



**UNIVERSIDAD DE JAÉN**  
*Escuela Politécnica Superior de Jaén*

Trabajo Fin de Grado

# **DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDE DE ALUMINIO PARA INYECCIÓN DE PLÁSTICO**

**Alumno: Antonio Jesús Fernández Rodríguez**

Tutor: Prof. D. Gustavo Medina Sánchez  
Dpto: Ingeniería Mecánica y Minera

**Julio, 2022**



Universidad de Jaén  
Escuela Politécnica Superior de Jaén  
Departamento de Ingeniería Mecánica y Minera

Don GUSTAVO MEDINA SÁNCHEZ, tutor del Proyecto Fin de Carrera titulado: DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MOLDE DE ALUMINIO PARA INYECCIÓN DE PLÁSTICO, que presenta ANTONIO JESÚS FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, JULIO de 2022

El alumno:

ANTONIO JESÚS FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ

Los tutores:

GUSTAVO MEDINA SÁNCHEZ

**Índice contenido**

1. INTRODUCCIÓN .....	7
2. PROCESO DE INYECCION DE PLASTICO .....	7
2.1. Sistema de inyección .....	8
2.2. Molde para inyección .....	8
3. ESTUDIO DE UNA PIEZA DE PLASTICO: DISEÑO PRELIMINAR .....	10
4. SIMULACIÓN DE LA INYECCIÓN DE MATERIAL.....	15
5. FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO CON IMPRESIÓN 3D .....	26
5.1. Definición .....	26
5.2. Etapas de la impresión 3D .....	27
5.2.1. Diseño.....	27
5.2.2. Discretización.....	27
5.2.3. Configuración de la impresión .....	27
6. DISEÑO CAD.....	33
6.1. Diseño CAD de la pieza .....	33
6.2. Diseño CAD de molde para inyección .....	35
6.2.1. Cavity.....	37
6.2.2. Punzón.....	42
6.2.3. Molde .....	45
7. ESTIMACIÓN DE COSTES DE FABRICACIÓN DEL MOLDE .....	47
7.1. Coste relativo de fabricación del molde.....	47
7.2. Coste relativo del material del molde.....	50
8. DISEÑO DEL PROCESO DE MECANIZADO .....	54
8.1. Ajuste de parámetros .....	55
8.2. Cavity.....	57
8.2.1. Operación de planeado .....	59
8.2.2. Operación de perfilado (Desbaste).....	62
8.2.3. Operación de perfilado (Acabado).....	65
8.2.4. Operación de taladrado (Sujeción) .....	66
8.2.5. Operación de taladrado (Expulsión) .....	68
8.2.6. Operación de taladrado (Inyección).....	69
8.2.7. Operación de ranurado .....	70
8.3. Punzón.....	71

8.3.1. Operación de taladrado (Expulsión) .....	72
8.3.2. Operación de taladrado (Sujeción) .....	74
8.4. Código de mecanizado.....	76
9. SIMULACION DEL MECANIZADO.....	79
10. EJECUCIÓN DEL PROCESO DE INYECCIÓN.....	82
10.1. Fabricación de molde .....	83
10.2. Pruebas de inyección .....	84
10.3. Valoración de resultados .....	85
11. CONCLUSIONES .....	86
Bibliografía .....	88
ANEXO I: PLANOS (1. PIEZA)	
ANEXO I: PLANOS (2. CAVIDAD)	
ANEXO I: PLANOS (3. PUNZÓN)	
ANEXO II: HOJA DE PROCESOS (1. TORNEADO)	
ANEXO II: HOJA DE PROCESOS (2. CAVIDAD)	
ANEXO II: HOJA DE PROCESOS (3. PUNZÓN)	

## Índice Imagen

Imagen 1: Inyectora de plástico (Arburg Allrounder 570H) [1].....	7
Imagen 2: Prototipo de molde.....	9
Imagen 3: Partes de una inyectora [2].....	9
Imagen 4: Espesores mínimos recomendados [3].....	10
Imagen 5: Diseño propio simulando una pieza Lego.....	11
Imagen 6: Modificación del diseño propio.....	11
Imagen 7: Diseño propio con agujeros.....	12
Imagen 8: Ejemplo de soldadura fría en la inyección [4].....	13
Imagen 9: Pieza definitiva exterior.....	14
Imagen 10: Pieza definitiva interior.....	14
Imagen 11: Apertura del archivo.....	16
Imagen 12: Recomendación de análisis estándar.....	16
Imagen 13: Pieza desmoldeada en MoldFlow.....	17
Imagen 14: Configuración de posición óptima.....	17
Imagen 15: Configuración del número de entradas.....	18
Imagen 16: Selección del material PVC.....	19
Imagen 17: Resistencia de flujo por el exterior.....	19
Imagen 18: Resistencia de flujo por el interior.....	20
Imagen 19: Idoneidad de las entradas por el exterior.....	20
Imagen 20: Idoneidad de las entradas por el interior.....	21
Imagen 21: Punto de inyección.....	21
Imagen 22: Dirección de inyección en punzón.....	22
Imagen 23: Dirección de inyección en cavidad.....	22
Imagen 24: Configuración de rechupe y llenado-compactación.....	23
Imagen 25: Configuración del tiempo de refrigeración.....	24
Imagen 26: Confianza de llenado.....	24
Imagen 27: Calidad de la superficie.....	25
Imagen 28: Estimación de rechupes.....	25
Imagen 29: Probabilidad de rechupes.....	26
Imagen 30: Datos de salida.....	26
Imagen 31: Impresora Witbox.....	28
Imagen 32: Importación de pieza en Ultimaker Cura.....	28
Imagen 33: Configuración cabezal y material.....	29
Imagen 34: Ajuste de altura de capa y relleno para impresión 3D.....	29
Imagen 35: Ajuste de soporte de impresión 3D.....	30
Imagen 36: Ajuste de adherencia para impresión 3D.....	31
Imagen 37: Tiempo y material utilizado para la impresión 3D.....	31
Imagen 38: Material de soporte.....	32
Imagen 39: Pieza imprimida en 3D.....	32
Imagen 40: Extrusión de la primera capa.....	33
Imagen 41: Extrusión de la segunda capa.....	33
Imagen 42: Extrusión de la tercera capa.....	34

