras con

la ayuda de un reloj palpador con el objetivo de obtener caras paralelas y de la medida establecida, como se observa en la figura 2.26.

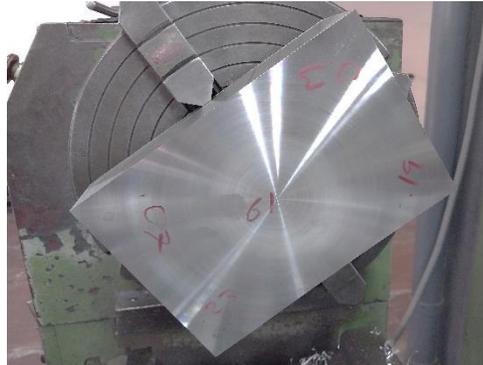


Figura 2.26. Cuadrado de placas de duraluminio mediante proceso de cilindrado.  
Fuente: (Propia)

### 2.3.1.2 Fresado

Con las caras rectificadas, se mecanizó los lados de cada placa de duraluminio. Seguidamente se colocó las dos placas de duraluminio en la entenalla de la fresadora y se procedió a fresar un lado de las placas con el fin de obtener una superficie uniforme, posteriormente se colocó esta cara rectificada perpendicular a la mesa con la ayuda de un reloj comprador para rectificar la siguiente cara de los bloques de duraluminio. Este proceso se repite en las dos caras restantes. El proceso se realizó sujetando los dos bloques de duraluminio con una prensa para poder rectificar los dos bloques de duraluminio al mismo tiempo a 100 [RPM], ver figura 2.27.



Figura 2.27. Rectificado de placas de duraluminio mediante proceso de fresado.  
Fuente: (Propia)

### 2.3.1.3 Perforación y rimado

A continuación, se realizan los centros para las cavidades de los pines en una placa de duraluminio y bases en la otra placa. Ya realizados los centros se procedió a perforar con

una broca de 17 [mm] de diámetro una profundidad de 20 [mm]. Seguidamente se colocó una rima de diámetro 18 [mm] y se procedió a pasar en automático en cada perforación realizada, para lograr un acabado fino y cada perforación con la misma dimensión establecida, ver figura 2.28.



Figura 2.28. Realización de perforaciones.  
Fuente: (Propia)

Los agujeros se realizaron sobre la superficie más grande de los bloques de duraluminio, teniendo en cuenta que hay que centrar un lado del bloque respecto a la fresa con la ayuda del reloj comparador.

#### 2.3.1.4 Encerado de la herramienta en el torno CNC marca Yang SNC-4070

El encerado de la herramienta es muy importante ya que con esto se puede asegurar las medidas de cada pieza. Primero se comenzó colocando el material base en el mandril del torno. A continuación, se procedió a eliminar del panel de control cualquier tipo de aviso del sistema con el botón RESET, ver figura 2.29.



Figura 2.29. Botón RESET  
Fuente: (Propia)

Para realizar el referenciado inicial de la herramienta se presionó los botones Set Home X y Set Home Z respectivamente, para que los sensores de los botones X Refd / Homed y Z Refd / Homed, cambien de color rojo a verde, ver figura 2.30.

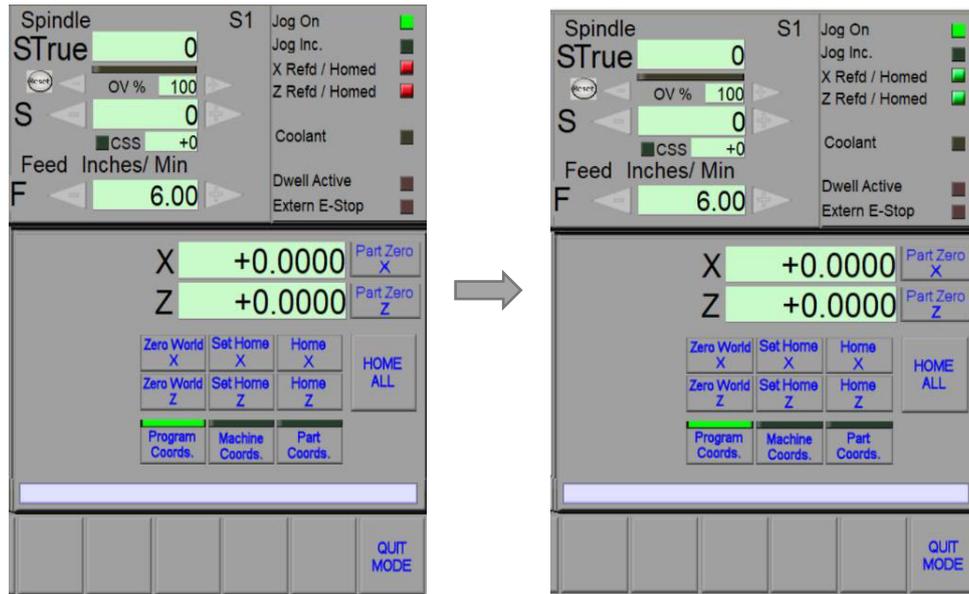


Figura 2.30. Referenciado inicial de la herramienta  
Fuente: (Propia)

El torno presenta dos ejes principales el “Z” y “X”, con sus correspondientes direcciones que se encuentran ilustrada en la Figura 2.31.

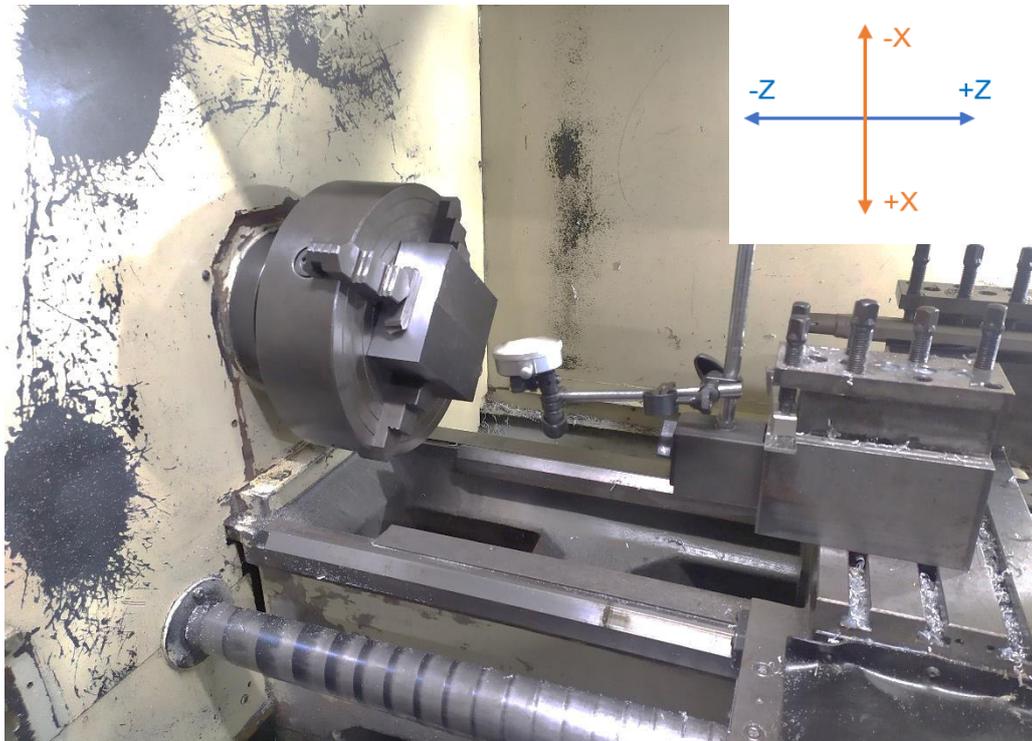


Figura 2.31. Sistema de referencia torno CNC marca Yang SNC-4070  
Fuente: (Propia)

Para encerrar la herramienta en el eje “Z”, se procedió a encender el mandril estableciendo previamente una velocidad de giro, para este caso particular se usó 750 [RPM]. Se procedió topando el filo de la cuchilla con la cara perpendicular del eje “Z”, acercándose con un

movimiento lento y cuidadoso usando la herramienta Soft Limits, ver Figura 2.32, que se accionó presionado la tecla Tab del computador. El paso utilizado para el primer contacto de la cuchilla con el material base es de 0,01 [mm]. Cuando la cuchilla topó el material base se establece el punto cero en "Z".

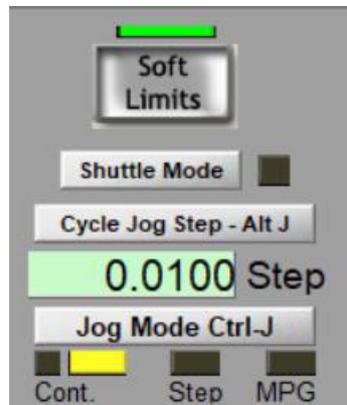


Figura 2.32. Herramienta Soft Limits  
Fuente: (Propia)

Para el eje "X" se realizó el mismo procedimiento que el eje "Z" con la diferencia que se debe hacer topar el filo de cuchilla con la cara circular del eje que es perpendicular del eje "X", Cuando la cuchilla topó el material base se establece el punto en "X", que corresponde al radio del eje de la materia prima, el valor se colocó en el módulo de AXIS POSITION, ver Figura 2.33.

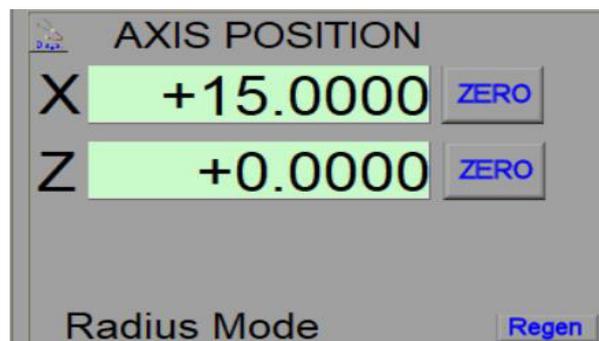


Figura 2.33. Módulo AXIS POSITION.  
Fuente: (Propia)

### 2.3.1.5 Pines

Los pines se obtuvieron a partir de un acero M201 de diámetro 20 [mm] de la empresa BÖHLER ECUADOR. Se mecanizó un total de cuatro pines de acuerdo a las medidas establecidas. Para la fabricación de estos elementos se utilizó el torno CNC marca Yang SNC-4070, como primer punto se montó el material en el mandril de 3 muelas auto centrante, después se procedió con el encerado de la herramienta T0101 como se explicó en la sección anterior. Después se cargó el programa correspondiente para este elemento.

Finamente, se procedió a cortar la pieza con una sierra manual. Esto se repitió para mecanizar los tres pines restantes, ver Figura 2.34.



Figura 2.34. Pines y bujes.  
Fuente: (Propia)

### 2.3.1.6 Bujes

Para este elemento se necesitó usar dos tipos de cuchillas, una para un cilindrado externo realizado por la herramienta T0101 que es la misma que se utilizó para la elaboración de los pines, y otra para el cilindrado interno dado por la herramienta T0202. Como primer punto se montó el material en el mandril de 3 muelas auto centrante, se realizó el encerado de la herramienta T0202 para poder cargar el programa correspondiente para este elemento. Finamente, se procedió a cortar la pieza con una sierra manual, ver Figura 2.35.



Figura 2.35. Cilindrado interno  
Fuente: (Propia)

### 2.3.1.7 Ensamblado del cuerpo del molde

Una vez terminado con la elaboración de pines ( $18_{0.012}^{0.023}$  [mm]) y bocines ( $18_{0.012}^{0.023}$  [mm]), estos elementos se colocaron en las perforaciones ( $18_{0.00}^{0.018}$ ) [mm] que tiene el cuerpo del molde, con el objetivo de tener una mejor estabilidad estructural, como se muestra en la siguiente Figura 2.36. Los pines y bocines se colocaron de manera individual usando un punzón apoyado por la fuerza imprimida de un martillo. El ajuste dejado entre los agujeros y los pines facilitó el proceso de colocación.



Figura 2.36. Colocación de pines y bocines en el cuerpo del molde.  
Fuente: (Propia)

En dos de los agujeros existentes se colocaron los pines y bocines de manera cruzada, y en los dos agujeros restantes solo se colocaron los bocines, con el objetivo de colocar posteriormente dos espárragos con sus respectivas arandelas y tuercas, ver figura 2.37.



Figura 2.37. Colocación de espárragos en el cuerpo del molde.  
Fuente: (Propia)

El cuerpo del molde ensamblado se colocó en el mandril de cuatro ruedas, para poderlo centrar previo al mecanizado, con el reloj palpador, ver Figura 2.38. Al ser un elemento de gran envergadura hay que tener el cuidado suficiente para que este colocado de una

manera adecuada y no cause ningún tipo de problemas. Como recomendación se deben usar velocidades de rotación del mandril más bajas (200 [RPM]) que las que comúnmente se utilizan.



Figura 2.38. Cuerpo del molde ensamblado.  
Fuente: (Propia)

### 2.3.1.8 Mecanizado de la cavidad interna del molde

Ya montado el cuerpo del molde en el mandril del torno, se procedió con la perforación con las brocas, para ir progresivamente de una en una, aumentando el diámetro del agujero interior, ver figura 2.39. Los diámetros de las brocas como su profundidad se encuentran especificados en la sección 2.2.2.4.



Figura 2.39. Perforación de la cavidad interna del molde.  
Fuente: (Propia)



Figura 2.40. Resultado de la perforación de la cavidad interna del molde.  
Fuente: (Propia)

Una vez terminado este proceso se prosiguió con el cilindrado interno de la cavidad, ver Figura 2.40. Se cargó el programa en el software MACH 3 para las operaciones que se realizaron, la primera es un cilindrado interno para un desbaste del material. El desbaste se realizó por secciones con el objetivo de ir agrandando de manera progresiva el tamaño de la cavidad de botella. Finalmente, se utilizó el inserto de acabado para dejar las dimensiones deseadas de acuerdo a los planos de la forma de la botella. La cantidad de material que se extrajo en esta última etapa es menor en comparación a la de desbaste, debido principalmente al mejoramiento del acabado superficial del mecanizado, ver Figura 2.41.



Figura 2.41. Desbaste con inserto DCMT11T304.  
Fuente: (Propia)

Finalmente, se procedió a mecanizar la figura del pico de la preforma, por lo cual se montó el cuerpo del molde en el torno manual para su posterior alineación mediante el uso de un reloj palpador. El desbaste se realizó con una cuchilla de interiores, a continuación, se muestra el perfil completo de la botella mecanizada en los bloques de duraluminio, ver Figura 2.42.



Figura 2.42. Mecanizado de la forma de la botella.  
Fuente: (Propia)

### 2.3.2 Mecanizado del asiento

El material base se colocó en el mandil del torno para ser mecanizado, el cual tiene que ser alineado mediante el uso del reloj palpador, terminado este proceso se carga el software en el MACH 3 para su ejecución, ver Figura 2.43.



Figura 2.43. Asiento del molde mecanizado etapa uno.  
Fuente: (Propia)

Cabe recalcar que, para este elemento, se lo mecanizó en dos etapas diferentes, ya que para obtener la figura completa se mecanizó de un lado y después se giró la pieza para terminar con la fabricación de la misma. Las operaciones iniciales fueron el refrentado y el cilindrado externo, para dejar al final la realización de chaflanes y radios de acuerdo correspondientes, ver Figura 2.44.

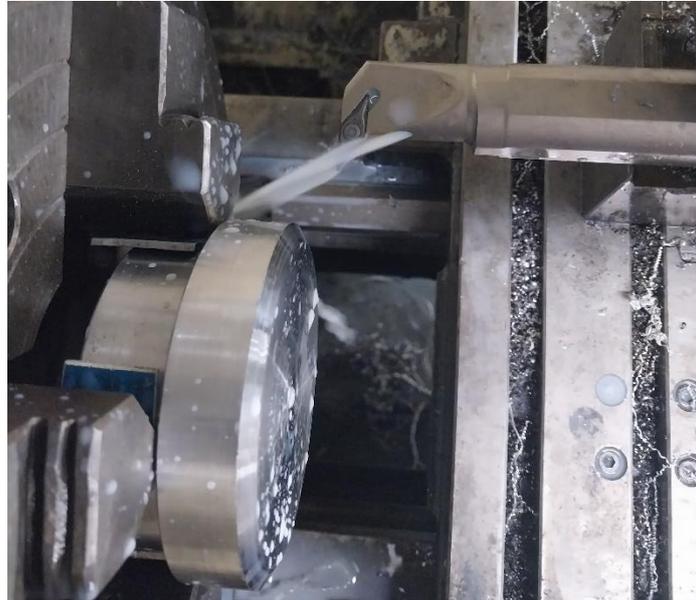


Figura 2.44. Asiento del molde mecanizado etapa dos.  
Fuente: (Propia)

Para el apartado del mecanizado de la forma interna de la base de la botella, se lo realizó con una cuchilla de interiores, las operaciones que se realizaron se encuentran descritas en secciones anteriores. Como en todas las piezas, estas deben estar correctamente alineadas para poder trabajar sobre ellas, igualmente en este caso se utilizó el reloj palpador para lograr una correcta alineación. Dado que el material con la que está fabricada la base es de duraluminio y esta cuenta ya con su forma definitiva, al momento en que se montó en el torno se utilizó unas platinas de duraluminio para evitar un contacto directo con las muelas del mandil, y por ende evitar cualquier tipo de daño superficial causado por la fuerza que se realizó al ajustar las muelas, ver Figura 2.45.



Figura 2.45. Cilindrado interno de la base de la botella.  
Fuente: (Propia)

### 2.3.3 Mecanizado de la base del asiento

Cada bloque de hierro se colocó en el torno manual con la ayuda del mandril de cuatro muelas. Se procedió a maquinar la pieza para obtener una cara rectificada, después, se dio la vuelta colocando la cara rectificada al lado interno del mandril y se procedió a cuadrar la placa con la ayuda del reloj comparador. Todo esto se realizó para obtener superficies planas, paralelas y a la medida especificada en los planos, ver Figura 2.46.



Figura 2.46. Mecanizado torno manual.  
Fuente: (Propia)

Una vez rectificadas las placas de hierro se procedió a rectificar los lados de las placas con la ayuda de la fresadora, esta operación se la realizó sujetando los dos bloques de hierro con una mordaza con el fin de mecanizar las dos placas unidas y se obtuvo superficies uniformes. Una vez rectificada un lado de las placas se procedió a rectificar el lado opuesto a este, colocando la superficie rectificada sobre la entenalla con el fin de tener una superficie paralela, ver Figura 2.47.



Figura 2.47. Rectificado de la base del asiento.  
Fuente: (Propia)

A continuación, con las placas rectificadas se procedió a montarlas en el torno CNC. Nuevamente se centró las piezas mediante el uso de un reloj palpador para mecanizar la forma del asiento. Se procedió con el uso de brocas para iniciar con el mecanizado de la cavidad, después mediante el uso de una cuchilla de interiores, se dio la forma final del asiento teniendo en cuenta las dimensiones previamente establecidas, ver Figura 2.48.



Figura 2.48. Mecanizado de la base del asiento.  
Fuente: (Propia)

### **2.3.4 Salidas de aire**

La elaboración de las salidas de aire es un aspecto de suma importancia en el proceso de diseño de los moldes. Su función principal se basa en la eliminación de los gases generados, mediante la fabricación de cavidades internas dentro del asiento del molde. Se fabricó un total de cinco orificios a lo largo de toda la superficie del asiento del molde. Mediante el uso de la fresadora, se realizaron cinco perforaciones con una broca de 1,5

[mm] sobre la superficie cóncava del asiento, estas cavidades se conectan a otras cinco perforaciones de diámetro de 3 [mm] que llegan al exterior de la pieza. Esto sirve para reducir los defectos superficiales generados por el proceso, ver Figura 2.49.

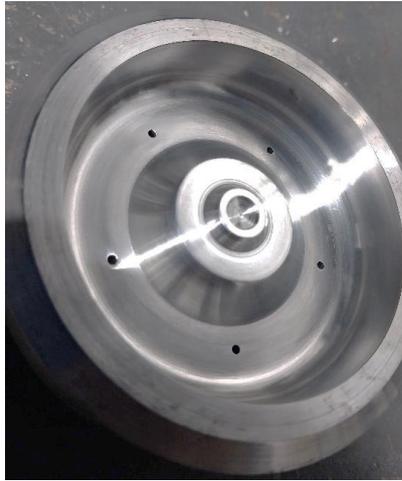


Figura 2.49. Salidas de aire.  
Fuente: (Propia)

### **2.3.5 Sistema de refrigeración**

El sistema de refrigeración es uno de los elementos muy importantes en el proceso de fabricación de moldes de soplado, ya que este asegura una extracción eficiente del excedente de calor producido por el mismo proceso (Rangel Hernández , 2018).

El cuerpo del molde se montó en la fresadora para realizar los agujeros necesarios. Para este caso particular se mecanizaron cuatro canales principales que se extendieron a lo largo de toda la superficie de la botella con una broca de 7 [mm]. La ubicación y dimensiones de los canales generados se encuentran especificados según los planos. Además, se realizaron siete agujeros adicionales con una broca de 5 [mm] para unir los ocho canales principales.

El objetivo es crear un sistema interconectado entre todos los orificios para que exista una correcta circulación del fluido de refrigeración. Cabe recalcar que se tuvo mucho cuidado con la realización de estos agujeros para no perforar la forma de la botella u otros canales que están destinados para funciones diferentes, ver Figura 2.50.

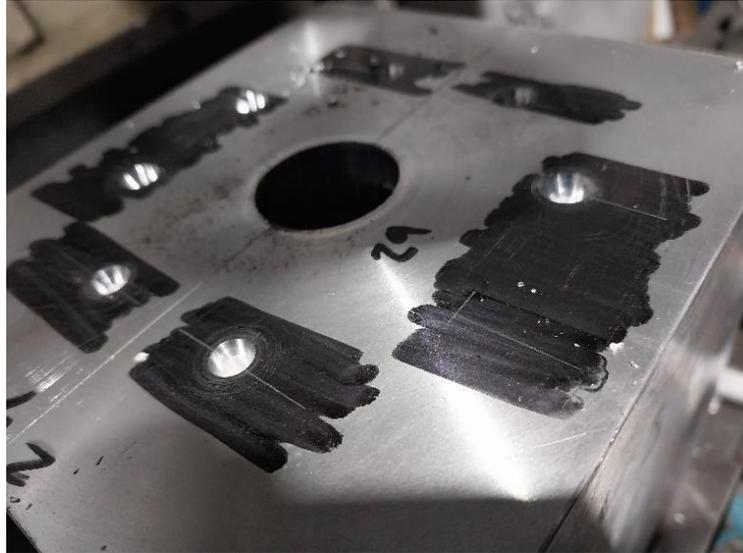


Figura 2.50. Canales de refrigeración  
Fuente: (Propia)

Después se procedió a pasar el machuelo M10x1 para tapar las perforaciones en la cara superior del molde con la ayuda de prisioneros y se pasó un machuelo M8x1.25 para tapar las uniones de los canales, lo cual sirvió para colocar los prisioneros que eviten cualquier tipo de fuga en el sistema, ver Figura 2.51.

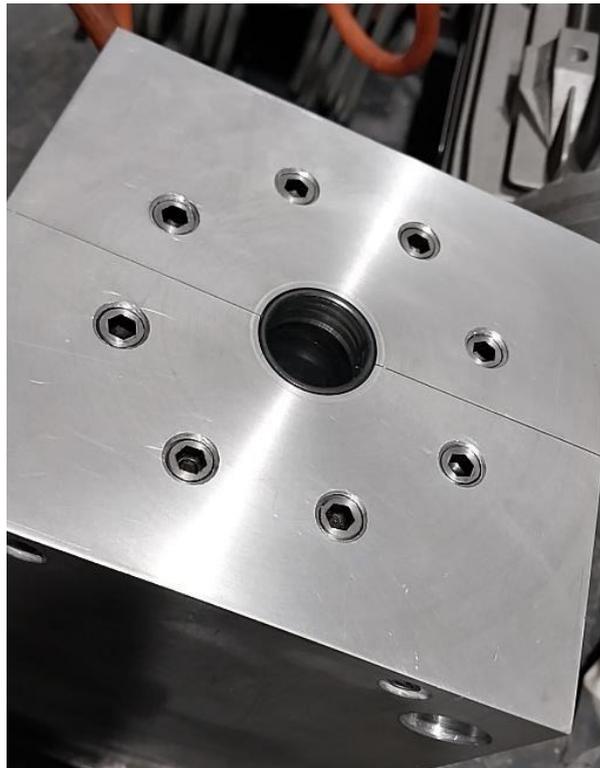


Figura 2.51. Colocación de prisioneros.  
Fuente: (Propia)

## 2.4 Proceso de pulido

Una vez ya finalizado el mecanizado de la cavidad interna del molde, se necesitó que la superficie se encuentre con un acabado superficial muy fino, esto es necesario para que al momento de probar el molde o en producción no se generen rayas en las botellas.