Imagen 43: Desmoldeo exterior.....	34
Imagen 44: Desmoldeo interior.....	35
Imagen 45: Tocho de aluminio .....	35
Imagen 46: Dimensiones inyectora del taller .....	36
Imagen 47: Dimensiones molde .....	37
Imagen 48: Árbol de trabajo para la cavidad .....	37
Imagen 49: Diseño del taco para la cavidad.....	38
Imagen 50: Operación de vaciado pieza-cavidad .....	38
Imagen 51: Operación de vaciado total .....	39
Imagen 52: Taladros de sujeción.....	40
Imagen 53: Taladros de expulsión.....	40
Imagen 54: Ranurado para expulsión de aire .....	41
Imagen 55: Punto de inyección .....	42
Imagen 56: Árbol de trabajo para el punzón.....	42
Imagen 57: Diseño del taco para el punzón.....	43
Imagen 58: Operación de vaciado pieza-punzón.....	43
Imagen 59: Operación de vaciado punzón-cavidad .....	44
Imagen 60: Taladros de sujeción.....	44
Imagen 61: Taladros de expulsión.....	45
Imagen 62: Molde completo con pieza .....	46
Imagen 63: Molde completo con pieza .....	46
Imagen 64: Dimensiones de pieza .....	47
Imagen 65: Determinación del parámetro $c_b$ .....	48
Imagen 66: Determinación de las penalizaciones de un molde .....	49
Imagen 67: Determinación del parámetro $c_s$ .....	49
Imagen 68: Determinación del parámetro $c_t$ .....	50
Imagen 69: Dimensión mínima recomendada $M_{wf}$ .....	51
Imagen 70: Dimensión mínima recomendada $M_{ws}$ .....	52
Imagen 71: Gráfico para la obtención del parámetro C.....	52
Imagen 72: Dimensión mínima recomendada H.....	53
Imagen 73: Determinación del coste relativo del material.....	54
Imagen 74: Parámetros a modificar .....	55
Imagen 75: Parámetros máquina .....	56
Imagen 76: Parámetros modificados .....	57
Imagen 77: Árbol de trabajo cavidad .....	58
Imagen 78: Nuevo cuerpo añadido: <i>TACO CAVIDAD</i> .....	58
Imagen 79: Plano de referencia y ejes de coordenadas para taco de cavidad .....	59
Imagen 80: Parámetros de estrategia de mecanizado para planeado .....	60
Imagen 81: Selección de superficie y offset para planeado .....	61
Imagen 82: Selección de herramienta para planeado.....	62
Imagen 83: Estrategia de mecanizado para un perfilado de desbaste.....	63
Imagen 84: Selección de superficie y offset para perfilado .....	64
Imagen 85: Configuración de parámetros de movimiento de la herramienta .....	65
Imagen 86: Estrategia de taladros de sujeción .....	67
Imagen 87: Selección de agujeros de sujeción y sus dimensiones.....	68
Imagen 88: Selección del taladro de inyección y sus medidas correspondientes .....	69
Imagen 89: Selección de las ranuras y offset correspondientes .....	70
Imagen 90: Nuevo cuerpo añadido: <i>TACO PUNZÓN</i> .....	71

Imagen 91: Plano de referencia y ejes de coordenadas para taco de punzón .....	72
Imagen 92: Estrategia de vaciado para agujero de expulsión en punzón .....	73
Imagen 93: Selección de los agujeros para expulsión en punzón.....	74
Imagen 94: Configuración de distancia de seguridad para los taladros de expulsión del punzón .....	75
Imagen 95: Selección de agujeros de expulsión del punzón y sus dimensiones .....	76
Imagen 96: Generación código ISO.....	77
Imagen 97: Parámetros para generar código .....	78
Imagen 98: Selección post procesador.....	79
Imagen 99: Simulación del programa .....	80
Imagen 100: Simulación del desbaste en cavidad .....	81
Imagen 101: Simulación del acabado en punzón .....	81
Imagen 102: Simulación del desbaste en punzón.....	82
Imagen 103: Simulación del acabado en punzón .....	82
Imagen 104: Torno manual [5].....	83
Imagen 105: Centro de mecanizado [6].....	84
Imagen 106: Ranurado de inyectora.....	85
Imagen 107: Inyectora del taller .....	85
Imagen 108: Efecto <i>warping</i> .....	86

## 1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se realizará un diseño libre de una pieza que se adapte a las condiciones del taller mecánico.

El objetivo principal del TFG es el diseño detallado de una pieza de plástico y del molde para la inyección, con análisis detallado de las operaciones de mecanizado necesarias para su fabricación. El diseño de la pieza y de su respectivo molde se harán con el software Catia V5R21.