El pulido se realizó con lijas de agua, pasando de una denominación gruesa a una más fina. En esta parte del proceso no se utilizó ninguna máquina, ya que es un proceso manual. Gracias a los parámetros correctos de velocidad de corte, revoluciones y la selección correcta de la herramienta, se logró obtener un acabado superficial fino. Cabe recalcar que ningún proceso de máquina es perfecto y pueden existir cierto tipo de imperfecciones, en este caso se evidenciaron en forma de líneas no deseadas las cuales no se notan a simple vista, pero al tocar la superficie se pudo distinguir claramente, ver Figura 2.52.



Figura 2.52. Superficie a pulir  
Fuente: (Propia)

Como se puede ver no existen líneas o superficies con acabados gruesos, por lo que se procedió a pulir de manera radial con lija de agua N°280 en toda la superficie de la cavidad interna del molde, hasta que se borren todas las rayas existentes.

Seguidamente se procedió a pulir con el mismo número de lija, pero en sentido longitudinal esta para poder visualizar las rayas existentes así se obtuvo una superficie uniforme y cada vez más fina.

A continuación, se empezó a pulir con una lija de agua N°360, esta lija al ser más fina se procedió a utilizar un poco de aceite. La lija se pasó en sentido radial por toda la superficie hasta borrar las rayas existentes de la lija anterior.

Después con la misma lija se pulió, pero ahora en sentido longitudinal, se colocó un poco de aceite para evitar que el duraluminio cree una pasta sobre la superficie. Obteniendo así, una superficie cada vez más fina y con un brillo natural. Con la misma metodología se usó la lija de agua N°500, ver figura 2.53.

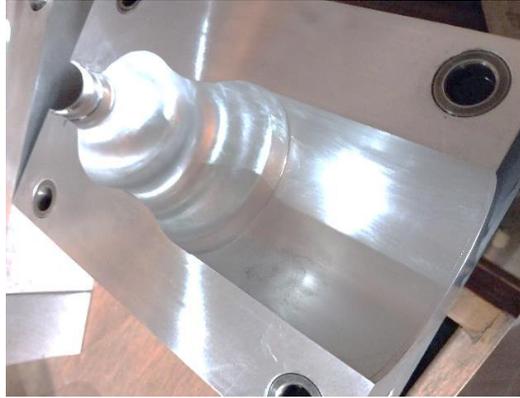


Figura 2.53. Pulido con lija de agua N° 500  
Fuente: (Propia)

Finalmente, para darle un mejor brillo y un acabado muy fino sin ninguna raya o defecto, se procedió a pulir con una lija de agua N° 1200 colocando un poco de aceite, siguiendo la metodología anteriormente mencionada, ver figura 2.54.



Figura 2.54. Pulido con lija de agua N° 1200  
Fuente: (Propia)

## 2.5 Tratamientos térmicos y superficiales

### 2.5.1 Nitrurado

El tratamiento de nitruración o tenifer, es ampliamente utilizado en el mundo de la matricería debido a que mejora propiedades como: la resistencia al desgaste, la resistencia a la corrosión y la resistencia a la fatiga (Solá, 1991). Los pines y bujes soportan cargas constantes de fricción, dados por la apertura y cierre del molde.

Por lo cual estos elementos fueron sometidos a un tratamiento térmico de nitruración que ofrece la empresa BÖHLER ECUADOR, llegando a obtener una dureza de 500 HV30. Finalmente, se realizó una limpieza la superficie de cada elemento para retirar las sales con las que vinieron las piezas, Ver Figura 2.55.



Figura 2.55. Pines y bujes sometidos a Tecnifer  
Fuente: (Propia)

### 2.5.2 Galvanizado

Los moldes de soplado son utilizados para la fabricación de botellas, las cuales posteriormente serán llenadas con líquido para el consumo humano, debido a esto no deben presentar agentes que contaminen el producto final. Por lo cual hay que tener cuidado con cualquier tipo de elemento que genere partículas de óxido, ya que esto podría producir una contaminación cruzada.

Las bases de los asientos se fabricaron con acero A36 y tienden a oxidarse con el paso del tiempo y el uso. Para evitar esta situación se sometió a un tratamiento superficial de galvanizados electrolítico en la empresa Galvanorte con el fin de mejorar la resistencia a la oxidación y corrosión, además que este procedimiento brinda a toda la superficie una apariencia liza, brillante y sin rebabas, ver Figura 2.56.



Figura 2.56. Bases de los asientos galvanizadas.  
Fuente: (Propia)

## 2.6 Ensamble

Al tener ya mecanizadas todas las piezas y pulidas todas las superficies con sus respectivos tratamientos térmico y superficiales. Se procede a ensamblar el molde, para llevarlo a pruebas de producción y verificación de su funcionamiento.

El ensamble empezó colocando los pines en un lado del cuerpo del molde y los bujes en la otra parte del cuerpo del molde, esto se realizó con la ayuda de un taco rectificado para no dañar la superficie de los elementos, como tampoco para dañar el molde. Ya que al colocar el taco se procede a golpear con un martillo hasta introducir los pines y bujes.

A continuación, se colocó las bases de los asientos, estas de igual manera deben estar alineadas al cuerpo del molde ya que estas centran el asiento y si este llegara a estar desalineado el asiento en la botella saldrá descentrado y puede que el molde no se cierre totalmente, ver figura 2.57.

Esta unión se llevó a cabo gracias a la colocación de dos pernos M8x35 en cada lado del molde.

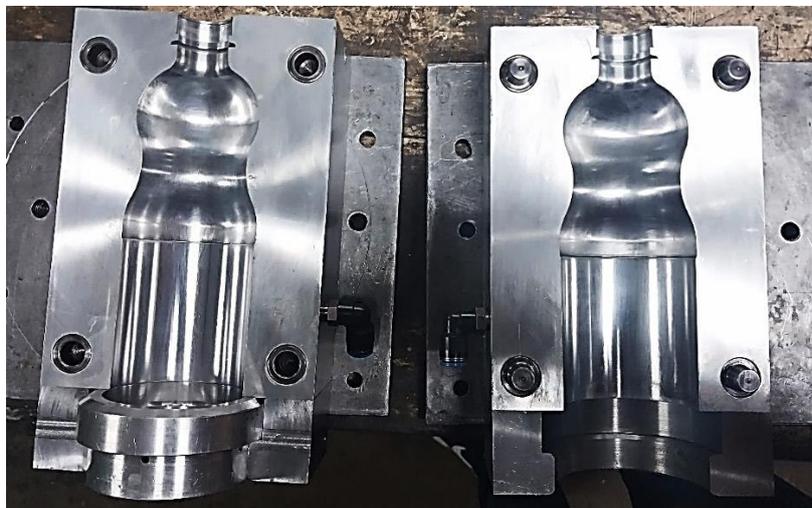


Figura 2.57. Molde armado.

Fuente: (Propia)

## **3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1 Análisis del mecanizado del molde**

#### **3.1.1 Tiempo de fabricación**

Los tiempos de fabricación del torno CNC marca Yang SNC-4070, se encuentran en el Anexo 17, divididos de acuerdo a cada elemento que constituye el molde, que son cinco en total.

El cuerpo del molde tiene un tiempo mayor debido al tamaño de la cavidad de la botella. El tiempo del proceso de desbaste es de 150 [min], y para la parte de afinado un tiempo de 60 [min], dando un total de 210 [min].

El mecanizado de bujes y pines, son los que tomaron menos tiempo, con un valor de 8 [min] y 5 [min] respectivamente. Los pines presentan el menor tiempo de todos, esto se debe principalmente a que solo se realizó un proceso de cilindrado externo, en cambio los bujes al tener un agujero necesitan una operación adicional aumentando su tiempo de mecanizado.

Para el apartado del asiento se tomó un tiempo total de 60 [min], este tiempo incluye el cilindrado interno como externo de la pieza.

Finalmente, para las bases del asiento se tomaron unos 45 [min], para dar por concluida esta pieza. Tenido un tiempo total de 328 min [min], que son un total de 5 [h] y 29 [min], obviamente este tiempo no se lo realizó de manera corrida, sino tomando en cuenta la disponibilidad del torno en función de la carga de producción que tenía la empresa Molplastic.

Todos estos tiempos se encuentran en al Anexo 17. Además, se debe tener cuenta otros tiempos, como el del montaje, pulido, etc, si se quiere obtener un resultado más exacto con respecto a todo el proceso en general.

Según (Yugsi LLano, 2019) el tiempo en fabricar un molde de dos cavidades en un centro de mecanizado de 4 ejes, se demoró aproximadamente 29 horas sin tener en cuenta el tiempo de pulido. Teniendo en cuenta estos datos de la fabricación de un molde en un centro de mecanizado y al compararlos con fabricación de un molde en un torno CNC, podemos ver que la metodología utilizada es más adecuada el momento de mecanizar un molde de una cavidad ya que se demora 6 horas aproximadamente.

Si se necesitara mecanizar un molde de dos cavidades en un mismo bloque de aluminio, sin duda se debe mecanizar en un centro de mecanizado. Sin embargo, existe la posibilidad

de fabricar dos moldes en un torno CNC utilizando la metodología descrita y unirlos en una contra placa. Así también resulta una metodología ventajosa al reducir el tiempo de mecanizado, al momento de fabricar moldes cilíndricos.

### 3.1.2 Acabado superficial

En este apartado se realizó el análisis del acabado superficial de la botella después de haber terminado con el mecanizado de la cavidad, ver Figura 3.1. Como se muestra en la imagen, el acabado obtenido tiene una calidad entre N6-N9 de acuerdo a acabados obtenidos en máquinas CNC, es de una calidad media-alta entre 0,6-6  $\mu\text{m}$ , sin presencia alguna de rayas profundas o deformación, para poder indagar más en la rugosidad obtenida se puede realizar pruebas con un rugosímetro, rugosímetro óptico, microscopía de barrido (SEM), microscopía de efecto túnel (STM) entre otras (Leonidas, 2020). Si se lo compara con otro tipo de procedimientos, como el que se puede obtener en un centro de mecanizado, el cilindrado interno presenta mejor calidad, para el tiempo que pueden tardar ambos procesos. Las principales causas de la disminución de la calidad superficial en el mecanizado de cavidades internas son:

- Tamaño del molde.
- Uso de una barra extensora para el porta cuchillas.
- Presencia de vibraciones.



Figura 3.1. Acabado superficial del molde antes de pulir.  
Fuente: (Propia)

La primera causa se debe principalmente a las dimensiones del producto, ya que, si aumenta el tamaño la botella, el molde lo hará de igual manera.

El inconveniente radica al momento de montarlo al mandril, y sujetarlo con las muelas. El molde al estar a manera de viga en voladizo, y ser excesivamente larga puede provocar vibraciones o desprendimiento total.

La segunda causa también se encuentra ligada a las dimensiones del producto, debido a que, al tener una botella más grande, se necesitará una barra extensora más larga, lo cual por muy bien que se coloque en la torre del torno esto es una fuente de la disminución de la calidad superficial.

Finalmente, tenemos la presencia las de vibraciones que son propias del proceso de mecanizado, como el desgaste de las piezas del torno, la correcta colocación del torno sobre el piso de trabajo, entre otros.

Al Fabricar un molde en un centro de mecanizado este claramente se demorará más según (Yugsi LLano, 2019), además de que se requieren herramientas especiales como fresas de diferentes diámetros y geometrías. Frente al método utilizado en este trabajo podemos ver claramente que no se requieren más de dos herramientas lo cual es una ventaja frente a las diferentes formas de mecanizar.

### **3.1.3 Seguridad y vibración en el mecanizado**

La seguridad en cualquier tipo de proceso que se trabaje con elementos de revolución es de vital importancia. En este sentido saber identificar y evidenciar estas características ayuda a que el proceso sea usado de la mejor manera.

Para este caso, se debe evitar velocidades de giro del mandril muy altas, específicamente solo para el cilindrado interno de la cavidad de la botella, ya que para la base y los asientos se toman velocidades normales de trabajo. Entonces el rango recomendado es de: 650-200 [RPM], para evitar cualquier tipo de contratiempo.

Otro factor que hay que tomar en cuenta, es el sobre dimensionamiento de molde de la botella ya que, este procedimiento cuenta con límite máximo para el cual es seguro maquinar y evitar vibraciones. Por ejemplo, para botellas que necesiten capacidades mayores a 1 litro, el método recomendado es utilizar un centro de mecanizado, como alternativa o se puede fabricar en dos partes la cavidad interna del molde con el fin de utilizar esta metodología de fabricación mediante el uso del torno CNC.

Para cantidades menores de almacenamiento el mecanizado mediante un torno CNC cumple satisfactoriamente las necesidades que son requeridas para la fabricación de moldes de botellas.

## **3.2 Análisis de la prueba de soplado**

### **3.2.1 Defectos de cruces en la botella**

El defecto del cruce en los moldes de botellas, se produce principalmente cuando se maquinan las dos partes del cuerpo del molde de manera independiente, sin tomar en

cuenta un dimensionamiento adecuado. Esto se da principalmente en las aristas internas de la forma de la botella, y en la unión del asiento con el cuerpo del molde, produciendo un ensamble incorrecto, ver Figura 3.2.

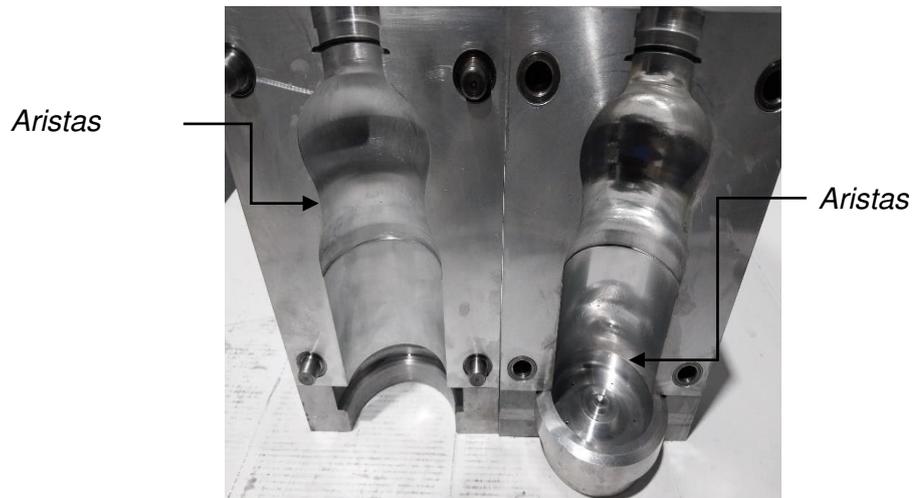


Figura 3.2. Representación de las aristas internas del molde.  
Fuente: (Propia)

A continuación, se muestra una comparación entre una botella que pertenece al catálogo de producción de la empresa Molplastic, en donde el cruce del molde se evidencia claramente, con la botella a elaborar a partir del molde mecanizado en un torno CNC, ver Figura 3.3.

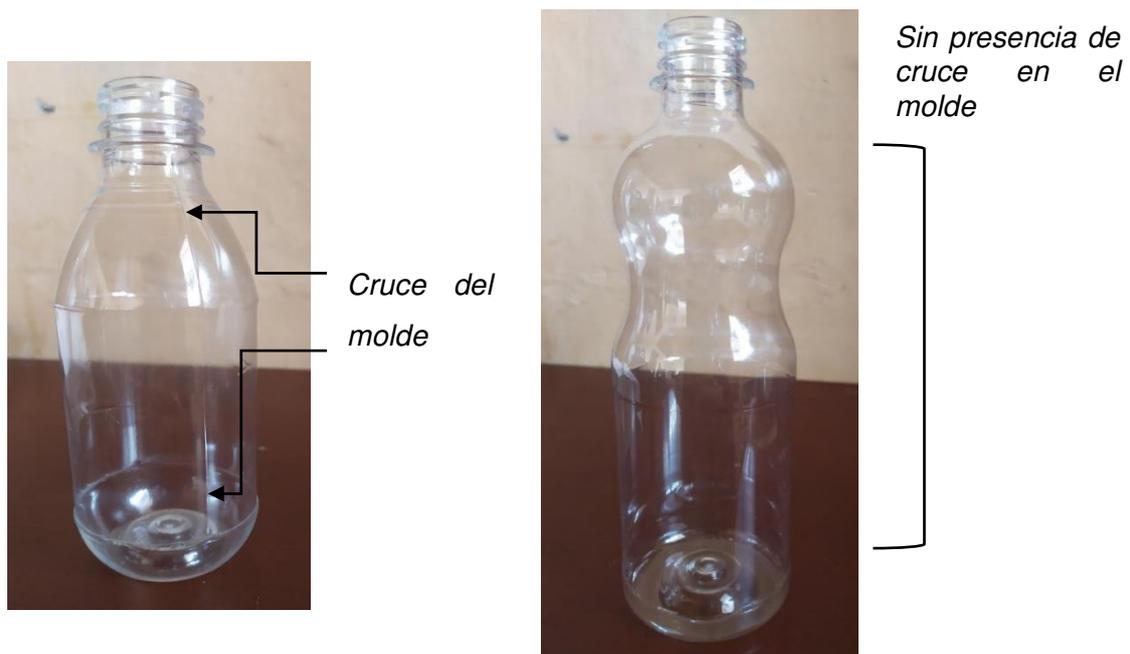


Figura 3.3. Comparación entre botellas que contienen cruce en el molde.  
Fuente: (Propia)

La botella de la izquierda, presenta claramente una línea vertical que se extiende desde la base del pico hasta el inicio del asiento, en cambio en la imagen de la derecha el cruce del

molde es casi imperceptible, lo cual beneficia directamente a la calidad del producto terminado. Finalmente, el cruce del molde en el asiento puede producir una botella que resulte asimétrica y carente de estabilidad.

### **3.2.2 Presencia de imperfecciones en la botella**

Hoy en día existen una gran cantidad de empresas que envasan sus productos en botellas de PET, de las cuales podemos encontrar en el mercado innumerables diseños de botellas y tamaños. Con lo que cada botella requiere de un molde y este es fabricado localmente o en el extranjero. Dependiendo la procedencia del molde, este puede venir con o sin imperfecciones las cuales se ven reflejadas en el producto final.

Las imperfecciones presentes en la superficie de la botella se dan principalmente por dos razones. La primera hace referencia a altas velocidades de avance y penetración, que son configuraciones que se establecen para el proceso de mecanizado (Rangel Hernández , 2018).

Estas varían de acuerdo con el material que se trabaja, el inserto utilizado, el tiempo de trabajo, entre otros. Al tener una configuración más agresiva en el mecanizado, hace que el proceso demore menos tiempo, pero puede generar superficies más rugosas, o líneas que no se puedan eliminar con proceso de pulido.

La segunda razón de la presencia de imperfecciones, es la realización de un pulido insuficiente. Cuando se realizó el proceso de soplado cualquier tipo de línea, grieta o imperfección se verá directamente reflejado en el envase final. Por esta razón el pulido es un proceso muy importante, aunque presenta ciertas limitaciones. Las limitaciones radican principalmente cuando en el proceso de cilindrado interno se genera un defecto difícil de eliminar, o que se pueda eliminar pero que genera un cambio en la forma original de la botella.

En el molde fabricado antes de la etapa de pulido se puede ver claramente imperfecciones mencionadas, pero en la etapa de pulido estas imperfecciones fueron desapareciendo obteniendo al final una botella sin imperfecciones de una manera muy fácil. Con lo que se puede ver claramente que se realizó un excelente trabajo al obtener una botella sin imperfecciones.

### **3.2.3 Estabilidad estructural de la botella con la preforma de 17 [g]**

Es importante recalcar que los envases de las botellas deben contar con una estabilidad estructural, la cual es dada propiamente por la cantidad de masa que contiene la preforma.

La preforma como se explicó en capítulos anteriores, es el elemento que permite crear la botella mediante el proceso de soplado.

Cuando la cantidad de masa de la preforma se encuentra mal dimensionada, pueden ocurrir dos tipos de escenarios adversos. El primero es que exista un excedente de masa del material PET en la preforma, para la capacidad de líquido que puede almacenar, generando los siguientes problemas:

- Preformas PET muy pesadas.
- Desperdicio del material.
- Aumento de los costos de producción.
- Disminución de la capacidad de almacenamiento.

La segunda cosa que puede ocurrir es que exista una baja cantidad de masa en la preforma, lo cual incide directamente en la estabilidad estructural de la botella. Esto puede generar productos más esbeltos y que no se pueden sostener por sí solos, en casos extremos se puede llegar hasta perforaciones generadas por el aire a presión durante el proceso de soplado.

Un correcto balance entre la cantidad de masa de la preforma y la capacidad de almacenamiento de la botella, siempre será la opción más recomendada para la elaboración de este producto. Para el caso en particular, la botella cuenta con una buena estabilidad estructural, lo cual se comprueba con el hecho de que se puede mantener de forma vertical sin ningún tipo de complicaciones, ver Figura 3.4.



Figura 3.4. Botella de plástico PET.  
Fuente: (Propia)

Como se muestra, la base de la botella no cuenta con ninguna imperfección o cruce que impida su correcto funcionamiento. Contiene una correcta distribución de todas sus aristas y radios de acuerdo, ver Figura 3.5.



Figura 3.5. Visualización completa del asiento de la botella.  
Fuente: (Propia)

Además, el asiento cuenta con una altura moderada, la cual impide que la base de la botella tienda a deformarse y esta pueda causar que la botella no tenga estabilidad al colocarle en una superficie plan. Cuando el asiento se deforma, se crea automáticamente una superficie convexa impidiendo que se pueda poner de manera vertical la botella, ver Figura 3.6.

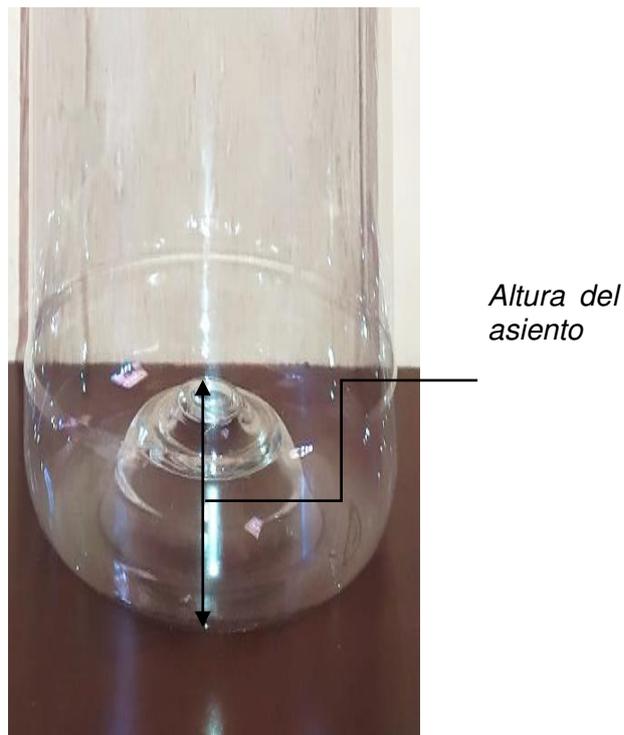


Figura 3.6. Asiento de la botella de plástico PET  
Fuente: (Propia)

### 3.3 Análisis y Comparación del modelo con las botellas obtenidas en el soplado

#### 3.3.1 Comparación dimensional del prototipo con la botella obtenida del proceso de soplado

En esta sección se calculó el error estándar de las muestras para un intervalo de confianza del 95%. Lo cual ayuda a verificar la veracidad de las magnitudes tomadas. Se tomaron una muestra de 10 botellas para cada apartado de medida de longitud, con un calibrador pie de rey que tiene una apreciación de 0.05 [mm].