Para ello se partirá de un diseño preliminar de una pieza, se simulará el proceso de inyección con el software CAD/CAM Moldflow de Autodesk con el objeto de comprobar la idoneidad del diseño.

Por otro lado, se fabricará un prototipo de la pieza mediante fabricación aditiva para comprobar físicamente la geometría de la pieza, se diseñará la geometría del molde, se diseñará en detalle el proceso de mecanizado con indicación de las operaciones necesarias para su fabricación, y se simulará el proceso de mecanizado con software CAD/CAM.

## 2. PROCESO DE INYECCION DE PLASTICO



Imagen 1: Inyectora de plástico (Arburg Allrounder 570H) [1]

Consiste en introducir un polímero fundido en un molde cerrado a presión y refrigerado, a través de un orificio conocido como punto de inyección. Cuando el molde se llena completamente de plástico fundido, se deja enfriar y el polímero empieza a

cristalizarse hasta solidificarse completamente. Entonces el molde se abre y se puede extraer la pieza resultante.

La inyección de plásticos es un proceso muy utilizado en la actualidad, ya que permite tener una alta producción en un tiempo mínimo, a parte de su gran versatilidad para la fabricación de cualquier tipo de pieza, independientemente de su tamaño.

## 2.1. Sistema de inyección

**Alimentación:** El polímero granulado se deposita en una tolva, en forma cónica para facilitar que todo el material pase a una cámara cilíndrica.

**Mezclado:** En esta cámara hay un tornillo sin fin accionado por un motor eléctrico y unas resistencias a lo largo de ella para que el material granulado se funda y se mezcle de manera homogénea.

**Inyección:** Este material pasa a través de una boquilla de menor sección, conocida como nariz, y con ayuda de un embolo que ejerce presión, se introduce en el molde.

## 2.2. Molde para inyección

Un molde es una cavidad que define la geometría de la pieza, si esta está bien diseñada y existe un preciso ajuste, la pieza resultante de esta inyección no necesitará ninguna operación de acabado, se pueden diferenciar dos partes:

**Punzón:** es definido como la parte del molde que en su mayoría es un saliente, y genera la zona interior de la pieza.

**Cavidad:** es definido como la parte del molde que en su mayoría es un entrante, y genera la forma exterior.

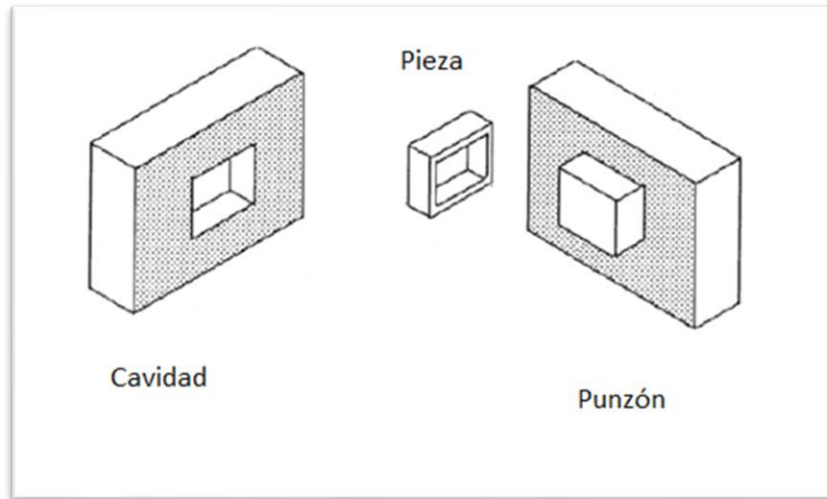


Imagen 2: Prototipo de molde

Por lo general, se utiliza un sistema sofisticado de apertura y cierre automático del molde.

**Parte fija:** Una de las partes del molde, la que tiene el punto de inyección se coloca de manera fija.

**Parte móvil:** La otra parte de molde tiene un sistema móvil, que se desplaza en una dirección por unas guías cada vez que se abre y se cierra el molde, este movimiento este accionado de manera neumática por un émbolo.

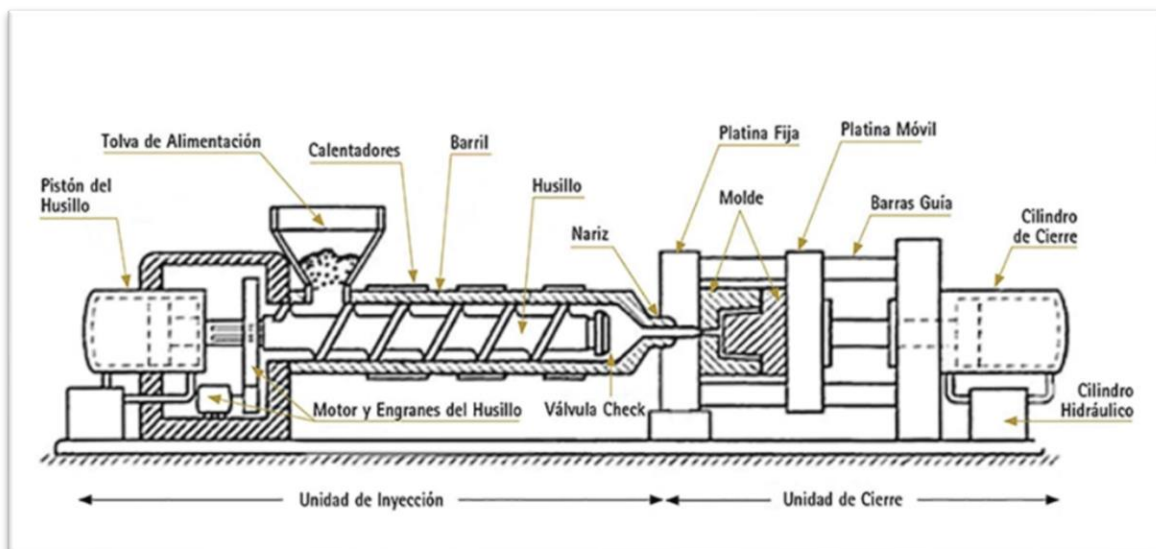


Imagen 3: Partes de una inyectora [2]