Las distancias que fueron tomadas en cuenta son: diámetro del hombro, diámetro de la cintura, diámetro de la etiqueta, diámetro del asiento y la altura total, ver Figura 3.7. Al ser una muestra  $n < 30$ , siendo  $n$  el número de muestras totales, utilizaremos la distribución  $t$  de Student con  $n - 1$  grados de libertad y se presenta los valores de las medidas de las cotas de la botella dibujada en Inventor en la tabla 3.1.

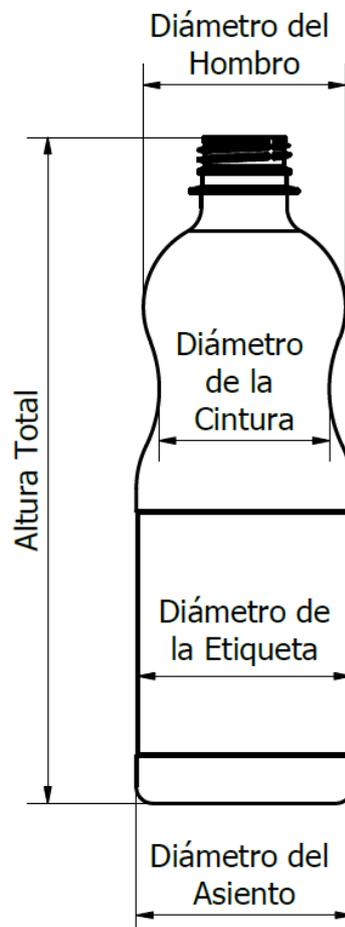


Figura 3.7. Cotas tomadas para el análisis.  
Fuente: (Propia)

Tabla 3.1. Valores de las medidas de las cotas de la botella dibujada en Inventor

Elemento	Medida
Diámetro del hombro	61,37
Diámetro de la cintura	51,69
Diámetro de la etiqueta	64,60
Diámetro del asiento	65,60
Altura total	204,00

Fuente: (Propia)

A continuación, se presenta un ejemplo de cálculo del intervalo de confianza para el diámetro del hombro, ver tabla 3.2.

Tabla 3.2. Medidas de la botella real-diámetro del hombro.

Cantidad N°	Medidas [mm]
1	60,45
2	60,50
3	60,55
4	60,45
5	60,50
6	60,55
7	60,60
8	60,60
9	60,80
10	60,90

Fuente: (Propia)

Se procede con el cálculo de la media de la muestra con la Ecuación 3.1.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Ecuación 3.1. (Montgomery et al., 1996)

$$\bar{x} = \frac{60,45 + 60,50 + 60,55 + 60,45 + 60,50 + 60,55 + 60,60 + 60,60 + 60,80 + 60,90}{10} \text{ [mm]}$$

$$\bar{x} = 60,59 \text{ [mm]}$$

Para continuar con el cálculo de la desviación estándar de la muestra se utilizará la Ecuación 3.2.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Ecuación 3.2. (Montgomery et al., 1996)

$$S = \sqrt{\frac{(60,45 - 60,59)^2 + (60,50 - 60,59)^2 + (60,55 - 60,59)^2 + \dots + (60,90 - 60,59)^2}{10 - 1}}$$

$$s = 0,148698053$$

Con todos estos datos podemos construir un intervalo de confianza alrededor de  $\bar{x}$  con la Ecuación 3.3.

$$IC = \bar{x} \pm Z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Ecuación 3.3. (Montgomery et al., 1996)

Al ser una muestra  $n < 30$ , se utilizó la distribución  $t$  de Student con  $n - 1$  grados de libertad, en vez del valor  $Z$ . Además, la desviación estándar de la población  $\sigma$  se reemplaza por  $S$  desviación estándar de la muestra, sin cometer mucho error. Ecuación 3.4.

$$IC = \bar{x} \pm t \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Ecuación 3.4. (Montgomery et al., 1996)

Para el valor  $t$ , se lo obtiene de la tabla del Anexo 18. Para seleccionar el  $t$ , se necesitan dos valores, en la parte de las columnas se encuentran los porcentajes de confianza, que para el caso es del 95%, y el apartado de las filas  $gl$  significa los grados de libertad con la Ecuación 3.5.

$$gl = n - 1$$

Ecuación 3.5. (Montgomery et al., 1996)

Donde  $n$  es el tamaño de la muestra:

$$gl = 10 - 1 = 9$$

Para lo cual el valor de  $t = 2,262$

Entonces, el valor de intervalo de confianza para el diámetro del hombro es:

$$IC = \bar{x} \pm t \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Ecuación 3.4. (Montgomery et al., 1996)

$$IC = 60,59 \pm 2,262 \frac{0,148698053}{\sqrt{10}}$$

$$IC = 60,59 \pm 0,106364789 [mm]$$

Lo que se puede interpretar de este resultado es que el 95% de las mediciones realizadas estarán dentro del intervalo de confianza, que tiene como límite inferior 60,484 [mm] y límite superior 60,666 [mm].

Para finalizar se comparan las medidas de la botella real obtenida a través del proceso de soplado, con las cotas de la botella dibujada en el software Inventor, con el cálculo del error relativo porcentual con la Ecuación 3.6.

$$E_{relativo} = \frac{|V_R - V_M|}{V_R} \times 100\%$$

Ecuación 3.6. (Montgomery et al., 1996)

Donde:

$V_R$  = Valor de las cotas obtenidas a través el software Inventor.

$V_M$  = Valor promedio de las medidas de la botella real.

$$E_{relativo} = \frac{|61,37 - 60,59| [mm]}{61,37 [mm]} \times 100\%$$

$$E_{relativo} = 1,27\%$$

Tabla 3.3. Resumen de los valores obtenidos de error porcentual e intervalo de confianza.

<b>Medidas [mm]</b>					
<b>Cantidad N°</b>	<b>Diámetro del hombro</b>	<b>Diámetro de la cintura</b>	<b>Diámetro de la etiqueta</b>	<b>Diámetro del asiento</b>	<b>Altura total</b>
1	60,45	50,70	63,90	64,90	203,95
2	60,50	50,75	63,90	65,10	203,85
3	60,55	50,60	63,75	65,10	203,90
4	60,45	50,60	63,85	65,15	204,00
5	60,50	51,00	63,70	65,00	204,05
6	60,55	52,15	64,20	65,30	203,95
7	60,60	52,00	64,00	65,20	203,90
8	60,60	51,90	64,00	65,10	204,00
9	60,80	52,10	64,10	65,20	203,95
10	60,90	52,05	63,90	65,20	203,95
<b>Intervalo de confianza 95%</b>	60,59 ± 0,106	51,39 ± 0,502	63,93 ± 0,108	65,13 ± 0,081	203,95 ± 0,041
<b>Error relativo porcentual</b>	1,27%	0,59%	1,04%	0,72%	0,02%

Fuente: (Propia)

Para tener un mejor análisis se graficó los valores de intervalo de confianza, para los diferentes tipos de medida, ver Figura 3.8.

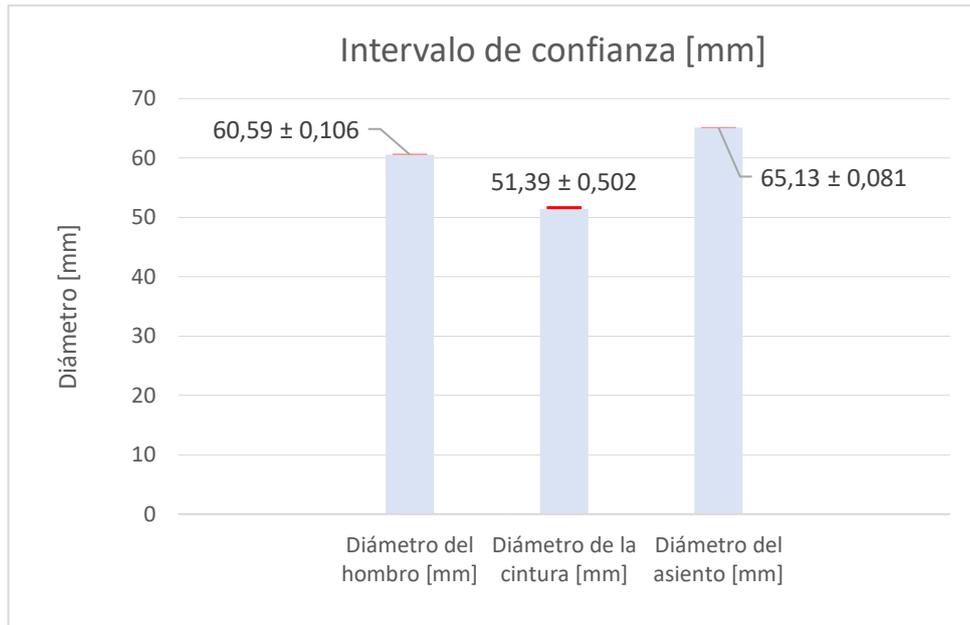


Figura 3.8. Intervalo de confianza para tres medidas diferentes.  
Fuente: (Propia)

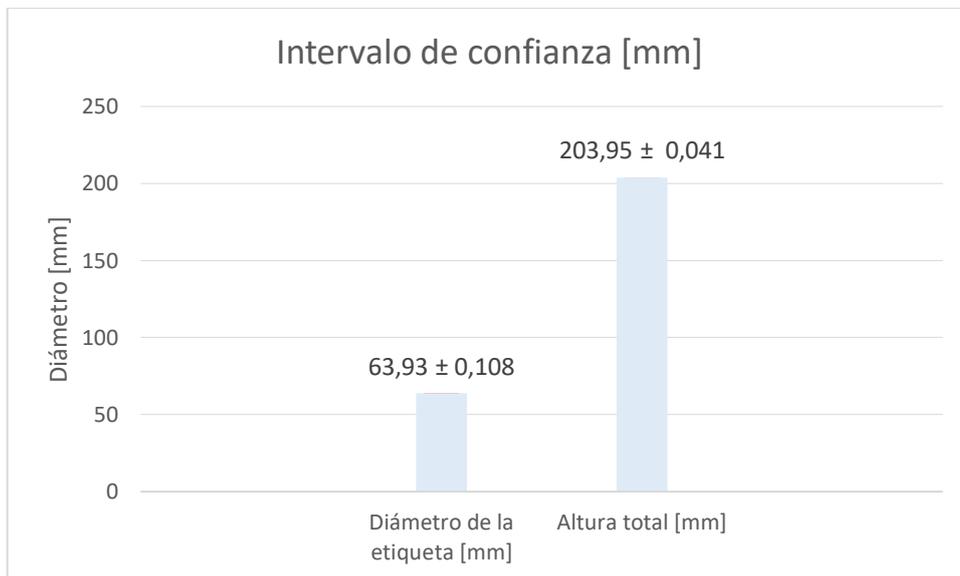


Figura 3.9. Intervalo de confianza para dos medidas diferentes.  
Fuente: (Propia)

Como se muestran en las Figuras 3.8 y 3.9, los valores obtenidos mediante las mediciones, se encuentran en rangos muy aceptables. Las columnas de color celeste claro, representan el valor medio de la medida, mientras que la línea en color rojo que se encuentra en la parte superior, indica la variación de su intervalo de confianza tanto para su límite superior como inferior.

Tomando como ejemplo la medida de la altura total que tiene un intervalo de confianza de  $203,95 \pm 0,041$  [mm], esto quiere decir que el 95% de las mediciones realizadas estarán dentro de este intervalo, que tiene como límite inferior 203,909 [mm] y límite superior 203,991 [mm]. Esto refleja claramente la uniformidad de la botella alrededor de toda su superficie, ya que para cada toma de datos el calibrador se movía alrededor del eje de la botella, para asegurar la aleatoriedad del proceso.

También es evidente que, para ciertos casos, como la de la altura total, que casi no se pueden distinguir los rangos de confianza que están en color rojo. A primera vista sugiere que puede ser algún problema de escala, pero no es el caso, ya que estos muestran claramente que no existe variación considerable entre las medidas tomadas.

A continuación, se representa los valores de errores relativos porcentuales, en donde se comparan las medidas de la botella real, con la dibujada en el software Inventor, ver Figura 3.10.

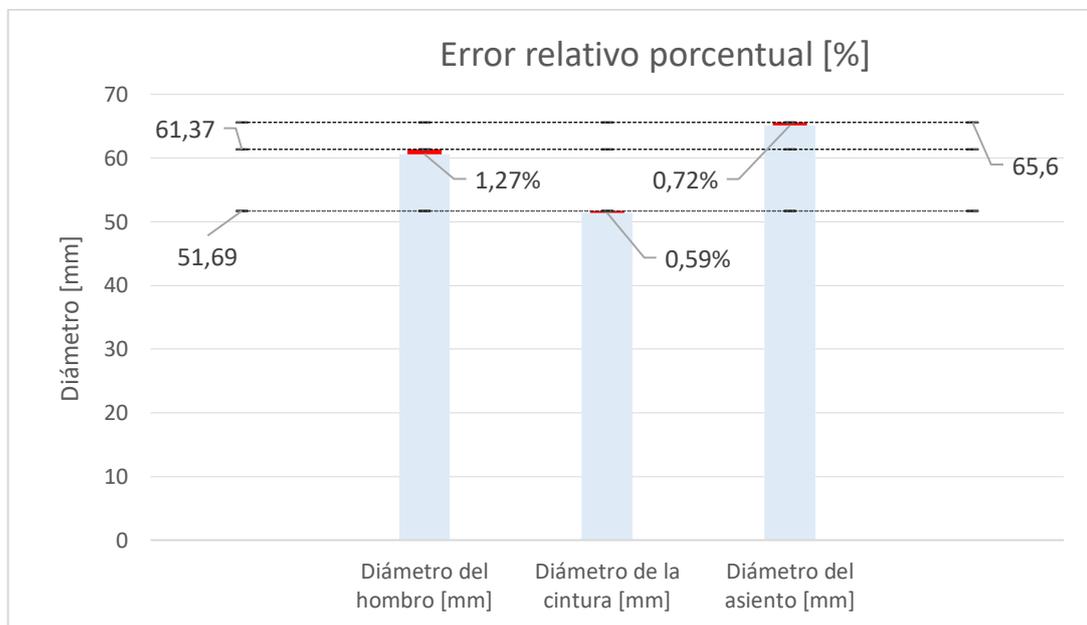


Figura 3.10. Error relativo porcentual para tres medidas diferentes.  
Fuente: (Propia)

De manera general se puede evidenciar, que no existen valores sumamente altos de error, que haga concluir que la botella elaborada es diferente a la botella diseñada. Por ejemplo, para el diámetro del hombro se tiene como valor máximo de error de 1,27% si se lo compara con los demás.

Esto da la seguridad de determinar que la botella elaborada cumple satisfactoriamente con las medias establecidas anteriormente en el proceso de diseño. Las líneas horizontales muestran el valor de la cota de la botella diseñada en inventor.

Esta representación, permite ver más claramente cuan alejado está un valor del otro. Cabe recalcar que, aunque los valores de error para las medidas longitudinales son pequeños, estos pueden irse acumulando, de acuerdo a cuanta cantidad de cotas se quiera analizar. Nunca se podrá obtener una botella con el 0% de diferencias, debido a las limitaciones mismas del proceso de mecanizado del molde como del proceso de soplado, ver Figura 3.11.

Para la fabricación de moldes utilizando este método, se debe tener en cuenta reducir en lo máximo este error, para que después no presentemos problemas con las cantidades de almacenamiento de la botella.

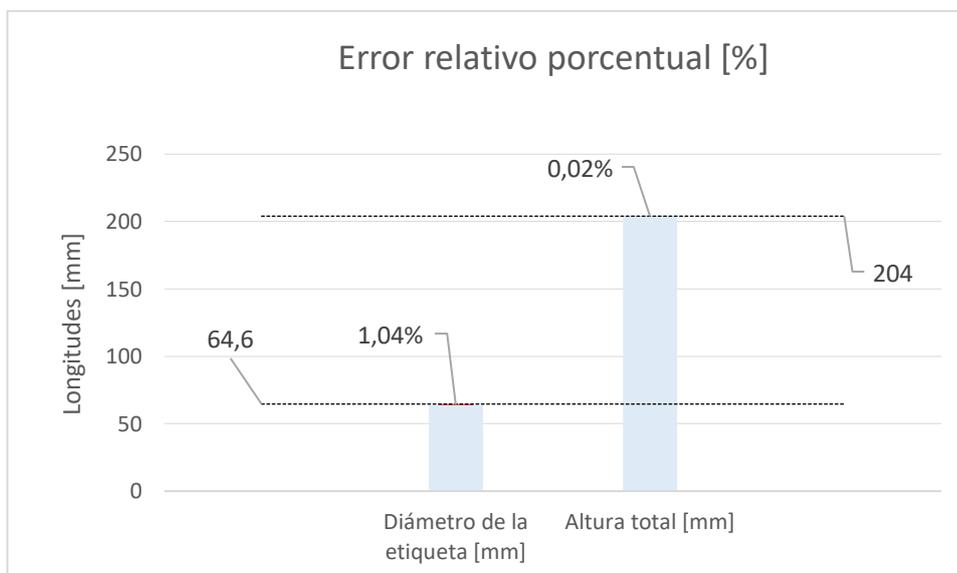


Figura 3.11. Error relativo porcentual para dos medidas diferentes.  
Fuente: (Propia)

### 3.3.2 Análisis de capacidad

La capacidad de la botella dibujada en el software Inventor es de 500 [ml] a una altura desde la base de la botella de 175 [mm]. En cambio, para la botella obtenida a través del proceso de soplado a la misma altura de 175 [mm], tiene una capacidad de 488 [ml]. Las mediciones se realizaron en una balanza marca Pprotools herramienta de calidad con una apreciación de 1 [g], ver Figura 3.12.

Para pasar de unidad de masa a volumen se utilizó la siguiente transformación  $1 \text{ [ml]} = 1 \text{ [g]}$ , esto se explica debido a que la densidad del agua es de 0,9993 [g/ml] a 15 [°C], pero para este caso de estudio se tomará el valor de 1 [g/ml].



Figura 3.12. Balanza marca protools herramienta de calidad.  
Fuente: (Propia)

Se realizaron diez mediciones a la misma altura dando como resultado el mismo valor de 488 [ml], cabe aclarar que el valor de 488 [ml] no tiene relación con la apreciación de la balanza.

Esto se debe a que cuando se pesa la botella con el agua, sale un valor de 505 [g], pero hay que restar el peso de la botella de plástico que tiene un valor de 17 [g], dando así el valor de 488 [ml].

Con estos valores de capacidad se puede calcular el error relativo porcentual, la ecuación utilizada es la misma de la sección anterior.

$$E_{relativo} = \frac{|V_R - V_M|}{V_R} \times 100\%$$

Ecuación 3.6. (Montgomery et al., 1996)

Donde:

$V_R$  = Valor de la capacidad obtenida través el software Inventor.

$V_M$  = Valor de la capacidad de la botella real.

$$E_{relativo} = \frac{|500 - 488| [ml]}{500 [ml]} \times 100\%$$

$$E_{relativo} = 2,4\%$$

A continuación, se muestra la representación del error relativo porcentual calculado, ver Figura 3.13.

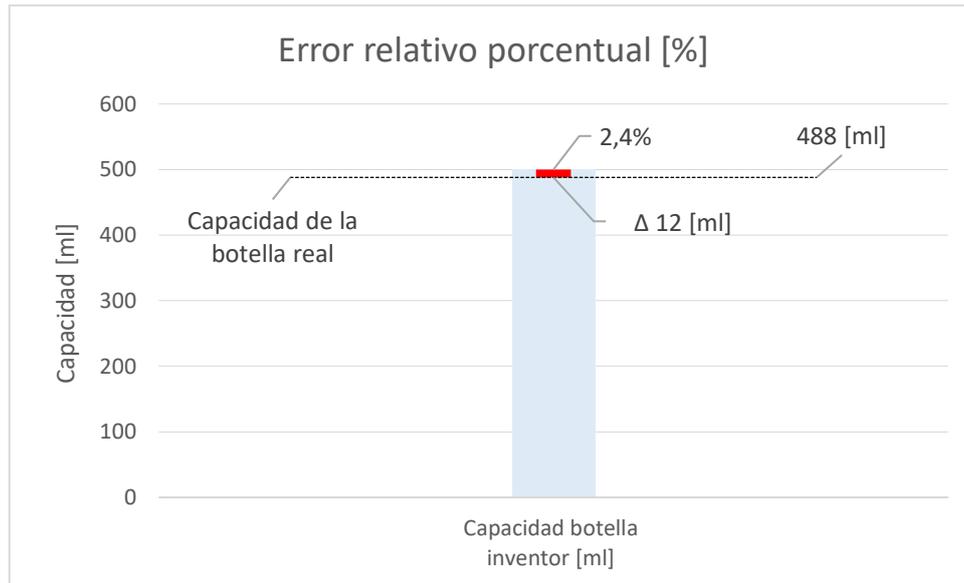


Figura 3.13. Error relativo porcentual.  
Fuente: (Propia)

El valor del 2,4% de error en el volumen de la botella, muestra claramente que existe una diferencia entre la cantidad de volumen que se diseñó con el volumen de la botella real.

La diferencia en términos de volumen es de 12 [ml], la cual no es una cantidad extremadamente grande ya que la altura de llenado puede variar 3 mm dependiendo la geometría de la botella y las normas de control de calidad a la que se someta el producto final.

En condiciones de diseño hay que tener en cuenta que por regla general siempre se deja un espacio entre la altura del líquido y el labio inferior de la preforma, esto se hace con el objetivo de que no exista un desbordamiento del líquido.

La distancia de este espacio vacío es de 12 [mm], el cual resulta de la diferencia de la medida de la altura del pico, que es de 187 [mm], y la altura del llenado que es 175 [mm]. Para este caso los 12 [ml] restantes podrían completarse tranquilamente en este espacio, sin alterar radicalmente la altura de llenado, ver Figura 3.14.

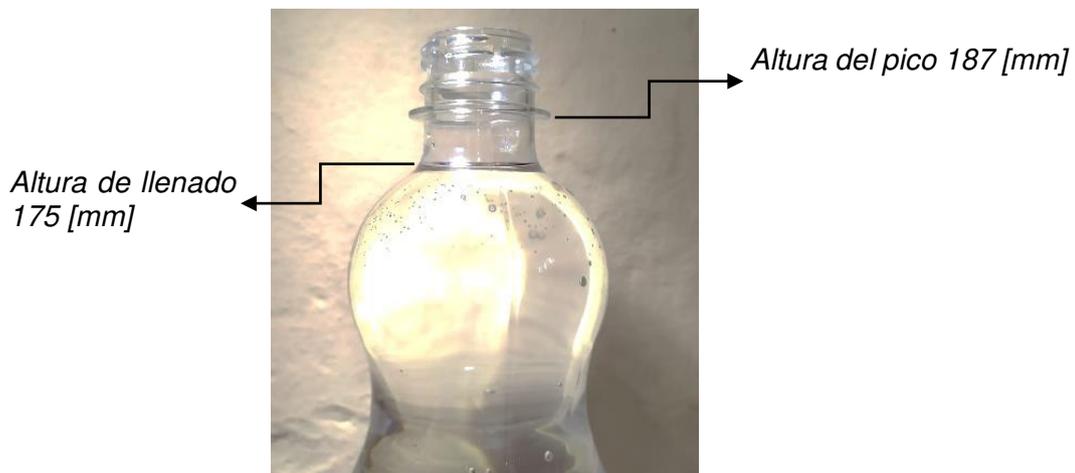


Figura 3.14. Descripción de las alturas en la botella PET.  
Fuente: (Propia)

En el campo del envasado de botellas, se tiene un alto control con respecto a llenar la cantidad exacta en los recipientes, por lo cual un correcto diseño del envase es de suma importancia. El problema radica principalmente cuando se diseña la botella sin tener en cuenta ese espacio libre para el llenado, o cuando se trabaja con empresas las cuales consideran que la altura de llenado es una característica importante que influye en la representación final de su producto. Para estos casos, no se podría hacer este proceso de completado del líquido restante.

Esta diferencia se puede explicar por el proceso de contracción que sufre la botella, debido en principal medida a la propia naturaleza del proceso de soplado y del material con el que se realizó las botellas. Se debe tener en cuenta que, aunque se tenga un excelente mecanizado, y las medidas obtenidas en el molde sean correctas, siempre se tendrá un porcentaje de error en la cantidad de almacenamiento de la botella. Existen varios fenómenos que fomentan el aumento de la contracción en las botellas PET, pero las dos principales son: una baja temperatura de precalentamiento de la preforma, que al menos debería ser de 100 [°C] o más, y altas temperaturas de almacenamiento, por lo cual si queremos reducir este efecto de contracción las temperaturas de almacenamiento deberían ser lo más bajas posibles. Sin embargo, una mejor solución para este problema sería la adquisición de nueva maquinaria que permitan hacer el proceso de soplado y envasado de manera continua. Aunque no todas las empresas tienen el poder adquisitivo para comprar maquinaria nueva, por lo cual una solución más rápida y barata, es utilizar este factor de error como un factor de corrección, el cual permita sobredimensionar la botella, para que cuando se produzca el proceso de compresión sus efectos no sean evidentes.

## **4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1 Conclusiones**

El trabajo de titulación planteado se centra en la fabricación de un molde de soplado a través de un torno CNC de la empresa Molplastic, el cual se ha llegado a fabricar con éxito, obteniendo una matriz eficiente y de calidad, cumpliendo así el objetivo principal del proyecto de titulación.

Para el modelado y la fabricación de matrices; se investigó en las fuentes indicadas en las referencias bibliográficas, de las cuales las más destacadas son: (Harper, 2006), (Kalpakjian & Schmid, 2008), (Iguasnia Vilema & Torres Barahona, 2016), (Uddeholm, 2017) y (Rangel Hernández , 2018), las cuales aportaron con información necesaria para el modelado y la fabricación de matrices. Entre los datos más relevantes son: las dimensiones, tolerancias, materiales a utilizar, entre otros.

Para determinar los parámetros de la matriz se realizó un estudio bibliográfico mencionado anteriormente en los cuales se pudo determinar que, para fabricación del molde es necesario conocer algunos parámetros a los que la matriz debe adaptarse como son: cierre mínimo de la máquina, capacidad de soplado de la máquina, materiales disponibles en el mercado, tipo de preforma, entre los más importante para fabricar el molde.

Con la ayuda del software Inventor se modeló todos los elementos de la matriz, su respectivo ensamble, esto con el fin tener claro en qué posición va a ir colocado cada elemento, dimensiones, y lo más importante que ninguna perforación se realice de manera errónea.

Para obtener el código G de cada operación de mecanizado se utilizó el asistente Wizards del controlador MACH 3 el cual dispone el torno CNC de la empresa Molplastic, para lo cual se realizó un estudio de sus comandos como se puede ver en las secciones 1.5.4.1 y 1.5.4.2, además de consultar la fuente de (Art Soft, 2006). Con esto también se programó los códigos G de manera manual para las secciones más complejas como el afinado de la cavidad interna del molde.

Se realizaron los respectivos planos de taller con sus respectivas medidas, tolerancias, materiales, acabados, etc. Estos se muestran en la sección de Anexos 1-7. Estos planos son muy importantes al momento de fabricar cada elemento de la matriz y también pueden servir de plantilla para los futuros moldes que pueden ser fabricados aplicando esta metodología descrita en el proyecto.

Para la fabricación de los elementos de la matriz se utilizaron máquinas convencionales como también el torno CNC obteniendo elementos con un acabado fino, además que se redujo el tiempo de fabricación comparado con la fuente utilizada de (Yugsi LLano, 2019).

La prueba de soplado se realizó en una sopladora semi automática de la misma empresa, obteniendo una botella de PET con el volumen deseado y dimensiones aceptables como se describió en el Anexo 1.

Respecto al resultado, tiempo de fabricación, se detalla a lo largo del trabajo de titulación y se muestra en el Anexo 17, corresponde a un tiempo total de mecanizado de 328 minutos, de los cuales el tiempo de mecanizado en torneado tanto en las operaciones de desbaste cómo acabado de cuerpo del molde corresponde a 210 minutos, este tiempo es bastante inferior al que tomaría el mecanizado del mismo molde empleando un centro de mecanizado, debido a que las dos partes del cuerpo del molde se mecanizan de manera simultánea, mientras que en el centro de mecanizado, se debería realizar de una en una, lo que duplica el tiempo de fabricación como se puede evidenciar en la fuente de (Yugsi LLano, 2019) en la cual menciona el tiempo de fabricación de un molde conlleva más de 20 horas, por otro lado el volumen de remoción de material en desbaste en torneado es mucho mayor al volumen de remoción del material en el centro de mecanizado, lo que nuevamente reduce el tiempo de fabricación, lo mismo ocurre en el acabado de la matriz.

El acabado superficial obtenido al finalizar el mecanizado en el torno CNC es muy fino, esto es gracias a los parámetros de velocidad de corte, profundidad, herramientas utilizadas y la maquinabilidad del material que se utilizó. Al comparar con la información de (Yugsi LLano, 2019) el acabado superficial obtenido en un centro de mecanizado es muy grueso esto debido a las herramientas utilizadas y tiempos de mecanizado ya que si el avance y profundidad de corte son muy pequeños toma más tiempo en mecanizar.

La seguridad del operador del torno CNC aumenta, al utilizar este método de fabricación de moldes de soplado muy grandes. Esto se debe a que la única forma de sujeción del molde son las muelas del mandril, con lo que si el molde es demasiado grande en ancho y largo va a estar en voladizo y puede soltarse de las muelas del mandril. Además, que si el molde es más grande en sus dimensiones se necesita de otras herramientas lo cual aumentaría el costo y aumentaría la vibración de la herramienta al estar el molde en voladizo y la herramienta también.

Las muestras obtenidas al final de este trabajo no presentaron defectos de cruce en la botella, gracias a que se mecanizo en el torno CNC con lo que se obtuvo un acabado fino lo cual ayudó al proceso de pulido lo cual se ve representado en el producto final. Mientras

que los moldes fabricados en un centro de mecanizado presentan una línea la cual se puede ver y sentir el cruce de la botella esto debido a que cada cavidad del molde es mecanizada individualmente.

La botella obtenida no presenta ninguna imperfección debido al mecanizado, ya que se obtuvo un acabado fino y en el proceso de pulido se pudo borrar todas las líneas causadas en el mecanizado.

La estabilidad de la botella es muy buena al ser soplada con la preforma de 17[g], debido a que la preforma es la ideal para soplar esta botella ya que se sopla sin ningún problema ya que si se cambia a una preforma de 15 [g] o menor no se podrá formar la botella, se contraerá demasiado, se doblará fácilmente pero claro todo depende del cliente como desea la botella o más dura o más delgada para lo cual se utilizará una preforma más pesada o más delgada respectivamente con lo que esto también influirá en el precio y tiempos de producción.

Al comparar las dimensiones del prototipo obtenido en el modelado con la botella obtenida se pudo obtener un error para cada medida tomada de la botella, el error más grande se localiza en el diámetro del hombro, seguido de diámetro de la etiqueta con 1.27% y 1.04% respectivamente, esto se debe a que la botella al salir del molde se contrae o se expande en algunas de sus dimensiones debido al intercambio de calor entre la preforma y el molde, con lo que a partir de estos valores se puede modificar las dimensiones para tener una referencia en la fabricación de futuros moldes.

El análisis de la capacidad obtenido al comparar el volumen de la botella obtenida con el volumen del modelo tiene un error de 2.4% lo que equivale a 12 [ml] lo cual es aceptable ya que el líquido no se desbordará el momento de llenar las botellas. Esto puede variar según el producto o según el departamento de control de calidad de la empresa que requiera las botellas.

El torno CNC utilizado tiene un controlador MACH 3, el cual se llegó a utilizar de una manera eficaz para llevar a cabo todas las operaciones necesarias para la elaboración de cada pieza del molde, además que el asistente fue de mucha utilidad al tener una interfaz muy accesible al usuario y poder obtener el código G de manera rápida y sencilla.

Para futuros mecanizados de matrices de soplado, se debe tener en cuenta la geometría del molde, la herramienta, parámetros de mecanizado, material, dimensiones del molde ya que todo esto influye en acabados superficiales y reducción de tiempos de fabricación.

Gracias a la trayectoria de la empresa Molplastic y toda la experiencia que me ha brindado se logró fabricar el molde de soplado utilizando materiales adecuados y de calidad, si otra empresa quisiera utilizar este método para fabricar moldes hay que tener en cuenta el alto costo de la maquinaria, además el personal debe estar calificado para utilizar máquinas CNC, por lo que las empresas deben considerar si fabricar moldes en un torno CNC o en Centros de mecanizado, ya que este método de fabricación es otra alternativa para elaborar matrices.

Al finalizar el mecanizado y abrir el molde se pudo evidenciar un acabado fino debido a la herramienta y parámetros utilizados, reduciendo significativamente el tiempo de pulido y obteniendo un molde perfecto sin cruces.

Existen un sin número de parámetros que pueden intervenir al fabricar un molde, pero dado a la trayectoria de la empresa Molplastic, se llegó a conocer una gran variedad de materiales para la fabricación de moldes y así con la utilización de los correctos materiales se logró fabricar un molde liviano, con excelentes acabados superficiales.

Finalmente, del molde de soplado se puede ver que no existen errores en la fabricación con lo que al aplicar esta metodología si es posible mecanizar moldes de soplado con un perfil circular.

## **4.2 Recomendaciones**

Para poder mecanizar un molde en un torno CNC, se debe tener en cuenta el perfil a mecanizar, este debe ser un perfil cilíndrico ya que al no ser cilíndrico no se lo puede fabricar en un torno CNC.

Se debe tener en cuenta las dimensiones del molde ya que si es demasiado largo se necesitará una cuchilla más larga para mecanizar, así mismo la geometría de la cavidad se debe verificar que se pueda mecanizar con la cuchilla utilizada ya que si no se puede se debe adquirir una nueva cuchilla lo que implica un mayor costo de fabricación de un molde de soplado.

Se debe tener conocimiento en la fabricación de moldes, manejo de máquinas CNC para ejecutar el código de forma correcta y así evitar accidentes y pérdidas en la empresa.

El molde fue fabricado en un torno CNC, en el cual se puede montar un mandril de cuatro muelas independientes con el fin de sujetar el molde, esto no se puede realizar en un mandril de tres muelas o en un mandril de 4 muelas auto centrantes.

Al aplicar este nuevo método de fabricación de matrices de soplado es recomendable ejecutar el código sin montar el material base, con la finalidad de observar cómo trabajaría el torno para evitar colisiones con el mandril o con el material base.

Para que no exista un cruce en el molde se debe colocar los pines y bujes con el fin de mecanizar con los bujes y pines ensamblados para que al momento de abrir el molde este no tenga cruces, ya que si no se los coloca va a existir un cruce en el molde al momento de ensamblar sus partes.

Colocar correctamente la herramienta en la torre para no tener problemas al momento de mecanizar además de organizar las piezas a elaborar para evitar la pérdida de tiempo al cambiar la herramienta a cada rato.

Para obtener una botella sin imperfecciones se recomienda pulir bien la cavidad interna del molde, puliendo en un orden según el número de lijas y el momento de pulir se lo debe realizar en diferentes direcciones hasta borrar las rayas que existan.

Es recomendable siempre fabricar los ductos de refrigeración por más pequeño que sea el molde ya que el enfriar el molde contribuye a que la botella no sufra deformaciones en sus dimensiones.

Para obtener una botella más estable en su estructura es recomendable soplar las botellas con preformas de mayor peso, obteniendo así una botella más rígida, pero esto a su vez incrementará el costo de la botella, por lo que se debe analizar el uso al que se va a dar el producto final.

## 5 BIBLIOGRAFÍA

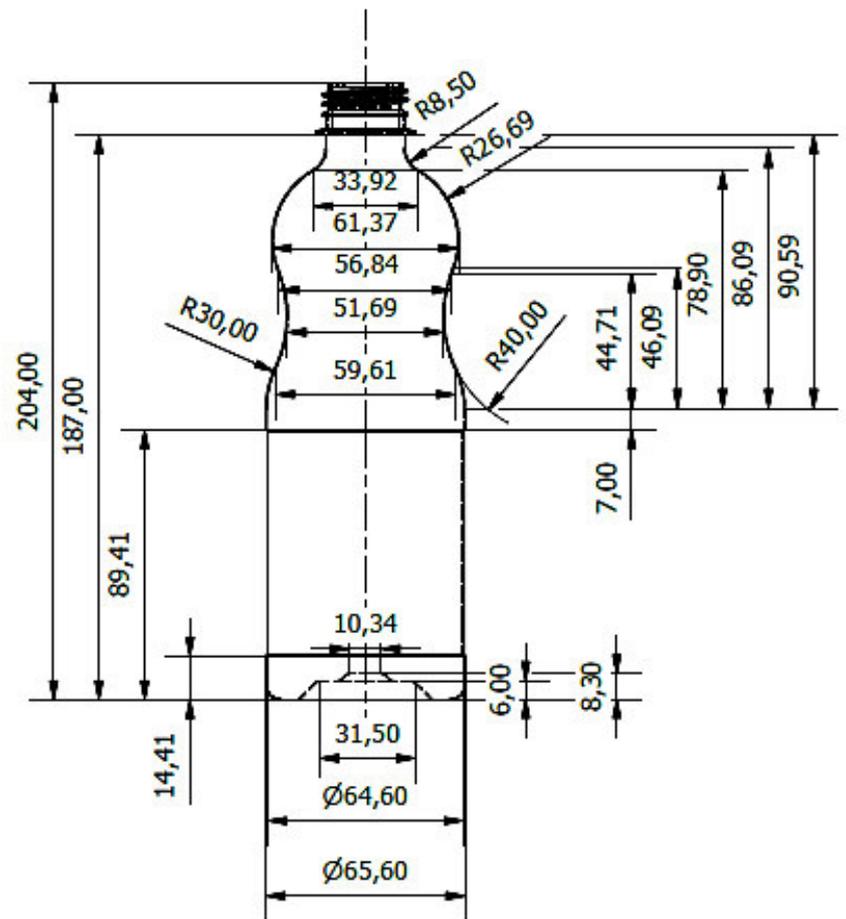
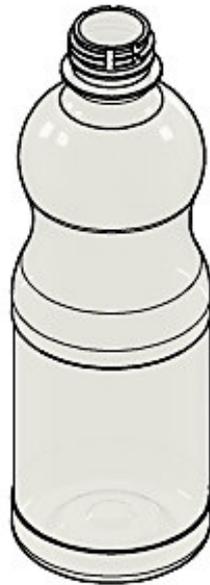
- Alting, L., & Boothroyd, G. (1990). *Procesos para ingeniería de manufactura*. México: Alfaomega.
- Art Soft. (2 de Febrero de 2006). <https://www.machsupport.com/software/mach3/>. Obtenido de [https://www.machsupport.com/wp-content/uploads/2013/02/Mach3Turn\\_1.84.pdf](https://www.machsupport.com/wp-content/uploads/2013/02/Mach3Turn_1.84.pdf)
- Autodesk. (2022). *Inventor Professional 2022*. Obtenido de <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- Boronat Vitoria, T. (2009). *Estudio y modelización de la procesabilidad mediante moldeo por inyección de materiales termoplásticos reciclados (Tesis Doctoral)*. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Bueno Guapacha , D. F., & González Vargas, J. S. (2015). *Guía de aprendizaje para manejo de tonro CNC WABECO CC-D600 E (Tesis de Tecnología)*. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- Cabrera Garcia, S. (2006). Gestión de proyectos de moldes y matrices para las industrias de la fabricación de lámparas y muebles. *X Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos* (págs. 793-800). Valencia: Qualitas hodie.
- Castelles, X., & De Gracia, L. (2012). *Los plásticos residuales y sus posibilidades de valoración: Reciclaje de residuos industriales*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Cifuentes, G. (1991). La metalización de los plásticos termoestables. *Informador Técnico*, 45, 7-10. doi:<https://doi.org/10.23850/22565035.1198>
- Covarrubias Velázquez, H. E., Sáenz Galindo , A., & Castañeda Facio, A. O. (2016). Resinas termoestables de fenol-formaldehído. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 17(6), 15-17.
- Daza Murgado, U. R., & Luengas Zepeda, S. (2016). *Router CNC aplicado al desarrollo de PCB's (Título de Ingeniería)*. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica Y Eléctica Unidad Profesional "Adolfo López Mateos", México.
- Fredes García , M. A., & Vial Villalonga , A. A. (2018). *Manual instructivo de operación y prácticas didácticas de torno CNC para el desarrolllo docente (Tesis de Tecnología)*. Univerdad Técnica Fererico Santa Mariá, Chile.

- Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna* (3a ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.
- Harper. (2006). *Handbook of Plastic Processes*. California: Jhon Wiley.
- Iguasnia Vilema, D. G., & Torres Barahona, C. E. (2016). *Aplicación de la tecnología CNC en la modelación de una matriz de soplado de plástico para la producción de botellas de 500 ml como un aporte a la implementación del laboratorio de CAD-CAM de la escuela de ingeniería industrial (Trabajo de fin de Master)*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología* (5a ed.). México: Person Educación .
- Kandt, A. (2001). Historia del soplado. El PET se convierte en el material más utilizado en detrimento del PVC. *Informador Técnico*, 60, 60-64.
- Leonidas, R. (2020). *ESTUDIO DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL Y EL DESGASTE DE ALUMINIO 7075*. Ambato.
- Montgomery, D., Runger, G., & Medal, E. (1996). *Probabilidad aplicada a la ingeniería*. México DF: McGraw-Hill.
- Pacheco Vega, J. C., & Espinosa Toro, A. J. (2016). *Aplicación de la tecnología CNC en la modelación y fabricación de portaherramientas utilizados en los tornos convencionales del taller básico de la ESPOCH (Tesis de ingeniería)*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- Paredes Luque, K. M., & Roque Canahuire, G. (2015). *Estudio de la variación de espesor de laminas de pet en el proceso de termoformado (Tesis de Ingeniería)*. Universidad Nacional de San Agustín, Perú.
- Producción, M. d. (2012). *SIRCAR*. Obtenido de <https://servicios.produccion.gob.ec/sircar/login.php>
- Rangel Hernández , C. A. (2018). *Diseño de un molde para soplado de preforma PET y la obtención de la estrategia de maquinado por CNC de la placa porta cavidad (Tesis de Ingeniería)*. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Cuba.
- Rangel, C. (2018). *Diseño de un molde para soplado de preforma PET y la obtención de la estrategia de maquinado por CNC de la placa porta cavidad . Cuba*.

- Ruiz Valencia, D., López Pérez, C., Cortes, E., & Froese, A. (2012). Nuevas alternativas en la construcción: botellas PET con relleno de tierra. *Apuntes: Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural-Journal of Cultural Heritage Studies*, 25(2), 292-303.
- Schmitt, M. (2019). *Uso de una microalga marina como chasis para la degradación de tereftalato de polietileno (PET)*. Microb Cell Fact.
- Solá, M. (1991). *Tratamientos térmicos de los metales*. Marcombo.
- Uddeholm. (2017). *Acero para moldes*. Suecia: Uddeholm. Recuperado el 01 de 01 de 2022, de <https://www.uddeholm.com/app/uploads/sites/41/2018/11/Tech-Uddeholm-Steel-for-moulds-ES.pdf>
- Yugsi LLano, D. J. (2019). *Tecnología de fabricación de moldes para optimizar el proceso de moldeo por soplado de envases pet, en una planta embotelladora de bebidas (Trabajo de fin de Master)*. Universidad Técnica de Ambato, Ambato.

## **Anexos**

### **Anexo 1. Plano de especificaciones técnicas de la botella**



NOTA:

VOLUMEN: 500 [ml].  
 ALTURA DE LLENADO: 175 [mm] DESDE LA BASE.  
 PREFORMA PARA EL SOPLADO: 17[g] PICO CORTO.

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Hugo Samueza
MATERIAL:	PLÁSTICO PET	Tol.Gral ±0.5	ESCALA:	DIS.:
			1:2.5	REV.:
BOTELLA 500[ml]		THS.101		FECHA: 03-07-22

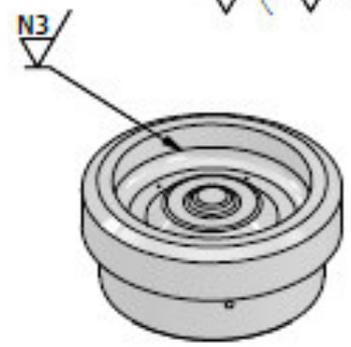
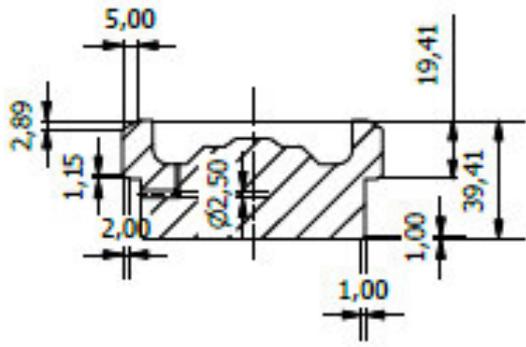
## **Anexo 2. Plano del cuerpo del molde**



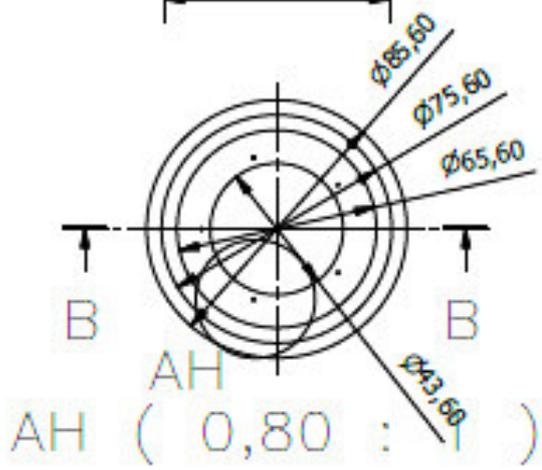
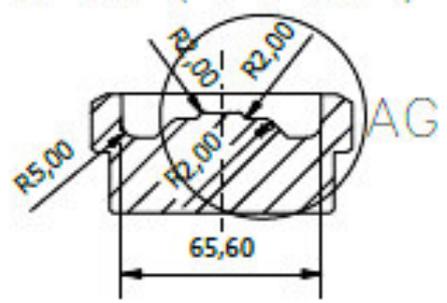
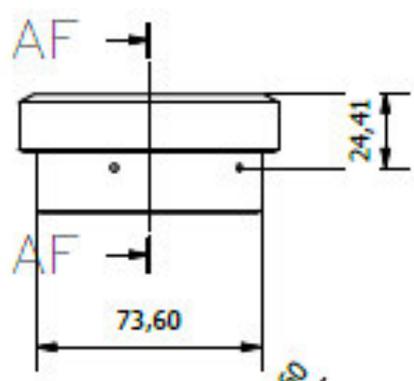
### **Anexo 3. Plano del asiento**

N6 / ( N9 ; N3 )

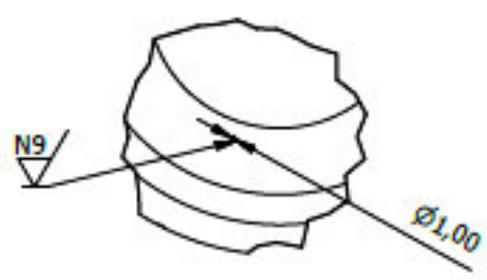
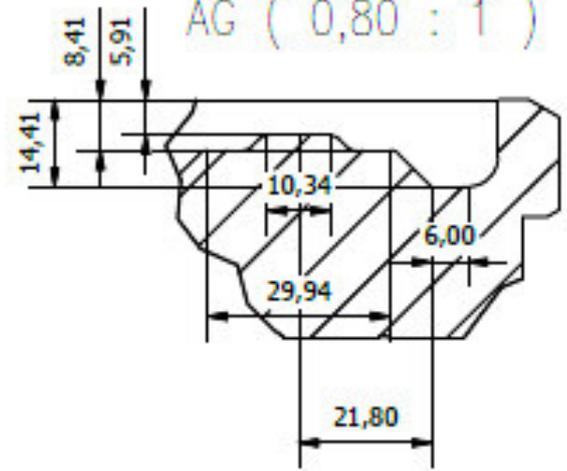
B-B ( 1 : 2.5 )