### 3. ESTUDIO DE UNA PIEZA DE PLÁSTICO: DISEÑO PRELIMINAR

Se estudiarán diferentes recomendaciones de diseño para una posible utilidad hasta conseguir el mejor diseño de pieza.

Desde primera hora se desea realizar un diseño de una pieza con una geometría sencilla, a priori, esta pieza no tiene por qué tener ninguna funcionalidad, sin embargo, en la actualidad la mayor parte de los productos comercializados, son un conjunto de componentes ensamblados entre sí. Este motivo será uno de los que la pieza se tendrá que ir adaptando.

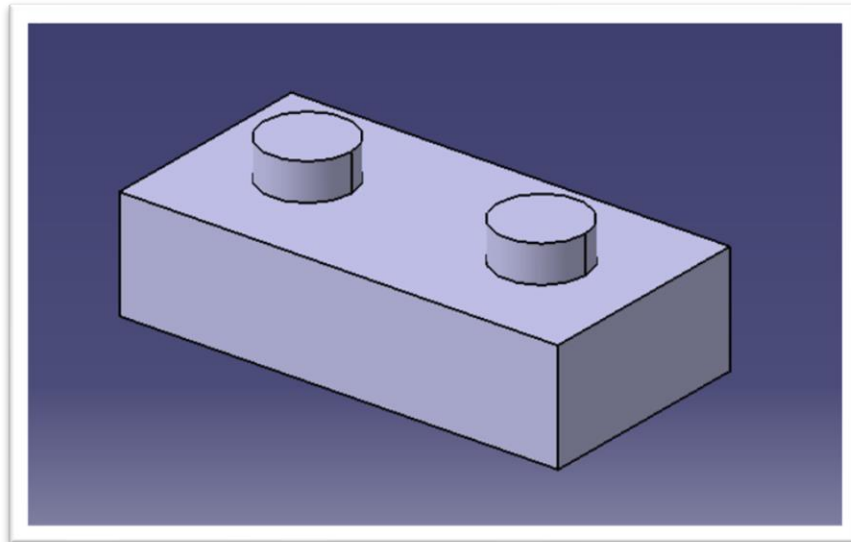
Teniendo en cuenta las recomendaciones de diseño para inyección de plástico, la pieza debe tener un espesor constante y evitar espesores gruesos, porque esto dificulta el enfriamiento de la pieza, ya que el plástico es un mal conductor térmico y aumentaría el tiempo de enfriamiento. Pero se recomienda un mínimo de espesor porque puede llegar a tener problemas de flujo. También es probable que produzca defectos en la superficie.

MATERIALES	Piezas pequeñas Espesor medio	Piezas pequeñas Espesor mínimo	Piezas grandes Rango de espesores	Piezas grandes Espesor medio
Termoplásticos				
Acrílicos (PMMA,PAN,ABS,SAN)	0,99	0,65	3,25 – 6,50	2,5
Acetatos de celulosa	1,25	0,65	3,25 – 4,75	1,9
Acetato de celulosa butirato	1,25	0,65	3,25 – 4,75	1,9
Etil celulosa	1,25	0,9	2,50 – 3,25	1,6
Poliamida PA	0,65	0,35	2,50 – 3,25	1,6
Polietileno PE	1,25	0,9	2,50 – 3,25	1,6
Poliestireno PS	1,25	0,75	3,25 – 6,50	1,6
Policloruro de vinilo PVC	2,5	1,6	3,25 – 6,50	2,5

*Espesores de pared de las piezas (mm)*

**Imagen 4: Espesores mínimos recomendados [3]**

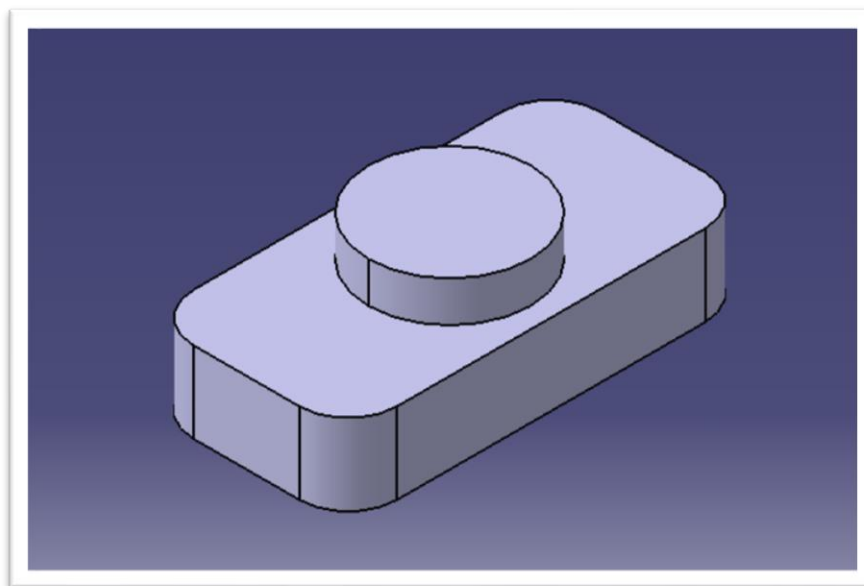
Una idea sería diseñar un tipo de carcasa, por ejemplo, las típicas piezas de Lego, con dos niveles de material.