AF-AF ( 1 : 2.5 )



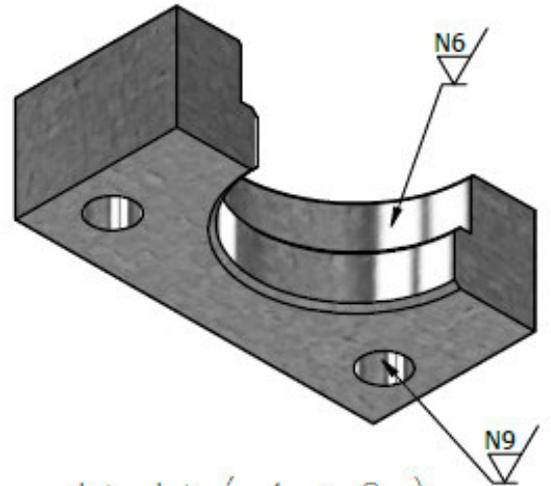
AG ( 0,80 : 1 )



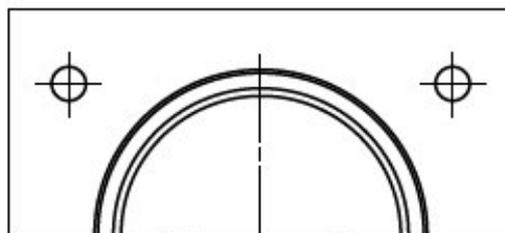
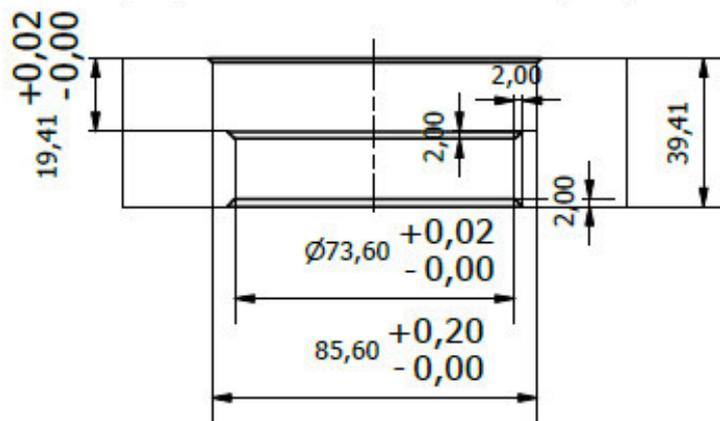
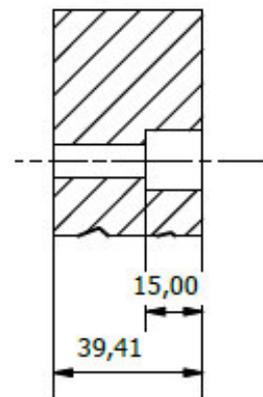
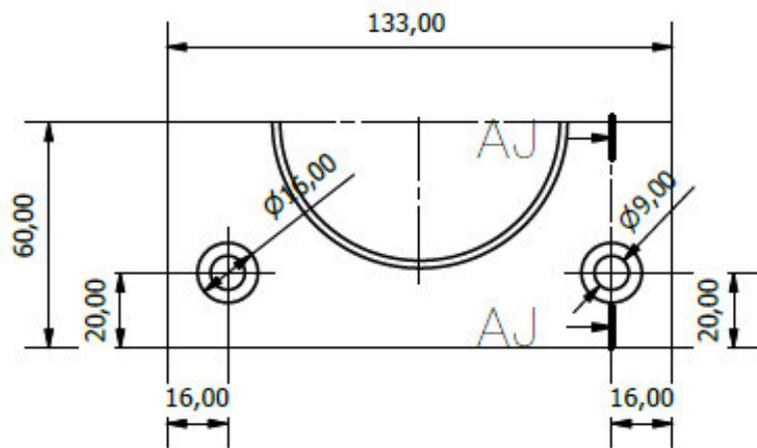
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.: Hugo Samueza	
MATERIAL:	DURALUMINIO	Tol.Gral ± 0.5	ESCALA:	DIS.: Hugo Samueza
			1:2.5	REV.: Ing. Maria Cesén, M.Sc.
ASIENTO		THS.105		FECHA: 03-07-22

#### **Anexo 4. Plano de las bases del asiento**

N7 / ( N6 ; N9 )

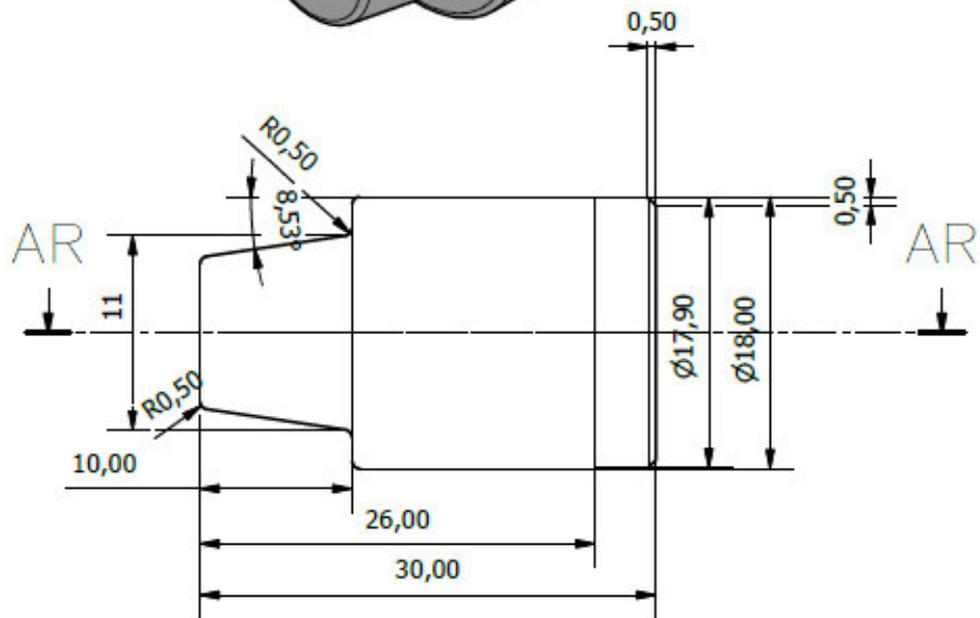
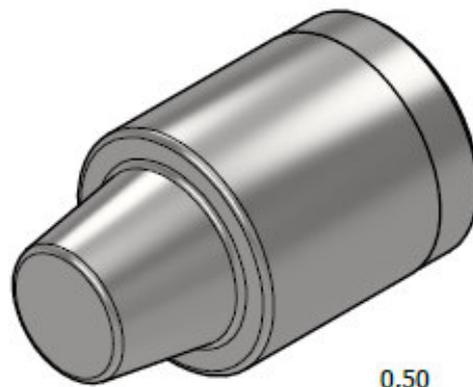


AJ-AJ ( 1 : 2 )

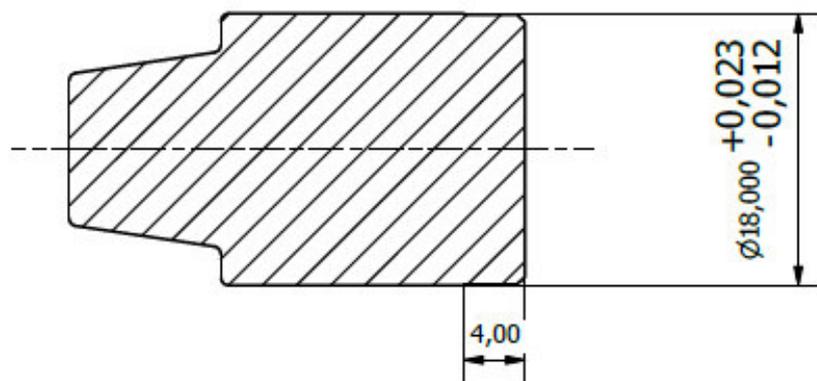


TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Galvanizado		DIB.:	Hugo Samueza
MATERIAL:	ACERO A36	Tol.Gral $\pm 0.5$	ESCALA:	1:2
			DIS.:	Hugo Samueza
			REV.:	Ing. Mario Cesén, M.Sc.
BASE DEL ASIENTO		THS.106		FECHA: 03-07-22

## **Anexo 5. Plano de pines**

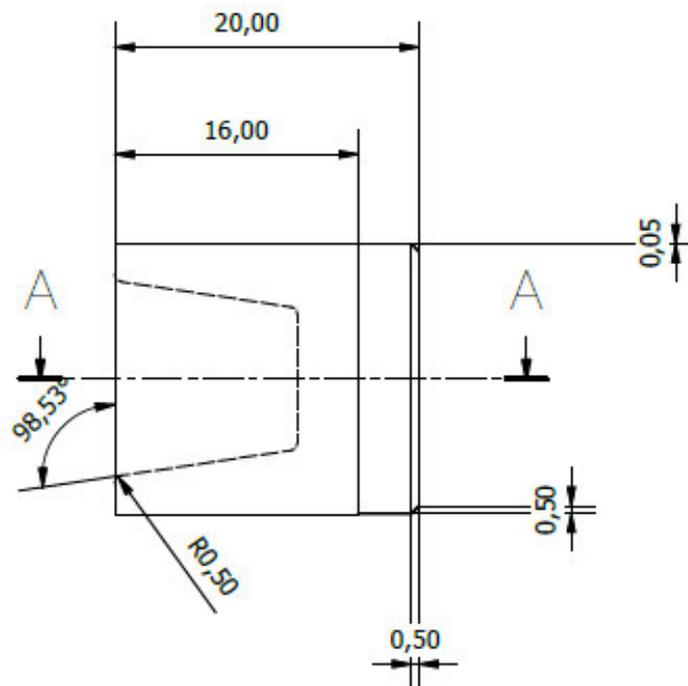
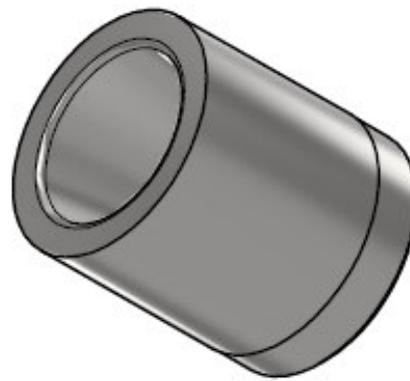


AR-AR ( 2 : 1 )

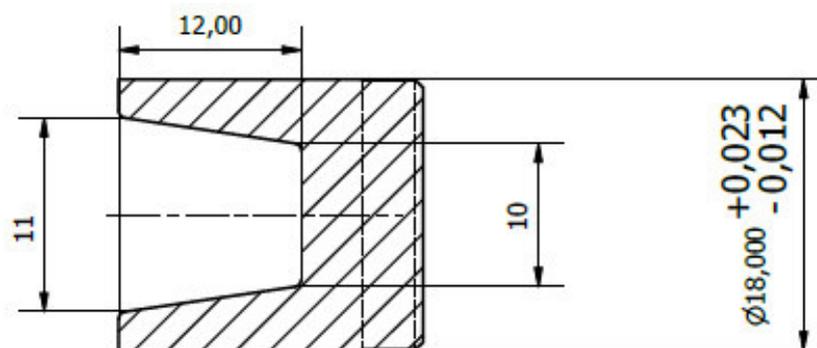


TRAT. TÉRMICO:	Tenifer	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Hugo Samueza
MATERIAL:	ACERO M201	Tol.Gral ± 0.02	ESCALA:	DIS.:
			1:1	Hugo Samueza
			REV.:	Ing. Mario Cesén, M.Sc.
PINES		THS.102		FECHA: 03-07-22

## **Anexo 6. Plano de bujes**



A-A ( 2 : 1 )



TRAT. TÉRMICO:	Tenifer	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Hugo Samueza
MATERIAL:	ACERO M201	Tol.Gral $\pm 0.02$	ESCALA:	2:1
			DIS.:	Hugo Samueza
			REV.:	Ing. Mario Cesén, M.Sc.
BUJE		THS.103		FECHA: 03-07-22

**Anexo 7. Plano de ensamble del molde**



**Anexo 8. Ficha técnica del duraluminio (aluminio 7075) de la empresa BÖHLER  
ECUADOR**

## EN AW 7075

Características de la aleación	
Aleación	ENAW 7075 [AlZn5,5MgCu]
Tipo de aleación	tratada térmicamente
Temple	T6/T651/T7351
Superficie	laminada

Características mecánicas		Valores típicos
Límite elástico	[MPa]	390 - 490
Carga de rotura	[MPa]	480 - 540
Elongación A <sub>50</sub>	[%]	2 - 6
Dureza HBW	[2,5/62,5]	130 - 160

Características físicas		Valores típicos
Densidad	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,80
Módulo elástico	[GPa]	71
Conductividad eléctrica	[m / Ωmm <sup>2</sup> ]	19 - 23
Coefficiente de expansión térmica	[K <sup>-1</sup> · 10 <sup>-6</sup> ]	23,4
Conductividad térmica	[W/m · K]	130 - 160
Capacidad térmica específica	[J/kg · K]	862

Características de proceso <sup>2)</sup>	
Estabilidad dimensional	5-6
Maquinabilidad	1
Erosión	1
Soldabilidad (Gas/TIG/MIG/Resistencia/ER)	6/6/5/2/5
Resistencia a la corrosión (atmósfera salina/intermedia/baja fatiga)	5/5/5
Utilización a temperaturas (intervalo largo/intervalo corto)	90/120
Deformabilidad	6
Anodizado (técnico/decorativo/duro) <sup>3)</sup>	4/5/2
Pulido	1
Texturizado	1
Contacto con alimentos (de acuerdo con DIN EN 602)	no

Tolerancias			
En espesor [mm]	planitud [mm] <sup>4)</sup>	espesor [mm]	anchura & longitud [mm]
10 - 200	DIN 485-3	DIN EN 485-3	DIN ISO 2768-1m

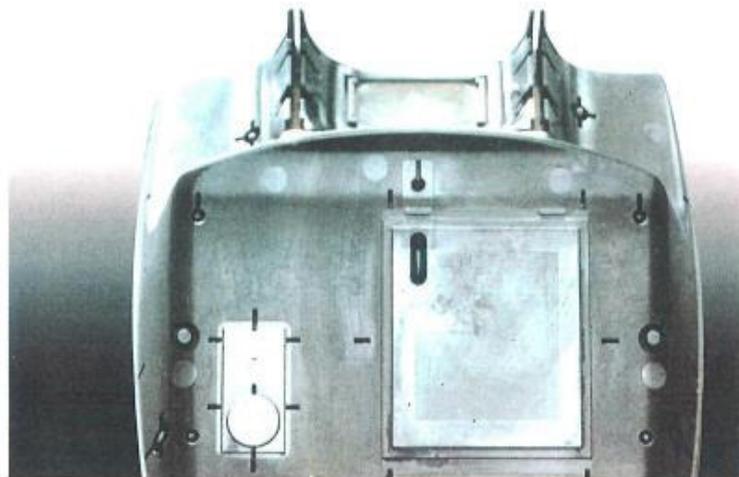
Dimensiones de las placas			
Dimensiones/placas	1520 x 3020 mm	Para espesores de 10 - 150 mm	
Dimensiones/placas	1440 x 3020 mm	Para espesores de 160 - 200 mm	
Espesores en depósito	10 - 12 mm	En pasos de a 2 mm	
Espesores en depósito	15 - 55 mm	En pasos de a 5 mm	
Espesores en depósito	60 - 150 mm	En pasos de a 10 mm	
Espesores en depósito	160 - 200 mm	En pasos de a 20 mm	

Fecha: 16.02.2011

- 1) Valores típicos a temperatura ambiente
- 2) La escala de aptitud varía de 1 (muy buena) a 6 (no aplicable)
- 3) Sólo anodizado técnico. No se garantiza acabado cosmético.
- 4) La planitud superficial de las placas de formato completo se mide con una regla digital especial de longitud 1 metro

® es una marca registrada de

**Anexo 9. Ficha técnica del acero M 201 de la empresa BÖHLER ECUADOR**



## **BOEHLER M 201 ECOPLUS**

El acero para moldes de plásticos por excelencia

# ACERO PARA MOLDES DE PLASTICOS UNA DE DOS ALTERNATIVAS

Hasta ahora, los constructores de moldes y los transformadores de plásticos se han visto obligados a adoptar decisiones alternativas en la selección de aceros previamente templados y revenidos para moldes de plásticos.

Sea que se decidían por aceros para moldes pobres en azufre (p.e. DIN 1.2311) – entonces obtenían buenas propiedades mecánicas y tecnológicas, y al mismo tiempo la desventaja del virutaje más difícil.

**Ello costaba tiempo y dinero.**

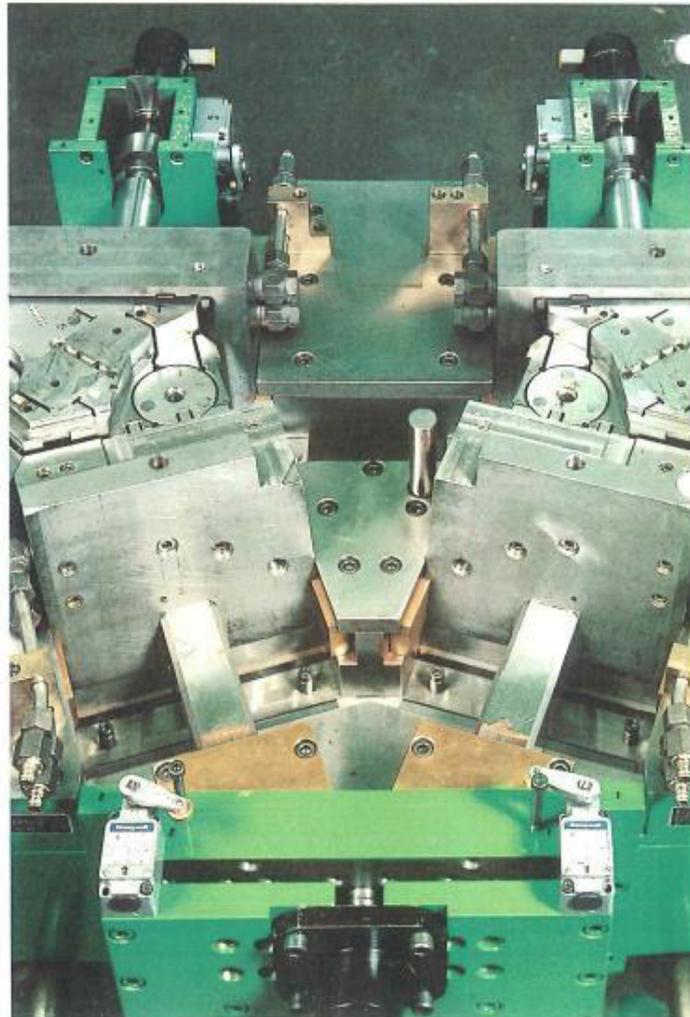
Si por otra parte se decidían por aceros para moldes aleados al azufre (p.e. DIN 1.2312), la maquinabilidad resultaba mejor, pero al mismo tiempo las propiedades mecánicas, la pulibilidad, la erosionabilidad y la atacabilidad fotográfica eran peores.

**Ello costaba calidad.**

Por tal razón siempre había que decidir entre las alternativas:  
buena maquinabilidad,  
o  
buenas propiedades mecánicas y tecnológicas.

**Estas son cuestiones de tiempos pasados.**

Para hacerle más fácil la selección, este impreso da un resumen general de las propiedades características del acero. Sin embargo, para poder garantizar propiedades y valores determinados del material, se precisará un acuerdo expreso y por escrito en cada caso individual.

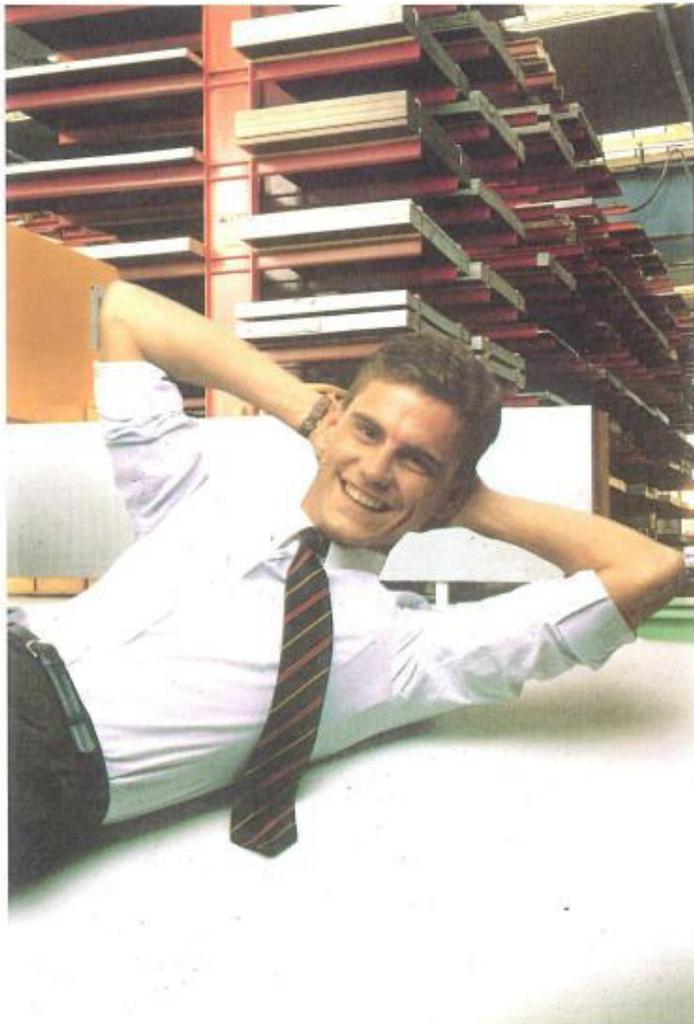


# BOEHLER M 201 ECOPLUS OFRECE LAS DOS ALTERNATIVAS.

„Una calidad nueva gracias a la  
Cueva tecnología de BOEHLER.“

- BOEHLER M 201 ECOPLUS es el ACERO PARA MOLDES DE PLÁSTICOS previamente templado y revenido, pobre en azufre, por excelencia, que al mismo tiempo reúne todas las propiedades buenas de un acero pobre en azufre y la buena maquinabilidad de un acero aleado al azufre.
- BOEHLER M 201 ECOPLUS representa la solución ideal para los problemas de los constructores de moldes y de los transformadores de plásticos. El éxito de intensas actividades de investigación y desarrollo, procedentes de la práctica y para la práctica. Una prueba más de la calidad excepcional de los aceros finos made by BOEHLER.

Las ventajas tanto para el constructor de moldes como para el transformador de plásticos son claras y evidentes.



Molde de fundición inyectada para la producción de componentes de la instalación de aire acondicionado para automóviles turismo. Foto por cortesía de la cía. Nagron Precision Tooling, Heilmünd.

# UN ACERO PARA CUALQUIER EXIGENCIA.

## Las ventajas económicas y tecnológicas de BOEHLER M 201 ECOPLUS en resumen: ECOPLUS = El plus en economía

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto grado de pureza y gran homogeneidad</li> <li>- Resistencia elevada y uniforme</li> <li>- Propiedades mecánicas óptimas</li> <li>- Tenacidad altísima</li> </ul>	<p>calidad más alta mayor duración de vida y mayor seguridad</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maquinabilidad óptima</li> <li>- Electroerosionabilidad óptima</li> <li>- Pulibilidad óptima</li> <li>- Atacabilidad fotográfica óptima</li> </ul>	<p>producción más económica junto con una calidad más elevada del útil</p>

### Aumento de la productividad:

- La maquinabilidad mejorada permite una mayor velocidad de corte y un avance más grande. Ello significa más moldes por unidad de tiempo en sus máquinas-herramienta.
- La pulibilidad, la atacabilidad fotográfica y la electroerosionabilidad mejoradas ahorran tiempo de mecanización.
- La gran tenacidad y la alta homogeneidad aumentan la duración de vida de los moldes, es decir, se obtienen más elementos de plástico de un molde.