**Imagen 5: Diseño propio simulando una pieza Lego**

Surge un problema, ya que al tener los dos salientes cilíndricos como se observan en la parte superior, sería recomendable que la inyección fuese doble, pero debido a la máquina de inyección existente en el taller solo tiene un solo punto de inyección.

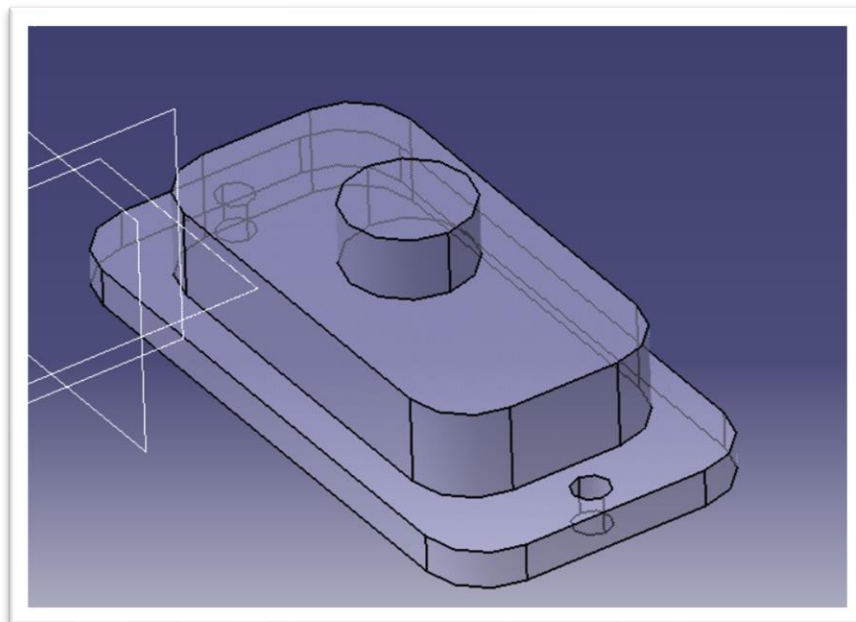
Por otra parte, con ayuda de las recomendaciones de inyección se deben de evitar las esquinas, porque dificulta el flujo de material produciéndose enfriamientos no uniformes e incluso tensiones internas, por tanto, el nuevo diseño es el siguiente:



**Imagen 6: Modificación del diseño propio**

Pensando en la reflexión inicial, para que esta pieza pueda ser ensamblada, sería conveniente añadir un nuevo nivel de material. En el que se podría incorporar unas guías o agujeros y así poder facilitar el acople y que mantenga una posición firme.

Se elige hacer agujeros por la facilidad para realizarlos. Sin embargo, deben estar en la misma dirección de apertura y cierre del molde para reducir la complejidad del molde y así evitar partes móviles, como ocurre con los undercuts que son contrasalidas que se encuentran en direcciones no paralelas a la apertura y cierre del molde.



**Imagen 7: Diseño propio con agujeros**

Debido a que las medidas con las que se está trabajando son reducidas, tanto de la pieza como de los agujeros, puede suponer diferentes peligros.

El primer problema puede producirse las conocidas soldaduras frías, es la falta de material formando una hendidura en la superficie alrededor del agujero, se debe a que el material fundido fluye por ambos lados hasta juntarse por el lado contrario, pero no compacta completamente debido al enfriamiento del fluido.