### Reducción de costes:

- La maquinabilidad mejorada tiene como consecuencia costos de salarios y maquinaria más reducidos por molde, gracias a tiempos de mecanización más cortos, y además, una reducción del coste de útiles, gracias a una duración de vida más larga de los útiles de mecanización, y con ello costos de parada más bajos para el cambio de los útiles.
- No se requieren el tratamiento térmico y la mecanización posterior por variación de medidas, un factor considerable en cuanto a los costes,

gracias al suministro en estado previamente templado y revenido, o sea, listo para la aplicación prevista.

- Costes de almacenaje más reducidos, porque un acero para moldes previamente templado y revenido cumple con todas las exigencias.

### Seguridad:

- No puede confundirse el material, o sea, aceros pobres en azufre y aceros aleados al azufre.
- Electroerosionabilidad óptima, y por ello máxima seguridad contra la formación de grietas durante la producción.
- Se evita el riesgo de desechos producidos por el tratamiento térmico.
- Superficie de calidad óptima de los productos de plástico gracias a la pulibilidad y atacabilidad fotográfica excelentes.
- Forma de viruta favorable, y por ello gran seguridad en la producción de moldes en centros de mecanización CNC.
- La gran tenacidad significa seguridad contra el agrietamiento de los moldes durante su empleo.

### Flexibilidad:

- Un almacén de BOEHLER con un surtido completo siempre está cerca, lo que significa un suministro rápido y flexible.
- Todo lo que puede exigirse en cuanto a calidad a los aceros para moldes previamente templados y revenidos lo cumple un sólo acero. Ello permite máxima flexibilidad cuando se cambian la tecnología o los requerimientos durante la fabricación de los moldes.

### Ventajas adicionales de nuestro acero para moldes de plásticos previamente templado y revenido, BOEHLER M 201 ECOPLUS:

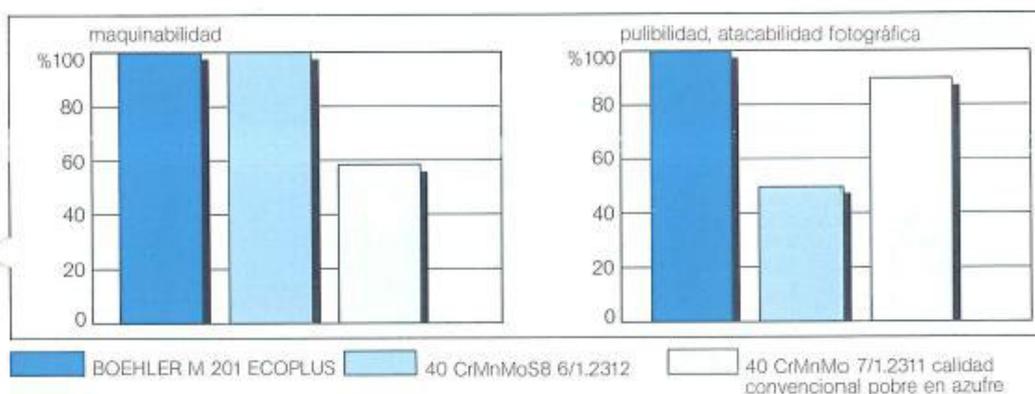
- Apto para todos los procedimientos de nitruración para obtener una resistencia al desgaste mejorada.
- Apto para el cromado duro y para toda clase de tratamiento superficial galvánico para optimar la dureza y la resistencia a la corrosión.
- Apto para el recubrimiento PVD, adhesión excelente de la capa TiN.
- Para campos de aplicación específicos es también posible la cementación en caja.

# BOEHLER M 201 ECOPLUS

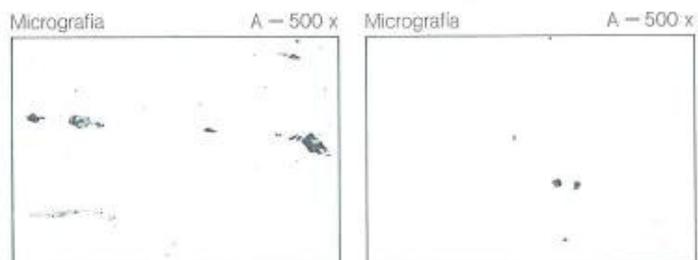
## DATOS TECNICOS

### Maquinabilidad, pulibilidad y atacabilidad fotográfica

BOEHLER M 201 ECOPLUS es la solución de problemas sin compromiso. BOEHLER M 201 ECOPLUS siempre ofrece 100%. 100% de maquinabilidad, 100% de pulibilidad y 100% de atacabilidad fotográfica.



### Inclusiones típicas



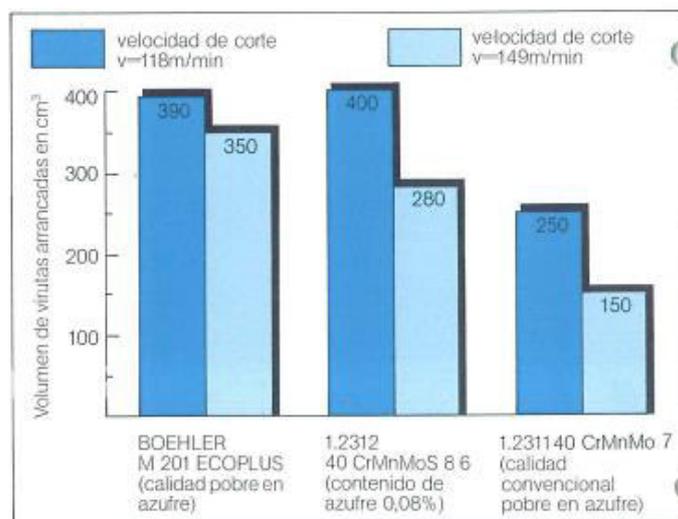
1.2311 – (calidad convencional, pobre en azufre)  
Inclusiones duras y abrasivas, poca maquinabilidad

BOEHLER M 201 ECOPLUS  
Inclusiones suaves, no abrasivas = buena maquinabilidad. Alto grado de pureza = pulibilidad óptima

### Determinación de la maquinabilidad en el ensayo de fresado en seco

Resistencia 1000 N/mm<sup>2</sup>  
Profundidad de corte 2,0 mm  
Avance 0,24 mm/diente  
Material del útil:  
Metal duro BOEHLERIT SBF/ISO P25

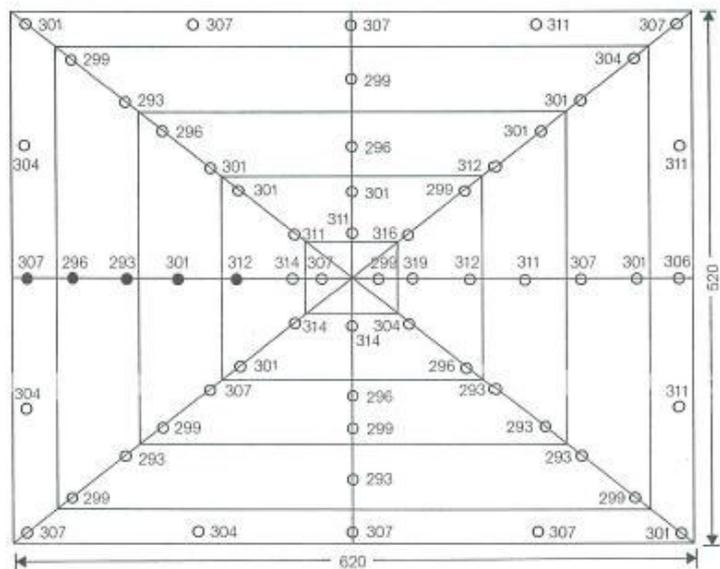
En la práctica, BOEHLER M 201 ECOPLUS ofrece el mismo grado de maquinabilidad que el acero aleado al azufre (W.Nr. 1.2312).



### Variación de los valores de dureza a través de la sección transversal

Dureza Brinell, HB  
Sección transversal: 620 x 520 mm

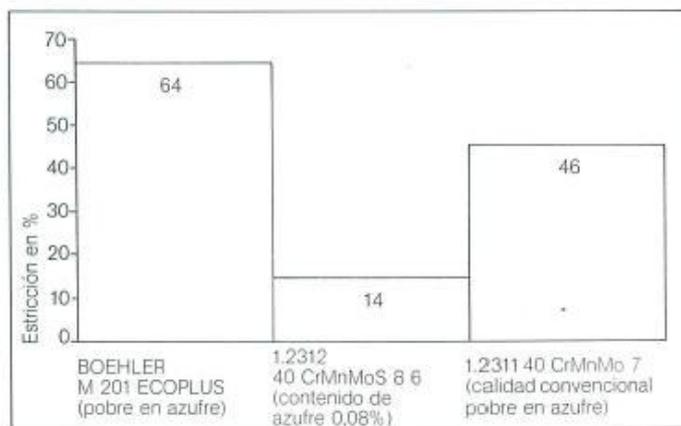
La figura muestra los valores de dureza típicos en la sección transversal de BOEHLER M 201 ECOPLUS. No hay disminución de dureza en el centro, tampoco en el caso de grandes dimensiones.



### La estricción como medida de la tenacidad

Resistencia: 1000 N/mm<sup>2</sup>  
Probetas transversales

BOEHLER M 201 ECOPLUS ofrece una tenacidad considerablemente más alta = más seguridad para el taller transformador de plásticos.



## Composición química (valores medios en %)

C	Si	Mn	Cr	Mo
0,4	0,3	1,5	2,0	0,2

Comparación de la calidad de BOEHLER con los materiales standard más similares. Las desviaciones en cuanto a la composición química se indican con „-“.

## Normas

DIN	AISI	AFNOR
1.2311 40CrMnMo 7	P 20	40CMD8
~1.2312 40CrMnMoS 8 6		

Los requerimientos para los materiales standard, determinados en normas, pueden ser diferentes de la calidad correspondiente de BOEHLER, incluso en el caso de una composición química análoga.

## Estado de suministro

Templado y revenido a aprox. 1000 N/mm<sup>2</sup> (aprox. 300 HB). Por lo tanto, no se requiere un tratamiento térmico. En caso de un tratamiento térmico posterior, p.e., para obtener una resistencia más alta, deberán observarse las instrucciones siguientes:

temple/permanencia en el horno: 1 hora por cada 20 mm de espesor de la pieza, pero por lo menos 2 horas/enfriamiento al aire. Despréndanse del cuadro de revenido los valores orientativos para la dureza.

## Aplicación:

Moldes de tamaño medio y grande para la transformación de materiales plásticos, armazones de moldes para las industrias de plásticos y de fundición inyectada. Elementos para la construcción de maquinaria y útiles en general.

## Instrucciones para el tratamiento

### Conformación en caliente:

1050–850°C/enfriamiento lento en el horno, en material termoaislante o al aire quieto.

### Recocido blando:

720–740°C/enfriamiento lento y controlado en el horno a una velocidad de 10 a 20°C por hora hasta aprox. 600°C, enfriamiento subsiguiente al aire. Dureza después del recocido blando: 230 HB, máx.

### Recocido para eliminar tensiones:

Aprox. 600°C; en estado templado y revenido aprox. 30–50°C por debajo de la temperatura de revenido/después de un calentamiento a fondo, permanencia al mismo nivel de temperatura durante 1–2 horas en atmósfera neutral/enfriamiento lento en el horno.

### Temple:

860–880°C/aire

840–860°C/aceite

Tiempo de permanencia después del calentamiento a fondo: 15–30 minutos. Dureza obtenible: 55 HRC, aprox.

### Revenido:

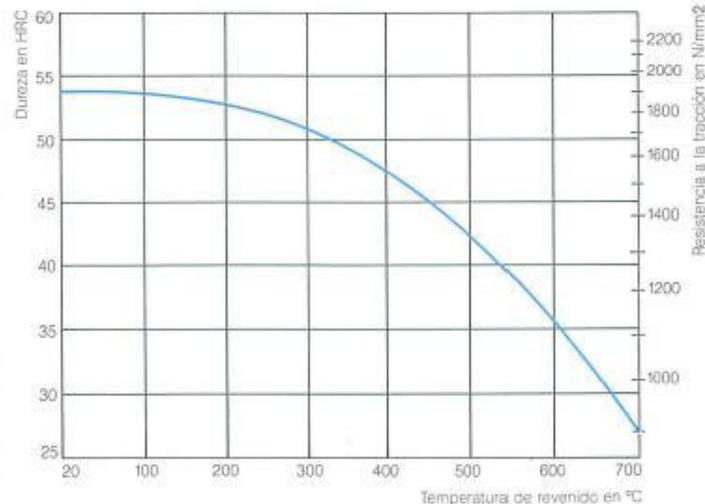
Calentamiento lento a temperatura de revenido inmediatamente después del

## Cuadro de revenido para BOEHLER M 201 ECOPLUS

Temperatura de temple: 850°C

Diámetro de la probeta: cuadrada,

50 mm



### Nitruración

Pueden aplicarse todos los procedimientos de nitruración.

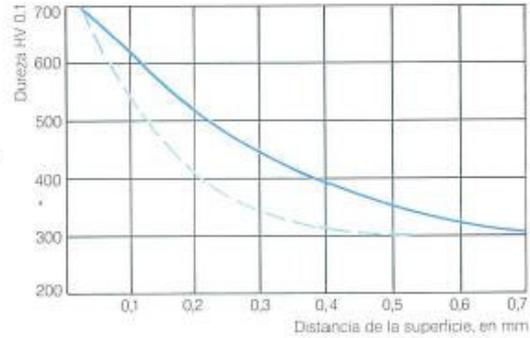
### Temple a la llama y por inducción

Es posible el temple a la llama y por inducción: Dureza obtenible aprox. 50 HRC. Se recomienda el revenido inmediatamente después del temple.

### Cementación en caja

Para aplicaciones específicas también es posible la cementación en caja. Carburación: 880-980°C. Temple: como antes. Revenido: Valores orientativos para la dureza superficial después del revenido: 62 HRC a 200°C, 59 HRC a 300°C, 55 HRC a 400°C.

Variación de la dureza en la capa nitrurada  
 — nitruración con gas en una corriente de amoníaco, 50 horas a 520°C  
 — nitruración en baño (proceso Terifer), 2 horas a 570°C



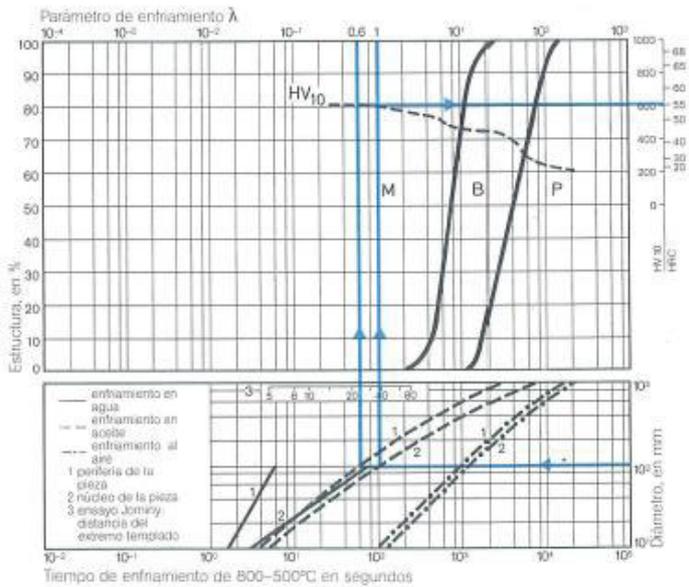
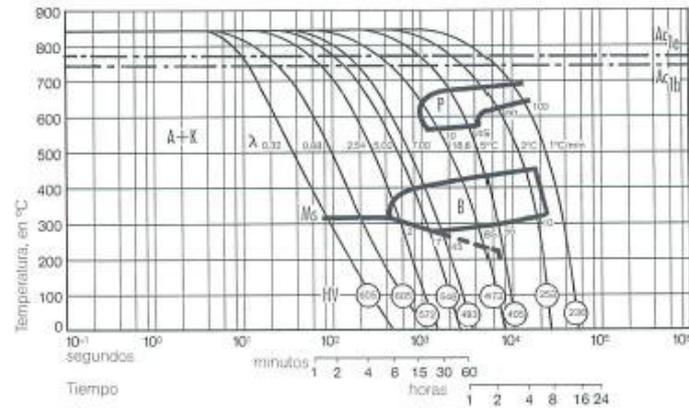
### Diagrama TTT para enfriamiento continuo

Composición química, en %

C Si Mn P S Cr Mo  
 0,38 0,40 1,43 0,012 0,003 1,82 0,17

Temperatura de austenitización: 840°C

Tiempo de permanencia: 15 minutos



### Diagrama cuantitativo de estructura de estructura

Ejemplo:  
 Ø 100 mm, enfriamiento en aceite:  
 $\lambda$  superficie: 0,6  
 $\lambda$  núcleo:  $10^0 = 1,0$   
 Dureza de la superficie y del núcleo:  
 55 HRC aprox.  
 Estructura de la superficie y del núcleo:  
 100% de martensita.

## Soldadura

Si se tienen en cuenta las instrucciones respectivas, pueden eliminarse defectos menores de mecanización, y también pueden modificarse grabados en estado templado y revenido (resistencia 1000 N/mm<sup>2</sup>, aprox.) Soldaduras de recargue en grandes superficies solamente son posibles en estado recocido blando y requieren un temple y revenido posterior. En todos los casos recomendamos la soldadura por arco eléctrico a mano con el electrodo BOEHLER FOX CM2 Kb, o la soldadura TIG con la vaina BOEHLER CM2-IG. El metal depositado es apto para la mecanización.

### Instrucciones de soldadura:

- Deben rectificarse a fondo las capas nitruradas y cementadas en caja, así como grietas superficiales en la zona de soldadura.
- Compruébese la inexistencia de grietas mediante el ensayo de penetración de colorantes. Evitense cantos agudos en la preparación de la soldadura.
- Los radios de transiciones deben tener por lo menos 3 mm.
- Debe precalentarse la pieza en forma lenta y uniforme antes del soldeo hasta 300–350°C, si es posible, en un horno de precalentamiento.
- Las grietas rectificadas a fondo deben ser rellenadas mediante el electrodo BOEHLER FOX DCMS Kb o con el alambre de soldar BOEHLER DCMS-IG (proceso TIG).
- Debe ejecutarse el recargue con electrodos finos con bajo amperaje, poca aportación de calor, depositando cordones lineares de 2–3 cm de longitud, oscilando ligeramente el electrodo.
- Hay que martillear ligeramente cada cordón de soldadura para disminuir las tensiones por contracción.
- Terminese sin interrupción el soldeo, manteniendo una temperatura mínima de precalentamiento de 300°C.
- Enfriar la pieza lentamente en el horno o bajo material termoaislante después de haber terminado los trabajos de soldadura. Revenir a continuación a 550–600°C.

## Propiedades físicas

Densidad a 20°C	7,85	g/cm <sup>3</sup>					
Módulo de elasticidad a 20°C	210.10 <sup>3</sup>	N/mm <sup>2</sup>					
Conductividad térmica a 20°C	33	W/(m.K)					
Conductividad térmica a 100°C	33	W/(m.K)					
Conductividad térmica a 200°C	33,5	W/(m.K)					
Conductividad térmica a 300°C	35,5	W/(m.K)					
Conductividad térmica a 400°C	33,5	W/(m.K)					
Calor específico a 20°C	0,46	J/(g.K)					
Resistividad eléctrica específica a 20°C	0,19	Ohm. mm <sup>2</sup> /m					
Expansión térmica entre 20°C y	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	700°C
	12,8	13,0	13,8	14,0	14,2	14,2	14,5
							10 <sup>-5</sup> m/(m.K)

## INSTRUCCIONES PARA LA MECANIZACION

Condición: templado y revenido a 1000 N/mm<sup>2</sup>, aprox. (valores medios)

### Torneado con metal duro

Profundidad de corte, en mm	0,5 hasta 1	1 hasta 4	4 hasta 8	superior a 8
Avance, en mm/rev.	0,1 hasta 0,3	0,2 hasta 0,4	0,3 hasta 0,6	0,5 hasta 1,5
Calidad BOEHLERIT	SB 10, SB 20	EB 10, SB 10, SB 20	SB 30, EB 20	SB 30, SB 40
Calidad ISO	P10, P20	P10, P20, M10	P30, M20	P30, P40

#### Velocidad de corte, en m/min

Plaquetas de corte recambiables Duración del filo: 15 min.	230 hasta 170	180 hasta 130	130 hasta 100	90 hasta 65
herramientas de metal duro soldadas con latón Duración del filo: 30 min.	170 hasta 130	155 hasta 105	110 hasta 80	90 hasta 55
Plaquetas de corte recambiables con recubrimiento BOEHLERIT ROYAL 121/ISO P25	hasta 230	hasta 200	hasta 150	hasta 100
BOEHLERIT ROYAL 131/ISO P35	hasta 160	hasta 160	hasta 120	hasta 80

#### Ángulos de corte para útiles de metal duro soldadas con latón

Angulo de despullo	6 hasta 8°	6 hasta 8°	6 hasta 8°	6 hasta 8°
Angulo de desprendimiento	6 hasta 12°	6 hasta 12°	6 hasta 12°	6 hasta 12°
Angulo de inclinación	0°	- 4°	- 4°	- 4°

### Torneado con acero rápido

Profundidad de corte, en mm	0,5	3	6
Avance, en mm/rev.	0,1	0,4	0,8
Calidad de acero rápido según DIN	S 700/S 10-4-3-10		

#### Velocidad de corte, en m/min.

Duración del filo: 60 min.	35 hasta 25	30 hasta 20	25 hasta 15
Angulo de desprendimiento	14°	14°	14°
Angulo de despullo	8°	8°	8°
Angulo de inclinación	- 4°	- 4°	4°

### Fresado con cabezales de cuchillas

Avance, mm/diente	hasta 0,2
-------------------	-----------

#### Velocidad de corte, en m/min.

BOEHLERIT SBF/ISO P25	150 hasta 90
BOEHLERIT SB 40/ISO P40	100 hasta 75
BOEHLERIT ROYAL 131/ISO P35	110 hasta 90

### Taladrado con metal duro

Diámetro del taladro, en mm	3 hasta 8	8 hasta 20	20 hasta 40
Avance, en mm/rev.	0,02 hasta 0,05	0,05 hasta 0,12	0,12 hasta 0,18
Calidad de metal duro BOEHLERIT	HB 10/K 10	HB 10/K 10	HB 10/K 10
Velocidad de corte, en m/min.	65 hasta 50	65 hasta 50	65 hasta 50
Angulo de punta	115 hasta 120°	115 hasta 120°	115 hasta 120°
Angulo de despullo	5°	5°	5°

**Anexo 10. Ficha técnica del acero A36 de la empresa Oxicortes**

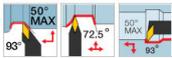
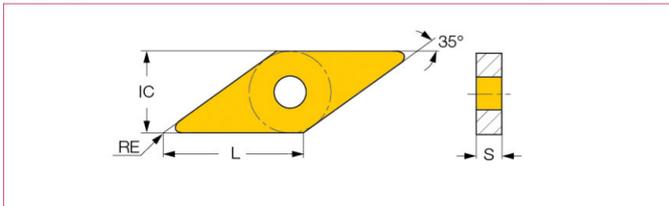


**Anexo 11. Ficha técnica del inserto VNMG 12T304-NF**



**ISOTURN**

Family Designation: **VNMG/VNMG-NF** Double-sided 35° rhombic inserts for semi-finishing and finishing applications. Low cutting forces due to very sharp edge and positive rake.



Item Designation: **VNMG 12T304-NF**

Non ISO ISO 13399

L	IC	S	RE	ft (min)	ft (max)	ap (min)	APMX
12.40	7.15	3.97	0.40	0.07	0.24	0.70	2.00

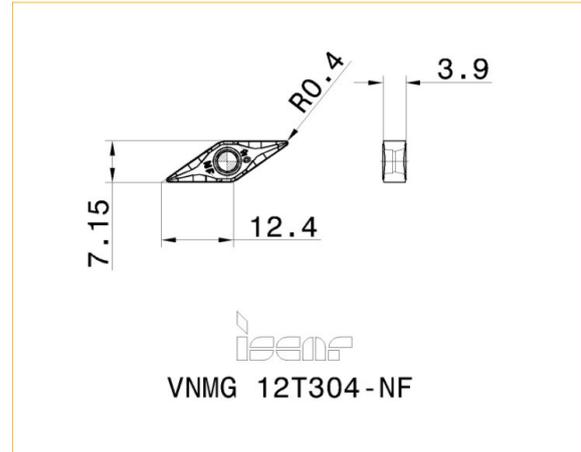
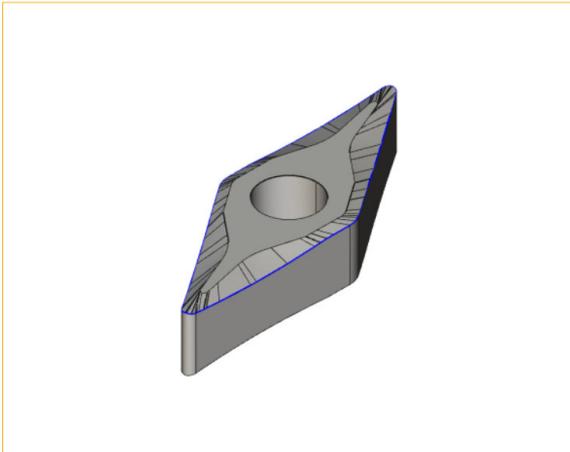
3D Representation

Light  Detailed



2D Representation

ISO



Velocidad de corte para: VNMG 12T304-NF IC20N - 5502810

YO ASI	Material	Designación de material	Condición de los materiales	Dureza	Recomendaciones de velocidad de corte (Vc)
PAGS	1	Acero sin alear y fundición de acero, acero de fácil mecanización <0,25% C	recocido	125 hb	250-400 m/min
PAGS	2	Acero sin alear y fundición de acero, acero de fácil mecanización >=0,25% C	recocido	190 MP	220-350 m/min
PAGS	3	Acero sin alear y fundición de acero, acero de fácil mecanización <0,55% C	Templado y revenido	250 hb	180-320 m/min
PAGS	4	Acero sin alear y fundición de acero, acero de fácil mecanización >=0,55% C	recocido	220 hb	210-340 m/min
PAGS	5	Acero sin alear y fundición de acero, acero de fácil mecanización >=0,55% C	Templado y revenido.	300 hb	160-300 m/min
PAGS	6	Acero de baja aleación y fundición (menos del 5% de elementos de aleación)	recocido	200 HB	180-320 m/min
PAGS	7	Acero de baja aleación y fundición (menos del 5% de elementos de aleación)	Templado y revenido	275 hb	170-300 m/min
PAGS	8	Acero de baja aleación y fundición (menos del 5% de elementos de aleación)	Templado y revenido	300 hb	160-250 m/min
PAGS	9	Acero de baja aleación y fundición (menos del 5% de elementos de aleación)	Templado y revenido	350 hb	150-220 m/min
PAGS	10	Acero de alta aleación, fundición de acero y acero para herramientas	recocido	200 HB	180-300 m/min
PAGS	11	Acero de alta aleación, fundición de acero y acero para herramientas	Templado y revenido	325 HB	150-220 m/min
norte	21	Aleaciones de aluminio forjado	no curable	60 HB	1000-2500 m/min
norte	22	Aleaciones de aluminio forjado	Curado	100 HB	300-1000 m/min
norte	23	Aleaciones de fundición de aluminio <=12% Si	no curable	75 HB	300-1000 m/min
norte	24	Aleaciones de fundición de aluminio <=12% Si	Curado	90 HB	200-600 m/min
norte	26	Aleaciones de cobre >1% Pb	corte libre	110 MP	250-600 m/min
norte	27	Aleaciones de cobre	Latón	90 HB	180-400 m/min
norte	28	Aleaciones de cobre	Cobre electrolítico	100 HB	150-300 m/min
S	31	Alta temperatura. aleaciones a base de Fe	recocido	200 HB	35-45 m/min
S	32	Alta temperatura. aleaciones a base de Fe	Curtido	280 hb	25-35 m/min
S	33	Alta temperatura. aleaciones a base de Ni o Co	recocido	250 hb	25-30 m/min
S	34	Alta temperatura. aleaciones. Basado en Ni o Co	Curado	350 hb	15-25 m/min
S	35	Alta temperatura. aleaciones. Basado en Ni o Co	Emitir	320 hb	20-30 m/min
S	36	Titanio (puro)	Puro	190 MP	80-160 m/min
S	37	Aleaciones de titanio	Aleaciones alfa+beta	310 MP	40-50 m/min

## **Anexo 12. Código asiento del molde**

G18 G40 G49 G90 G94	G1 Z-0.599	G1 X32.6F80
G80 G21	G0 X-0.401	G1 Z-0.599
S850 M3 M8	G0 Z-1.399	G0 X-0.401
G4 P5	G1 Z-1.8F10	G0 Z-5.799
M6 T0101	G1 X32.6F80	G1 Z-6.2F10
G0 X50.301 Z0.301	G1 Z-0.599	G1 X32.6F80
F125	G0 X-0.401	G1 Z-0.599
G0 Z-0.3	G0 Z-1.799	G0 X-0.401
G1 X0.3F125	G1 Z-2.2F10	G0 Z-6.199
G0 Z0.301	G1 X32.6F80	G1 Z-6.6F10
G0 X50.301	G1 Z-0.599	G1 X32.6F80
G0 Z-0.6	G0 X-0.401	G1 Z-0.599
G1 X0.3F125	G0 Z-2.199	G0 X-0.401
G0 Z0.301	G1 Z-2.6F10	G0 Z-6.409
G0 X50.301	G1 X32.6F80	G1 Z-6.81F10
G0 Z-0.7	G1 Z-0.599	G1 X32.6F80
G1 X0.3F125	G0 X-0.401	G1 Z-0.599
G0 Z0.301	G0 Z-2.599	G0 X-0.401
G0 X50.301	G1 Z-3F10	G0 Z-6.509
G0 Z-1	G1 X32.6F80	G1 Z-6.91F10
F100	G1 Z-0.599	F60
G1 X0	G0 X-0.401	G1 X32.7
G0 Z0.301	G0 Z-2.999	G1 Z-0.599
G0 X45.801 Z-0.199	G1 Z-3.4F10	G0 X32.7 Z-6.509
F125	G1 X32.6F80	F80
G0 X44.2	G1 Z-0.599	G0 X31.7333
G1 Z-40.7	G0 X-0.401	G1 X32.7 Z-7.8767
G0 X45.001 Z-40.199	G0 Z-3.399	G0 Z-6.509
G0 Z-0.199	G1 Z-3.8F10	G0 X31.1676
G0 X43.4	G1 X32.6F80	G1 X32.7 Z-8.4424
G1 Z-40.7	G1 Z-0.599	G0 Z-6.509
G0 X44.201 Z-40.199	G0 X-0.401	G0 X30.6019
G0 Z-0.199	G0 Z-3.799	G1 X32.7 Z-9.0081
G0 X43.1	G1 Z-4.2F10	G0 Z-6.509
G0 Z-0.199	G1 X32.6F80	G0 X30.0363
G1 Z-40.7	G1 Z-0.599	G1 X32.7 Z-9.31
G1 X45.801	G0 X-0.401	G1 X32.7
G0 Z-0.199	G0 Z-4.199	G0 Z-6.509
G0 X40.3	G1 Z-4.6F10	G0 X29.4706
G1 Z-1	G1 X32.6F80	G1 X32.2716 Z-9.31
G1 X43.1 Z-2.1	G1 Z-0.599	G1 X32.7
G0 Z-0.199	G0 X-0.401	G0 Z-6.509
G0 X37.80	G0 Z-4.599	G0 X28.9049
F100	G1 Z-5F10	G1 X31.7059 Z-9.31
G1 Z-1	G1 X32.6F80	G1 X32.7
G1 X42.8 Z-3.89	G1 Z-0.599	G0 Z-6.509
G1 Z-41	G0 X-0.401	G0 X28.3392
G1 X45.801	G0 Z-4.999	G1 X31.1402 Z-9.31
G0 Z-0.199	G1 Z-5.4F10	G1 X32.7
G0 X-0.401 Z-0.599	G1 X32.6F80	G0 Z-6.509
F80	G1 Z-0.599	G0 X27.7735
G0 Z-0.999	G0 X-0.401	G1 X30.5745 Z-9.31
G1 Z-1.4F10	G0 Z-5.399	G1 X32.7
G1 X32.6F80	G1 Z-5.8F10	G0 Z-6.509

G0 X27.2078  
G1 X30.0088 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X26.6421  
G1 X29.4431 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X26.0765  
G1 X28.8775 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X25.5108  
G1 X28.3118 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X24.9451  
G1 X27.7461 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X24.3794  
G1 X27.1804 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X23.8137  
G1 X26.6147 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X23.248  
G1 X26.049 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X22.6823  
G1 X25.4833 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X22.1167  
G1 X24.9177 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X21.551  
G1 X24.352 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X20.9853  
G1 X23.7863 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X20.4196  
G1 X23.2206 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X19.8539  
G1 X22.6549 Z-9.31

G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X19.2882  
G1 X22.0892 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X18.7225  
G1 X21.5235 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X18.1569  
G1 X20.9579 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X17.5912  
G1 X20.3922 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X17.0255  
G1 X19.8265 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X16.4598  
G1 X19.2608 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X15.8941  
G1 X18.6951 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X15.3284  
G1 X18.1294 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X14.7628  
G1 X17.5638 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X14.1971  
G1 X16.9981 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X13.6314  
G1 X16.4324 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X13.0657  
G1 X15.8667 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X12.5  
G1 X15.301 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509

G0 X11.9343  
G1 X14.7353 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X11.3686  
G1 X14.1696 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X10.803  
G1 X13.604 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X10.2373  
G1 X13.0383 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X9.6716  
G1 X12.4726 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X9.1059  
G1 X11.9069 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X8.5402  
G1 X11.3412 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X7.9745  
G1 X10.7755 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X7.4088  
G1 X10.2098 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X6.8432  
G1 X9.6442 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X6.2775  
G1 X9.0785 Z-9.31  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X5.823  
G1 X8.624 Z-9  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
F60  
G1 X5.723  
G1 X8.624 Z-9  
G1 X32.7  
G0 Z-6.509  
G0 X28.201 Z-9.009

F80	G1 X24.649 Z-15.31	G0 X30.6
G0 X26.8333	G1 X28.201	G1 Z-14.4312
G1 X28.201 Z-10.3767	G0 Z-9.009	G0 X30.199 Z-14.0302
G0 Z-9.009	G0 X17.7823	G0 Z-8.999
G0 X26.2676	G1 X24.0833 Z-15.31	G0 X31
G1 X28.201 Z-10.9424	G1 X28.201	G1 Z-14.1208
G0 Z-9.009	G0 Z-9.009	G0 X30.599 Z-13.7198
G0 X25.7019	G0 X17.2167	G0 Z-8.999
G1 X28.201 Z-11.5081	G1 X23.5177 Z-15.31	G0 X31.4
G0 Z-9.009	G1 X28.201	G1 Z-13.7342
G0 X25.1363	G0 Z-9.009	G0 X30.999 Z-13.3332
G1 X28.201 Z-12.0737	G0 X16.651	G0 Z-8.999
G0 Z-9.009	G1 X22.952 Z-15.31	G0 X31.8
G0 X24.5706	G1 X28.201	G1 Z-13.2402
G1 X28.201 Z-12.6394	G0 Z-9.009	G0 X31.399 Z-12.8392
G0 Z-9.009	G0 X16.0853	G0 Z-8.999
G0 X24.0049	G1 X22.3863 Z-15.31	G0 X32.2
G1 X28.201 Z-13.2051	G1 X28.201	G1 Z-12.5664
G0 Z-9.009	G0 Z-9.009	G0 X31.799 Z-12.1654
G0 X23.4392	G0 X15.623	G0 Z-8.999
G1 X28.201 Z-13.7708	G1 X21.924 Z-15.31	G0 X32.6
G0 Z-9.009	G1 X28	G1 Z-11.3949
G0 X22.8735	G0 Z-9.009	G0 X32.199 Z-10.9939
G1 X28.201 Z-14.3365	F60	G0 Z-8.999
G0 Z-9.009	G1 X15.523	G0 Z-8.999
G0 X22.3078	G1 X21.924 Z-15.41	G0 X32.7
G1 X28.201 Z-14.9022	G1 X27.8	G1 Z-10.41
G0 Z-9.009	G0 Z-9.009	G02 X27.8 Z-15.31 I-4.9
G0 X21.7421	F80	K0
G1 X28.0431 Z-15.31	G0 X28.2	G1 X21.8
G1 X28.201	G1 Z-15.2936	G0 Z0
G0 Z-9.009	G0 X27.799 Z-14.8926	F60
G0 X21.1765	G0 Z-8.999	G0 X32.8
G1 X27.4775 Z-15.31	G0 X28.6	G1 Z-10.41
G1 X28.201	G1 Z-15.2443	G02 X27.8 Z-15.41 I-5
G0 Z-9.009	G0 X28.199 Z-14.8433	K0
G0 X20.6108	G0 Z-8.999	G1 X21.8
G1 X26.9118 Z-15.31	G0 X29	G1 X16.39 Z-10
G1 X28.201	G1 Z-15.1608	G03 X14.97 Z-9.41 I0 K-
G0 Z-9.009	G0 X28.599 Z-14.7598	2
G0 X20.0451	G0 Z-8.999	G1 X9.33
G1 X26.3461 Z-15.31	G0 X29.4	G02 X7.91 Z-8.83 I2 K0
G1 X28.201	G1 Z-15.0414	G1 X6.59 Z-7.5
G0 Z-9.009	G0 X28.999 Z-14.6404	G03 X5.17 Z-6.91 I0 K-2
G0 X19.4794	G0 Z-8.999	G1 X0
G1 X25.7804 Z-15.31	G0 X29.8	G0 Z5
G1 X28.201	G1 Z-14.8833	G0 X50 Z50
G0 Z-9.009	G0 X29.399 Z-14.4823	G28
G0 X18.9137	G0 Z-8.999	M5 M9 M70
G1 X25.2147 Z-15.31	G0 X30.2	G4 P1
G1 X28.201	G1 Z-14.682	M71
G0 Z-9.009	G0 X29.799 Z-14.281	M30
G0 X18.348	G0 Z-8.999	

### **Anexo 13. Bases del asiento**

G18 G40 G49 G90 G94  
G80 G21  
S850 M3 M8  
G4 P5  
M6 T0101  
G0 X84.801 Z0.301  
F125  
G0 Z-0.3  
G1 X0.1F125  
G0 Z0.301  
G0 X84.801  
G0 Z-0.6  
G1 X0.1F125  
G0 Z0.301  
G0 X84.801  
G0 Z-0.9  
G1 X0.1F125  
G0 Z0.301  
G0 X84.801  
G0 Z-0.9  
G1 X0.1F125  
G0 Z0.301  
G0 X84.801  
G0 Z-1  
F100  
G1 X0  
G0 Z0.301  
G0 X14.699 Z-0.199  
F125  
G0 Z-0.999  
G1 Z-1.8F10  
G1 X42.9F125  
G1 Z-0.199  
G0 X14.699  
G0 Z-1.799  
G1 Z-2.6F10  
G1 X42.9F125  
G1 Z-0.199  
G0 X14.699  
G0 Z-2.599  
G1 Z-3.4F10  
G1 X42.9F125  
G1 Z-0.199  
G0 X14.699  
G0 Z-3.399  
G1 Z-4.2F10  
G1 X42.9F125  
G1 Z-0.199  
G0 X14.699  
G0 Z-4.199  
G1 Z-5F10  
G1 X42.9F125  
G1 Z-0.199  
G0 X14.699

G0 Z-4.999  
G1 Z-5.8F10  
G1 X42.9F125  
G1 Z-0.199  
G0 X14.699  
G0 Z-5.799  
G1 Z-6.6F10  
G1 X42.9F125  
G1 Z-0.199  
G0 X14.699  
G0 Z-6.599  
G1 Z-7.4F10  
G1 X42.9F125  
G1 Z-0.199  
G0 X14.699  
G0 Z-7.399  
G1 Z-8.2F10  
G1 X42.9F125  
G1 Z-0.199  
G0 X14.699  
G0 Z-8.199  
G1 Z-9F10  
G1 X42.9F125  
G1 Z-0.199  
G0 X14.699  
G0 Z-8.999  
G1 Z-9.8F10  
G1 X42.9F125  
G1 Z-0.199  
G0 X14.699  
G0 Z-9.799  
G1 Z-10.6F10  
G1 X42.9F125  
G1 Z-0.199  
G0 X14.699  
G0 Z-10.599  
G1 Z-11.4F10  
G1 X42.9F125  
G1 Z-0.199  
G0 X14.699  
G0 Z-11.399  
G1 Z-12.2F10  
G1 X42.9F125  
G1 Z-0.199  
G0 X14.699  
G0 Z-12.199  
G1 Z-13F10  
G1 X42.9F125  
G1 Z-0.199  
G0 X14.699  
G0 Z-12.999  
G1 Z-13.8F10  
G1 X42.9F125  
G1 Z-0.199

G0 X14.699  
G0 Z-13.799  
G1 Z-14.6F10  
G1 X42.9F125  
G1 Z-0.199  
G0 X14.699  
G0 Z-14.599  
G1 Z-15.4F10  
G1 X42.9F125  
G1 Z-0.199  
G0 X14.699  
G0 Z-15.399  
G1 Z-16.2F10  
G1 X42.9F125  
G1 Z-0.199  
G0 X14.699  
G0 Z-16.199  
G1 Z-17F10  
G1 X42.9F125  
G1 Z-0.199  
G0 X14.699  
G0 Z-16.999  
G1 Z-17.8F10  
G1 X42.9F125  
G1 Z-0.199  
G0 X14.699  
G0 Z-17.799  
G1 Z-18.6F10  
G1 X42.9F125  
G1 Z-0.199  
G0 X14.699  
G0 Z-18.599  
G1 Z-19.4F10  
G1 X42.9F125  
G1 Z-0.199  
G0 X14.699  
G0 Z-19.399  
G1 Z-20.2F10  
G1 X42.9F125  
G1 Z-0.199  
G0 X14.699  
G0 Z-19.599  
G1 Z-20.4F10  
G1 X42.9F125  
G1 Z-0.199  
G1 X43 Z-1  
G1 Z-20.5  
G1 X14  
G0 X14.699 Z-19.699  
F125  
G0 Z-20.499  
G1 Z-21.3F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699

G0 X14.699  
G0 Z-21.299  
G1 Z-22.1F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G0 X14.699  
G0 Z-22.099  
G1 Z-22.9F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G0 X14.699  
G0 Z-22.899  
G1 Z-23.7F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G0 X14.699  
G0 Z-23.699  
G1 Z-24.5F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G0 X14.699  
G0 Z-24.499  
G1 Z-25.3F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G0 X14.699  
G0 Z-25.299  
G1 Z-26.1F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G0 X14.699  
G0 Z-26.099  
G1 Z-26.9F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G0 X14.699  
G0 Z-26.899  
G1 Z-27.7F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G0 X14.699  
G0 Z-27.699  
G1 Z-28.5F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G0 X14.699  
G0 Z-28.499  
G1 Z-29.3F10

G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G0 X14.699  
G0 Z-29.299  
G1 Z-30.1F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G0 X14.699  
G0 Z-30.099  
G1 Z-30.9F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G0 X14.699  
G0 Z-30.899  
G1 Z-31.7F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G0 X14.699  
G0 Z-31.699  
G1 Z-32.5F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G0 X14.699  
G0 Z-32.499  
G1 Z-33.3F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G0 X14.699  
G0 Z-33.299  
G1 Z-34.1F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G0 X14.699  
G0 Z-34.099  
G1 Z-34.9F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G0 X14.699  
G0 Z-34.899  
G1 Z-35.7F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G0 X14.699  
G0 Z-35.699  
G1 Z-36.5F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G0 X14.699

G0 Z-36.499  
G1 Z-37.3F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G0 X14.699  
G0 Z-37.299  
G1 Z-38.1F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G0 X14.699  
G0 Z-38.099  
G1 Z-38.9F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G0 X14.699  
G0 Z-38.899  
G1 Z-39.7F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G0 X14.699  
G0 Z-39.699  
G1 Z-40.5F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G0 X14.699  
G0 Z-40.499  
G1 Z-41.3F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G0 X14.699  
G0 Z-41.099  
F100  
G1 Z-41.9F10  
G1 X36.7F125  
G1 Z-19.699  
G1 X37.8  
G1 Z-20.5  
G1 X36.8 Z-21.5  
G1 Z-42  
G1 X35  
G0 Z5  
G0 X50 Z50  
G28  
M5 M9 M70  
G4 P1  
M71  
M30

**Anexo 14. Cavity interna del molde desbaste**

G18 G40 G49 G90 G94  
G80  
S200 M3 M8  
G4 P5  
M6 T0101  
M3  
;DESBASTE 1  
G0 X15.199 Z0.801  
F80  
G0 Z0.001  
G1 Z-0.8F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-0.799  
G1 Z-1.6F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-1.599  
G1 Z-2.4F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-2.399  
G1 Z-3.2F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-3.199  
G1 Z-4F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-3.999  
G1 Z-4.8F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-4.799  
G1 Z-5.6F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-5.599  
G1 Z-6.4F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-6.399  
G1 Z-7.2F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199

G0 Z-7.199  
G1 Z-8F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-7.999  
G1 Z-8.8F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-8.799  
G1 Z-9.6F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-9.599  
G1 Z-10.4F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-10.399  
G1 Z-11.2F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-11.199  
G1 Z-12F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-11.999  
G1 Z-12.8F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-12.799  
G1 Z-13.6F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-13.599  
G1 Z-14.4F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-14.399  
G1 Z-15.2F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-15.199  
G1 Z-16F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801

G0 X15.199  
G0 Z-15.999  
G1 Z-16.8F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-16.799  
G1 Z-17.6F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-17.599  
G1 Z-18.4F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-18.399  
G1 Z-19.2F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-19.199  
G1 Z-20F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-19.999  
G1 Z-20.8F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-20.799  
G1 Z-21.6F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-21.599  
G1 Z-22.4F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-22.399  
G1 Z-23.2F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-23.199  
G1 Z-24F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-23.999  
G1 Z-24.8F10  
G1 X30.2F80

G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-24.799  
G1 Z-25.6F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-25.599  
G1 Z-26.4F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-26.399  
G1 Z-27.2F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-27.199  
G1 Z-28F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-27.999  
G1 Z-28.8F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-28.799  
G1 Z-29.6F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-29.599  
G1 Z-30.4F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-30.399  
G1 Z-31.2F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-31.199  
G1 Z-32F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-31.999  
G1 Z-32.8F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-32.799  
G1 Z-33.6F10

G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-33.599  
G1 Z-34.4F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-34.399  
G1 Z-35.2F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-35.199  
G1 Z-36F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-35.999  
G1 Z-36.8F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-36.799  
G1 Z-37.6F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-37.599  
G1 Z-38.4F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-38.399  
G1 Z-39.2F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-39.199  
G1 Z-40F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-39.999  
G1 Z-40.8F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-40.799  
G1 Z-41.6F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-41.599

G1 Z-42.4F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-42.399  
G1 Z-43.2F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-43.199  
G1 Z-44F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-43.999  
G1 Z-44.8F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-44.799  
G1 Z-45.6F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-45.599  
G1 Z-46.4F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-46.399  
G1 Z-47.2F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-47.199  
G1 Z-48F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-47.999  
G1 Z-48.8F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-48.799  
G1 Z-49.6F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-49.599  
G1 Z-50.4F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199