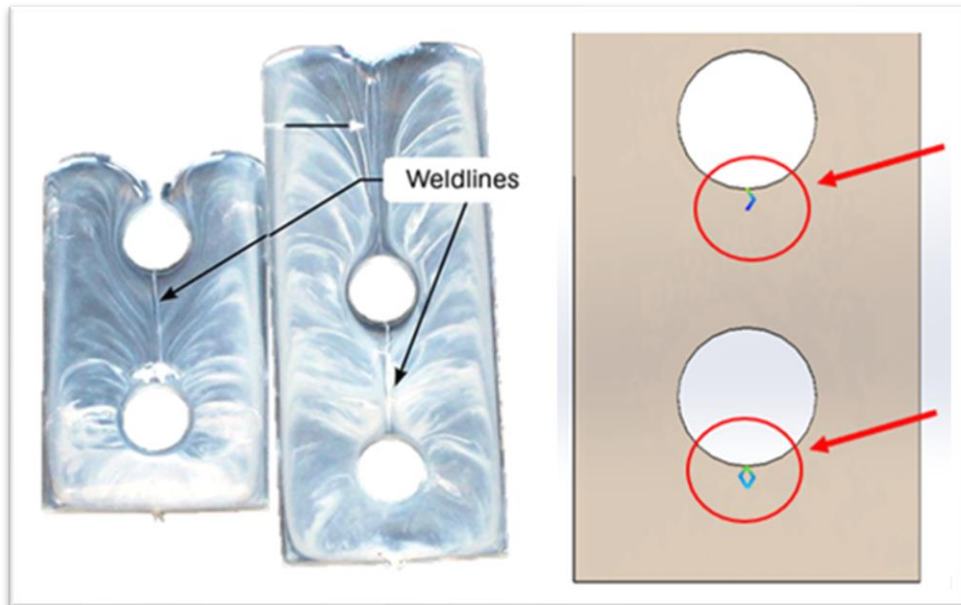
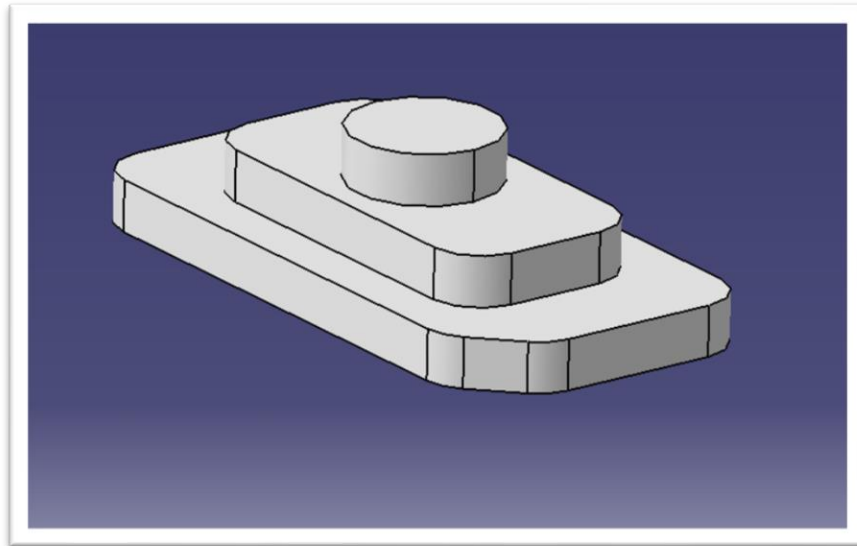


Imagen 8: Ejemplo de soldadura fría en la inyección [4]

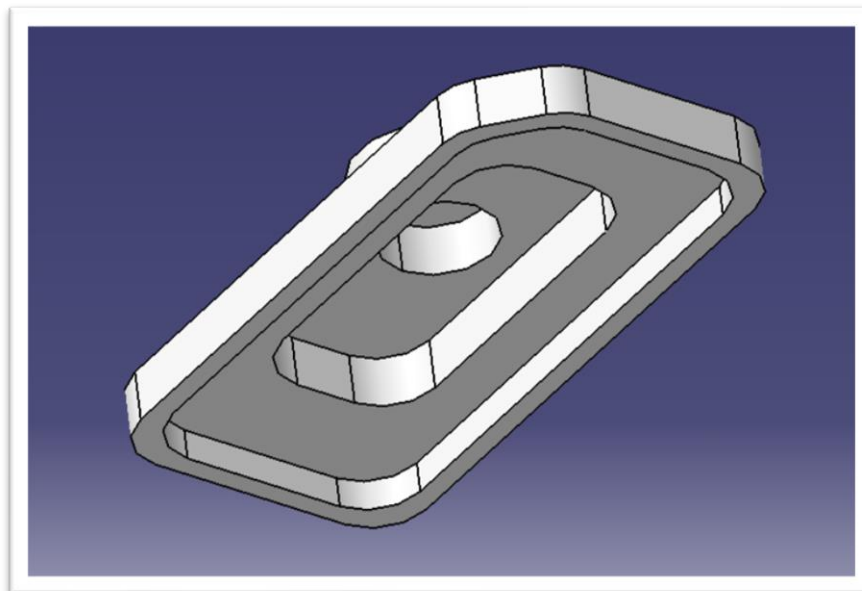
Otro problema al que se enfrenta este diseño es a fracturarse la contrasalida del molde debido a su forma tan esbelta y a la dificultad para poder refrigerar esta zona, por lo que rompería por fatiga.

Es recomendable buscar otro tipo de sujeción, una nueva solución sería realizar un chaflán en una esquina, con esta modificación estamos eliminando los dos problemas anteriores y además a la hora del ensamblaje es muy intuitivo la posición que tiene que adquirir la pieza.

Otro punto que se tiene que estudiar, es la altura de cada nivel que será igual y con esto se mantiene la uniformidad.



**Imagen 9: Pieza definitiva exterior**



**Imagen 10: Pieza definitiva interior**

Después de este proceso de diseño se obtiene una pieza con las siguientes mejoras:

- Al dividirse la pieza en tres alturas iguales de material mejora la manejabilidad para ser ensamblada.
- Se han evitado las esquinas para facilitar la inyección de la pieza y también disminuir el tiempo de mecanizado, de esta manera no será necesario utilizar herramientas de mecanizado de pequeño diámetro.

- Se ha mantenido las aristas vivas en los saltos de alturas de material para facilitar la operación de mecanizado y por lo tanto disminuir el tiempo de mecanizado.
- Se mantiene un espesor constante en toda la pieza para que se produzca un enfriamiento del fluido uniforme y progresivo.
- Reemplazo de los agujeros por un chaflán en la propia pieza manteniendo el objetivo inicial, y así mejorando la fabricabilidad de su correspondiente molde.
- Es una pieza claramente asimétrica gracias al chaflán de una esquina lo que hace mejorar la manipulación del operario.
- Obtención de una pieza con una geometría sencilla y evitando contrasalidas o salientes internos en dirección no paralela a la de apertura y cierre del molde, por lo que influye positivamente en el coste y la fabricación del molde.