G0 Z-50.399  
G1 Z-51.2F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-51.199  
G1 Z-52F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-51.999  
G1 Z-52.8F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-52.799  
G1 Z-53.6F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-53.599  
G1 Z-54.4F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-54.399  
G1 Z-55.2F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-55.199  
G1 Z-56F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-55.999  
G1 Z-56.8F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-56.799  
G1 Z-57.6F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-57.599  
G1 Z-58.4F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-58.399  
G1 Z-59.2F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801

G0 X15.199  
G0 Z-59.199  
G1 Z-60F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-59.999  
G1 Z-60.8F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-60.799  
G1 Z-61.6F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-61.599  
G1 Z-62.4F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-62.399  
G1 Z-63.2F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-63.199  
G1 Z-64F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-63.999  
G1 Z-64.8F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-64.799  
G1 Z-65.6F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-65.599  
G1 Z-66.4F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-66.399  
G1 Z-67.2F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-67.199  
G1 Z-68F10  
G1 X30.2F80

G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-67.999  
G1 Z-68.8F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-68.799  
G1 Z-69.6F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-69.599  
G1 Z-70.4F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-70.399  
G1 Z-71.2F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-71.199  
G1 Z-72F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-71.999  
G1 Z-72.8F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-72.799  
G1 Z-73.6F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-73.599  
G1 Z-74.4F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-74.399  
G1 Z-75.2F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-75.199  
G1 Z-76F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-75.999  
G1 Z-76.8F10

G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-76.799  
G1 Z-77.6F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-77.599  
G1 Z-78.4F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-78.399  
G1 Z-79.2F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-79.199  
G1 Z-80F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-79.999  
G1 Z-80.8F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-80.799  
G1 Z-81.6F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-81.599  
G1 Z-82.4F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-82.399  
G1 Z-83.2F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-83.199  
G1 Z-84F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-83.999  
G1 Z-84.8F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-84.799

G1 Z-85.6F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-85.599  
G1 Z-86.4F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-85.739  
G1 Z-86.54F10  
G1 X30.2F80  
G1 Z0.801  
G0 X15.199  
G0 Z-86.539  
G1 Z-87.34F10  
F80  
G1 X31  
G1 Z0.801  
;DESBASTE 2  
G0 X15.199 Z-86.539  
F80  
G0 Z-87.339  
G1 Z-88.14F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-88.139  
G1 Z-88.94F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-88.939  
G1 Z-89.74F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-89.739  
G1 Z-90.54F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-90.539  
G1 Z-91.34F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-91.339  
G1 Z-92.14F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-92.139  
G1 Z-92.94F10

G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-92.939  
G1 Z-93.74F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-93.739  
G1 Z-94.54F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-94.539  
G1 Z-95.34F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-95.339  
G1 Z-96.14F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-96.139  
G1 Z-96.94F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-96.939  
G1 Z-97.74F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-97.739  
G1 Z-98.54F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-98.539  
G1 Z-99.34F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-99.339  
G1 Z-100.14F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-100.139  
G1 Z-100.94F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-100.939

G1 Z-101.74F10	G0 Z-109.739	G0 X15.199
G1 X23.71F80	G1 Z-110.54F10	G0 Z-118.539
G1 Z-86.539	G1 X23.71F80	G1 Z-119.34F10
G0 X15.199	G1 Z-86.539	G1 X23.71F80
G0 Z-101.739	G0 X15.199	G1 Z-86.539
G1 Z-102.54F10	G0 Z-110.539	G0 X15.199
G1 X23.71F80	G1 Z-111.34F10	G0 Z-119.339
G1 Z-86.539	G1 X23.71F80	G1 Z-120.14F10
G0 X15.199	G1 Z-86.539	G1 X23.71F80
G0 Z-102.539	G0 X15.199	G1 Z-86.539
G1 Z-103.34F10	G0 Z-111.339	G0 X15.199
G1 X23.71F80	G1 Z-112.14F10	G0 Z-120.139
G1 Z-86.539	G1 X23.71F80	G1 Z-120.94F10
G0 X15.199	G1 Z-86.539	G1 X23.71F80
G0 Z-103.339	G0 X15.199	G1 Z-86.539
G1 Z-104.14F10	G0 Z-112.139	G0 X15.199
G1 X23.71F80	G1 Z-112.94F10	G0 Z-120.939
G1 Z-86.539	G1 X23.71F80	G1 Z-121.74F10
G0 X15.199	G1 Z-86.539	G1 X23.71F80
G0 Z-104.139	G0 X15.199	G1 Z-86.539
G1 Z-104.94F10	G0 Z-112.939	G0 X15.199
G1 X23.71F80	G1 Z-113.74F10	G0 Z-121.739
G1 Z-86.539	G1 X23.71F80	G1 Z-122.54F10
G0 X15.199	G1 Z-86.539	G1 X23.71F80
G0 Z-104.939	G0 X15.199	G1 Z-86.539
G1 Z-105.74F10	G0 Z-113.739	G0 X15.199
G1 X23.71F80	G1 Z-114.54F10	G0 Z-122.539
G1 Z-86.539	G1 X23.71F80	G1 Z-123.34F10
G0 X15.199	G1 Z-86.539	G1 X23.71F80
G0 Z-105.739	G0 X15.199	G1 Z-86.539
G1 Z-106.54F10	G0 Z-114.539	G0 X15.199
G1 X23.71F80	G1 Z-115.34F10	G0 Z-123.339
G1 Z-86.539	G1 X23.71F80	G1 Z-124.14F10
G0 X15.199	G1 Z-86.539	G1 X23.71F80
G0 Z-106.539	G0 X15.199	G1 Z-86.539
G1 Z-107.34F10	G0 Z-115.339	G0 X15.199
G1 X23.71F80	G1 Z-116.14F10	G0 Z-124.139
G1 Z-86.539	G1 X23.71F80	G1 Z-124.94F10
G0 X15.199	G1 Z-86.539	G1 X23.71F80
G0 Z-107.339	G0 X15.199	G1 Z-86.539
G1 Z-108.14F10	G0 Z-116.139	G0 X15.199
G1 X23.71F80	G1 Z-116.94F10	G0 Z-124.939
G1 Z-86.539	G1 X23.71F80	G1 Z-125.74F10
G0 X15.199	G1 Z-86.539	G1 X23.71F80
G0 Z-108.139	G0 X15.199	G1 Z-86.539
G1 Z-108.94F10	G0 Z-116.939	G0 X15.199
G1 X23.71F80	G1 Z-117.74F10	G0 Z-125.739
G1 Z-86.539	G1 X23.71F80	G1 Z-126.54F10
G0 X15.199	G1 Z-86.539	G1 X23.71F80
G0 Z-108.939	G0 X15.199	G1 Z-86.539
G1 Z-109.74F10	G0 Z-117.739	G0 X15.199
G1 X23.71F80	G1 Z-118.54F10	G0 Z-126.539
G1 Z-86.539	G1 X23.71F80	G1 Z-127.34F10
G0 X15.199	G1 Z-86.539	G1 X23.71F80

G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-127.339  
G1 Z-128.14F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-128.139  
G1 Z-128.94F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-128.939  
G1 Z-129.74F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-129.739  
G1 Z-130.54F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-130.539  
G1 Z-131.34F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-131.339  
G1 Z-132.14F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-132.939  
G1 Z-133.74F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-133.739  
G1 Z-134.54F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-134.539  
G1 Z-135.34F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-135.339  
G1 Z-136.14F10

G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-136.139  
G1 Z-136.94F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-136.939  
G1 Z-137.74F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-137.739  
G1 Z-138.54F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-138.539  
G1 Z-139.34F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-139.339  
G1 Z-140.14F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-140.139  
G1 Z-140.94F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-140.939  
G1 Z-141.74F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-141.739  
G1 Z-142.54F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-142.539  
G1 Z-143.34F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-143.339  
G1 Z-144.14F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-144.139

G1 Z-144.94F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-144.939  
G1 Z-145.74F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-145.739  
G1 Z-146.54F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-146.539  
G1 Z-147.34F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-147.339  
G1 Z-148.14F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-148.139  
G1 Z-148.94F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-148.939  
G1 Z-149.74F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-149.739  
G1 Z-150.54F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-150.539  
G1 Z-151.34F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-150.939  
G1 Z-151.74F10  
G1 X23.71F80  
G1 Z-86.539  
G0 X15.199  
G0 Z-151.739  
G1 Z-152.54F10  
F80  
G1 X24.51  
G1 Z-86.539

;DESBASTE 3  
G0 X8.699 Z-151.739  
F80  
G0 Z-152.539  
G1 Z-153.34F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-153.339  
G1 Z-154.14F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-154.139  
G1 Z-154.94F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-154.939  
G1 Z-155.74F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-155.739  
G1 Z-156.54F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-156.539  
G1 Z-157.34F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-157.339  
G1 Z-158.14F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-158.139  
G1 Z-158.94F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-158.939  
G1 Z-159.74F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-159.739  
G1 Z-160.54F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-160.539

G1 Z-161.34F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-161.339  
G1 Z-162.14F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-162.139  
G1 Z-162.94F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-162.939  
G1 Z-163.74F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-163.739  
G1 Z-164.54F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-164.539  
G1 Z-165.34F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-165.339  
G1 Z-166.14F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-166.139  
G1 Z-166.94F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-166.939  
G1 Z-167.74F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-167.739  
G1 Z-168.54F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-168.539  
G1 Z-169.34F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699

G0 Z-169.339  
G1 Z-170.14F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-170.139  
G1 Z-170.94F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-170.939  
G1 Z-171.74F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-171.739  
G1 Z-172.54F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-172.539  
G1 Z-173.34F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-173.339  
G1 Z-174.14F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-174.139  
G1 Z-174.94F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-174.939  
G1 Z-175.74F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-175.739  
G1 Z-176.54F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-176.539  
G1 Z-177.34F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739  
G0 X8.699  
G0 Z-177.339  
G1 Z-178.14F10  
G1 X9.9F80  
G1 Z-151.739

G0 X8.699	G1 Z-151.739	F50
G0 Z-178.139	G0 X8.699	G0 X12.7846
G1 Z-178.94F10	G0 Z-186.939	G1 X9.899 Z-154.3382
G1 X9.9F80	G1 Z-187.74F10	G0 Z-151.739
G1 Z-151.739	G1 X9.9F80	G0 X13.98
G0 X8.699	G1 Z-151.739	G1 X9.899 Z-155.4148
G0 Z-178.939	G0 X8.699	G0 Z-151.739
G1 Z-179.74F10	G0 Z-187.739	G0 X15.1753
G1 X9.9F80	G1 Z-188.54F10	G1 X9.899 Z-156.4915
G1 Z-151.739	G1 X9.9F80	G0 Z-151.739
G0 X8.699	G1 Z-151.739	G0 X16.3707
G0 Z-179.739	G0 X8.699	G1 X9.899 Z-157.5682
G1 Z-180.54F10	G0 Z-188.399	G0 Z-151.739
G1 X9.9F80	G1 Z-189.2F10	G0 X17.566
G1 Z-151.739	G1 X9.9F80	G1 X9.899 Z-158.6449
G0 X8.699	G1 Z-151.739	G0 Z-151.739
G0 Z-180.539	G0 X8.699	G0 X18.7614
G1 Z-181.34F10	G0 Z-189.199	G1 X9.899 Z-159.7216
G1 X9.9F80	G1 Z-190F10	G0 Z-151.739
G1 Z-151.739	F80	G0 X19.9567
G0 X8.699	G1 X10.7	G1 X9.899 Z-160.7982
G0 Z-181.339	G1 Z-151.739	G0 Z-151.739
G1 Z-182.14F10	;DESBASTE 4 CONO 1	G0 X21.152
G1 X9.9F80	G0 X23.709 Z-86.539	G1 X9.899 Z-161.8749
G1 Z-151.739	F50	G0 Z-151.739
G0 X8.699	G0 X25.6319	G0 X21.2039
G0 Z-182.139	G1 X23.709 Z-92.1239	G1 X9.899 Z-161.9217
G1 Z-182.94F10	G0 Z-86.539	G0 Z-151.739
G1 X9.9F80	G0 X26.478	F50
G1 Z-151.739	G1 X23.709 Z-94.5814	G0 X22.3993
G0 X8.699	G0 Z-86.539	G1 X9.899 Z-162.9983
G0 Z-182.939	G0 X27.324	G0 Z-151.739
G1 Z-183.74F10	G1 X23.709 Z-97.0388	;DESBASTE 6 CURVA
G1 X9.9F80	G0 Z-86.539	G0 Z-128
G1 Z-151.739	G0 X28.1701	G0 X22
G0 X8.699	G1 X23.709 Z-99.4963	;0.8 AFINADO 9
G0 Z-183.739	G0 Z-86.539	G1 X22.943 Z-128.087
G1 Z-184.54F10	G0 X29.0162	G2 X24.686 Z-137.573 I-
G1 X9.9F80	G1 X23.709 Z-101.9537	18.943 K9.486
G1 Z-151.739	G0 Z-86.539	G2 X10.958 Z-160.902 I-
G0 X8.699	G0 X29.8623	20.685 K0
G0 Z-184.539	G1 X23.709 Z-104.4111	G0 Z-128
G1 Z-185.34F10	G0 Z-86.539	;0.8 AFINADO 8
G1 X9.9F80	G0 X30.4297	G1 X23.743 Z-128.087
G1 Z-151.739	G1 X23.9552 Z-105.3439	G2 X25.486 Z-137.573 I-
G0 X8.699	G1 X23.709	19.743 K9.486
G0 Z-185.339	G0 Z-86.539	G2 X11.758 Z-160.902 I-
G1 Z-186.14F10	F50	21.485 K0
G1 X9.9F80	G0 X31.2758	G0 Z-128
G1 Z-151.739	G1 X24.51 Z-106.19	;0.8 AFINADO 7
G0 X8.699	G1 X23.709	G0 X21.408 Z-112.497
G0 Z-186.139	G0 Z-86.539	I31.605 K-17.426
G1 Z-186.94F10	;DESBASTE 5 CONO 2	G3 X24.021 Z-126.717
G1 X9.9F80	G0 X9.899 Z-151.739	I35.6 K0

G1 X24.543 Z-128.087  
G2 X26.286 Z-137.573 I-  
20.543 K9.486  
G2 X12.558 Z-160.902 I-  
22.285 K0  
G3 X8.6 Z-168.087  
I11.585 K0  
G0 Z-128  
;0.8 AFINADO 6  
G0 X22.208 Z-112.497  
I32.405 K-17.426  
G3 X24.821 Z-126.717  
I36.4 K0  
G1 X25.343 Z-128.087  
G2 X27.086 Z-137.573 I-  
21.343 K9.486  
G2 X13.358 Z-160.902 I-  
23.085 K0  
G3 X9.4 Z-168.087  
I10.785 K0  
G0 Z-128  
;0.8 AFINADO 5

G0 X23.008 Z-112.497  
I33.205 K-17.426  
G3 X25.621 Z-126.717  
I37.2 K0  
G1 X26.143 Z-128.087  
G2 X27.886 Z-137.573 I-  
22.143 K9.486  
G2 X14.158 Z-160.902 I-  
23.885 K0  
G3 X10.2 Z-168.087  
I9.985 K0  
G0 Z-128  
;0.8 AFINADO 4 OK  
G0 X23.808 Z-112.497  
I34.005 K-17.426  
G3 X26.421 Z-126.717  
I38 K0  
G1 X26.943 Z-128.087  
G2 X28.686 Z-137.573 I-  
22.943 K9.486  
G2 X14.958 Z-160.902 I-  
24.685 K0

G3 X11 Z-168.087 I9.185  
K0  
G0 Z-128  
;0.8 AFINADO 3 OK  
G0 X24.608 Z-112.497  
I34.805 K-17.426  
G3 X27.221 Z-126.717  
I38.8 K0  
G1 X27.743 Z-128.087  
G2 X29.486 Z-137.573 I-  
23.743 K9.486  
G2 X15.758 Z-160.902 I-  
25.485 K0  
G3 X11.8 Z-168.087  
I8.385 K0  
G1 X10  
G0 Z50  
G0 Z5  
G0 X50 Z50  
M5 M9 M70  
G4 P1  
M71  
M30

**Anexo 15. Cavidad interna del molde afinado**

G18 G40 G49 G90 G94  
G80 G21  
S250 M3 M8  
G4 P5  
M6 T0202  
F25  
; AFINADO 0.4  
G0 Z0.5  
G0 X30  
G1 X31.6  
G1 X31.1 Z-0.5  
G1 Z-74.5  
G1 X31.6 Z-75  
G1 Z-82  
G2 X28.603 Z-95.069 I-  
28.8 K0  
G3 X24.608 Z-112.497  
I37.205 K-17.426  
G3 X27.221 Z-126.717  
I41.2 K0  
G1 X27.743 Z-128.087  
G2 X29.486 Z-137.573 I-  
23.743 K9.486  
G2 X15.758 Z-160.902 I-  
25.486 K0  
G3 X11.8 Z-168.087  
I5.742 K-7.185  
G1 Z-174.52  
G1 X11.55 Z-174.587  
G1 Z-180.212  
G1 X10.8 Z-180.587  
G1 Z-190  
G0 X10  
G0 Z0.5  
; AFINADO 0.4  
G0 Z0.5  
G0 X30  
G1 X32  
G1 X31.5 Z-0.5  
G1 Z-74.5  
G1 X32 Z-75  
G1 Z-82  
G2 X29.003 Z-95.069 I-  
29.2 K0  
G3 X25.008 Z-112.497  
I36.805 K-17.426  
G3 X27.621 Z-126.717  
I40.8 K0  
G1 X28.143 Z-128.087  
G2 X29.886 Z-137.573 I-  
24.143 K9.486

G2 X16.158 Z-160.902 I-  
25.886 K0  
G3 X12.2 Z-168.087  
I5.342 K-7.185  
G1 Z-174.5  
G1 X11.95 Z-174.587  
G1 Z-180.212  
G1 X11.2 Z-180.587  
G1 Z-190  
G0 X10  
G0 Z0.5  
; AFINADO 0.2  
G0 Z0.5  
G0 X30  
G1 X32.4  
G1 X31.9 Z-0.5  
G1 Z-74.5  
G1 X32.4 Z-75  
G1 Z-82  
G2 X29.403 Z-95.069 I-  
29.6 K0  
G3 X25.408 Z-112.497  
I36.405 K-17.426  
G3 X28.021 Z-126.717  
I40.4 K0  
G1 X28.543 Z-128.087  
G2 X30.286 Z-137.573 I-  
24.543 K9.486  
G2 X16.558 Z-160.902 I-  
26.286 K0  
G3 X12.6 Z-168.087  
I4.942 K-7.185  
G1 Z-174.5  
G1 X12.35 Z-174.587  
G1 Z-180.212  
G1 X11.6 Z-180.587  
G1 Z-190  
G0 X10  
G0 Z0.5  
; AFINADO 0.2  
G0 Z0.5  
G0 X30  
G1 X32.6  
G1 X32.1 Z-0.5  
G1 Z-74.5  
G1 X32.6 Z-75  
G1 Z-82  
G2 X29.603 Z-95.069 I-  
29.8 K0  
G3 X25.608 Z-112.497  
I36.205 K-17.426

G3 X28.221 Z-126.717  
I40.2 K0  
G1 X28.743 Z-128.087  
G2 X30.486 Z-137.573 I-  
24.743 K9.486  
G2 X16.758 Z-160.902 I-  
26.486 K0  
G3 X12.8 Z-168.087  
I4.742 K-7.185  
G1 Z-174.5  
G1 X12.55 Z-174.587  
G1 Z-180.212  
G1 X11.8 Z-180.587  
G1 Z-190  
G0 X10  
G0 Z0.5  
; AFINADO FINAL 0.1  
G0 Z0.5  
G0 X32  
G1 X32.8  
G1 X32.3 Z-0.5  
G1 Z-74.5  
G1 X32.8 Z-75  
G1 Z-82  
G2 X29.803 Z-95.069 I-  
30 K0  
G3 X25.808 Z-112.497  
I36.005 K-17.426  
G3 X28.421 Z-126.717  
I40 K0  
G1 X28.943 Z-128.087  
G2 X30.686 Z-137.573 I-  
24.943 K-9.486  
G2 X16.958 Z-160.902 I-  
26.686 K0  
G3 X13 Z-168.087 I4.542  
K-7.185  
G1 Z-174.52  
G1 X12.75 Z-174.587  
G1 Z-180.212  
G1 X12 Z-180.587  
G1 Z-190  
G0 X10  
G0 Z50  
M5 M9 M70  
G4 P1  
M71  
M30

**ANEXO 16. Justificación de uso de material**

PIEZA	MATERIAL	JUSTIFICACIÓN DEL USO DEL MATERIAL
Cuerpo del molde	Duraluminio (Aluminio 7075)	<p>La aleación de aluminio 7075 a sido utilizada para la fabricación del cuerpo del molde gracias a las buenas propiedades que presenta este material como son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maquinabilidad: al igual que el acero A36, acero M201 son materiales con buena maquinabilidad, el duraluminio da una ventaja al ser un material suave al momento de maquinar, pero es un material con una dureza muy similar al del acero lo que le da ventaja al momento de utilizar este material.</li> <li>• Pulido: al igual que cualquier otro material se puede pulir, el aluminio 7075 presenta una ventaja al ser más suave, ya que se puede pulir una superficie más rápido comparada al pulir cualquier tipo de acero.</li> <li>• Densidad: el aluminio 7075 tiene una densidad muy baja comparada al acero A36, por lo que el molde al ser muy grande se necesita que sea más liviano.</li> </ul>
Pines y bujes	M201	<p>El acero M201 ha sido utilizado gracias a las ventajas que presenta el material como dureza, maquinabilidad y por ser uno de los aceros muy utilizados en el mundo de la fabricación de moldes, al ser piezas pequeñas se puede invertir en este material ya que una de sus desventajas es el costo de este mismo.</p>
Asiento	Duraluminio (Aluminio 7075)	<p>Este elemento se ha fabricado de aluminio 7075 debido a que es una pieza pequeña y el costo no representa mucho comparado al fabricar en acero A36 ya que si se fabrica de acero aumenta el tiempo de mecanizado, pulido y peso en el molde. Mientras que al fabricar de duraluminio se reducen estos tiempos obteniendo buenas propiedades de maquinabilidad, dureza, pulido, densidad. Mientras que el material M201 aumenta el costo de fabricación.</p>
Bases del asiento	Acero A36	<p>Estas partes pueden ser fabricada de los tres materiales que se ha venido hablando: acero A36, aluminio 7075 y acero M201. Cada uno tiene sus ventajas en las propiedades que se necesita. Pero al ser una pieza grande influye mucho el precio de cada material por lo que se ha escogido el acero A36 para su fabricación, brindando las mismas propiedades de maquinabilidad, dureza y para evitar su oxidación se realizara un galvanizado.</p>

## **ANEXO 17. Resumen de parámetros de mecanizado**

<b>PIEZA</b>	<b>OPERACIÓN</b>	<b>VELOCIDAD DE CORTE [m/min O RPM]</b>	<b>VELOCIDAD DE AVANCE [mm/min o mm/Rev]</b>	<b>PENETRACIÓN [mm]</b>	<b>TIEMPO DE MECANIZADO [min]</b>
Cuerpo del molde	Desbaste	200	80	0,8	150
	Afinado	250	25	0,2	60
Pines	Desbaste	650	125	0,8	5
	Afinado	800	100	0,5	
Bujes	Desbaste externo/interno	650/500	125/50	0,8/0,8	8
	Afinado externo/interno	800/700	100/50	0,1/0,1	
Asiento	Desbaste externo/interno	650/450	125/80	0,8/0,5	60
	Afinado externo/interno	800/600	100/60	0,1/0,1	
Bases del asiento	Desbaste	400	125	0,8	45
	Afinado	700	100	0,1	

**ANEXO 18. Tabla del intervalo de confianza para la función T de Student**

Intervalo de confianza, $c$						
	80%	90%	95%	98%	99%	99.9%
$gl$	Nivel de significancia para una prueba de una cola, $\alpha$					
	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005	0.0005
	Nivel de significancia para una prueba de dos colas, $\alpha$					
	0.200	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.599
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.924
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.869
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.408
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850