#### **4. SIMULACIÓN DE LA INYECCIÓN DE MATERIAL**

Con ayuda del software MoldFlow Advaiser, se realizará un estudio de idoneidad, simulación y verificación de la correcta inyección del diseño. En primer lugar, se generará una carpeta para guardar este estudio, y poder importar la pieza desmoldeada en formato STL.

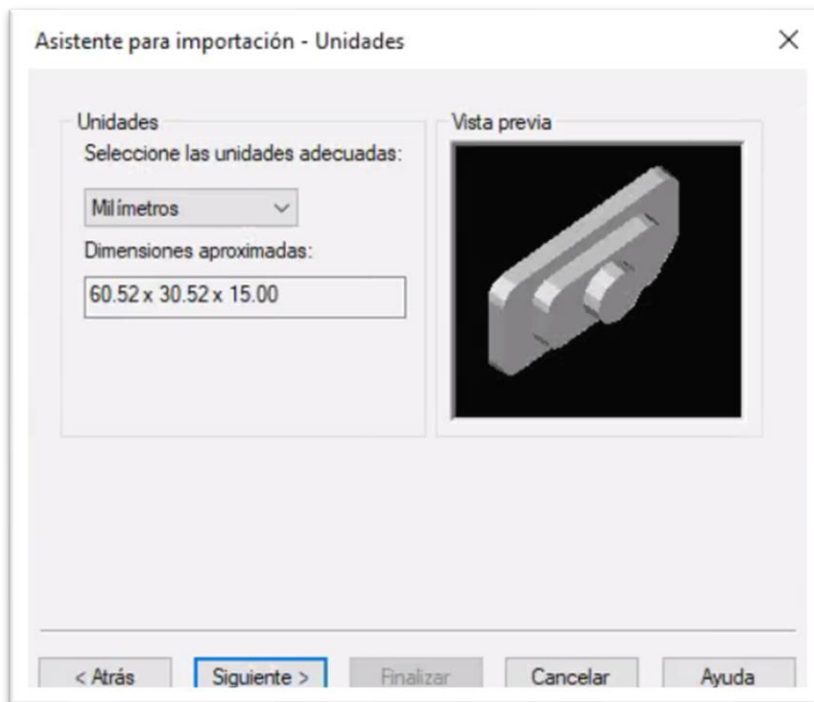


Imagen 11: Apertura del archivo

Para poder importar la pieza, el software realiza un análisis de idoneidad de la pieza. Una vez realizado este pequeño análisis, verifica que la pieza se compone de paredes delgadas y recomienda seleccionar un análisis *Dual Domain*.

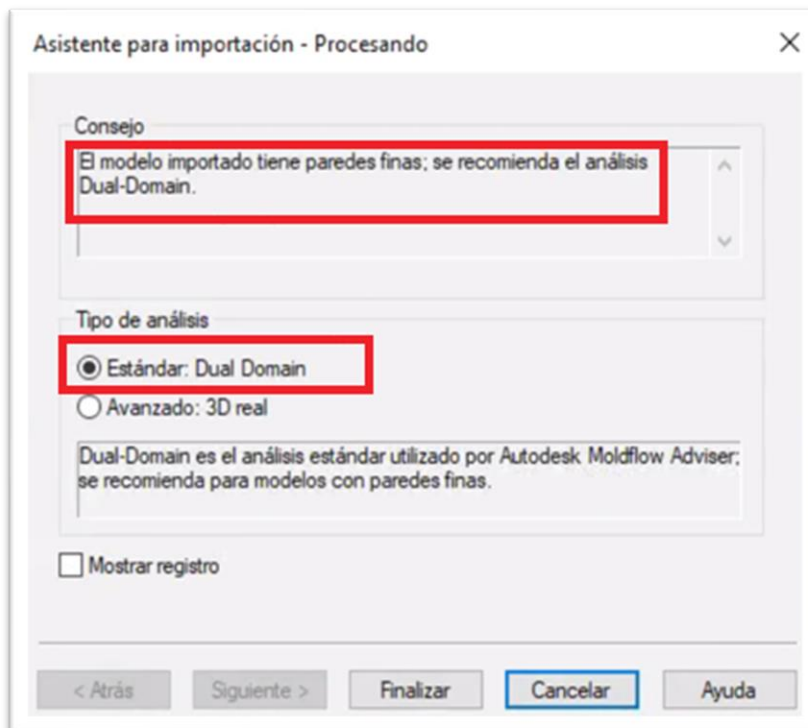


Imagen 12: Recomendación de análisis estándar

Una vez finalizado esta configuración, la pieza se carga correctamente.

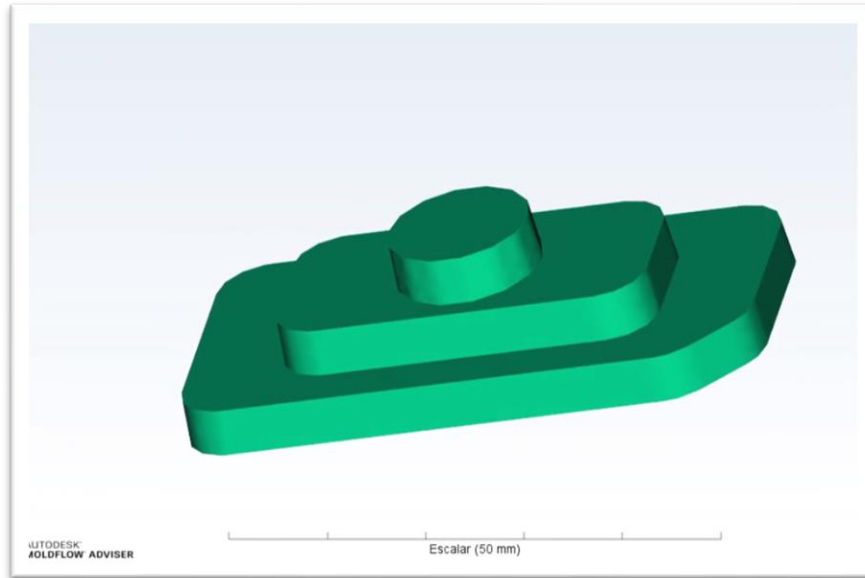


Imagen 13: Pieza desmoldeada en MoldFlow

Con ayuda de la herramienta (*asistente para el análisis*), en el apartado de secuencia se determinará la posición óptima para la inyección.

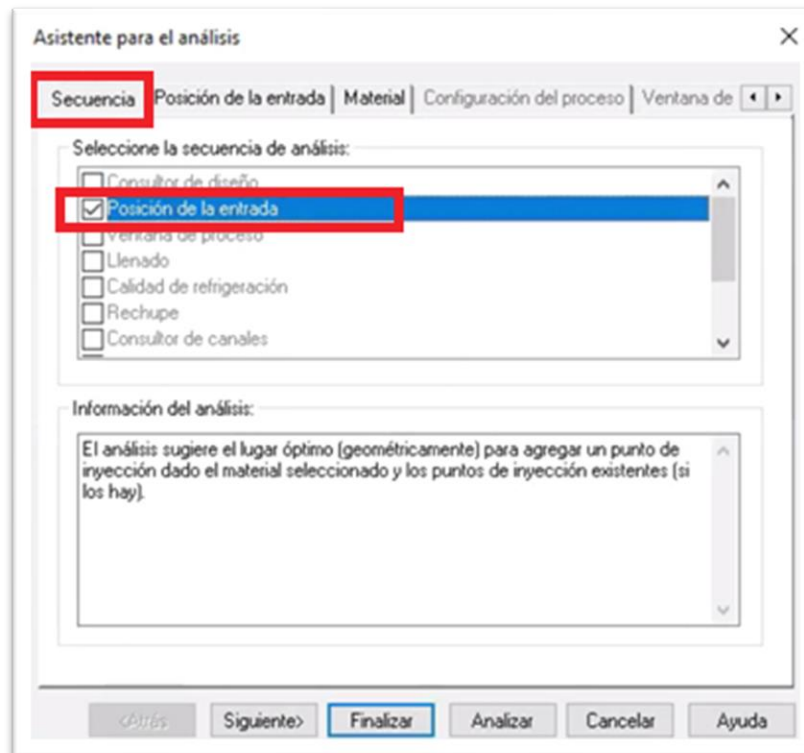


Imagen 14: Configuración de posición óptima

Como ya se ha comentado, la inyectora del taller solo dispone de un solo punto de inyección, por lo que en este caso el número de entradas será una.

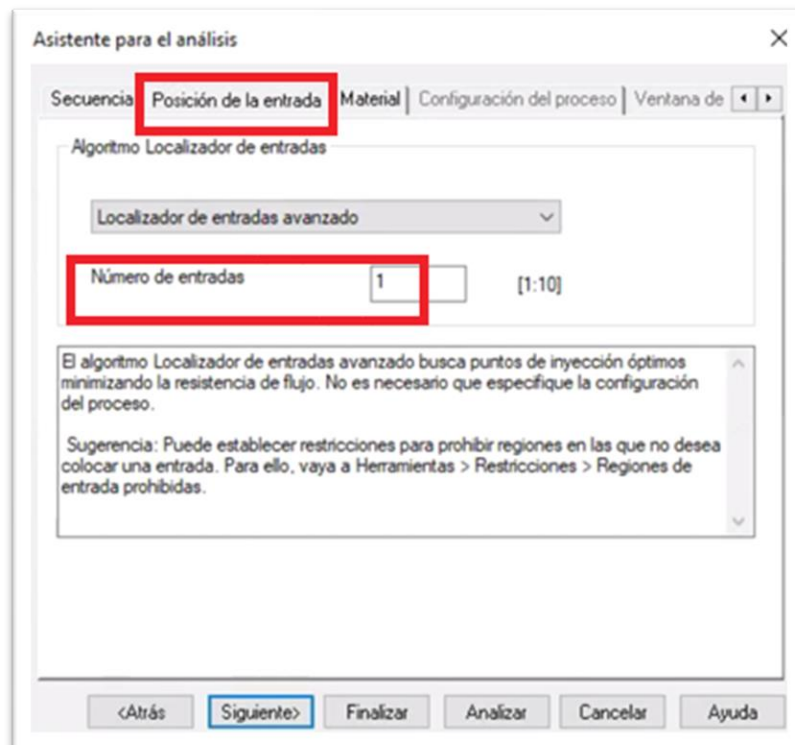


Imagen 15: Configuración del número de entradas

A continuación, se selecciona el material disponible en el taller y que se usará en el proceso de inyección, siendo PVC.

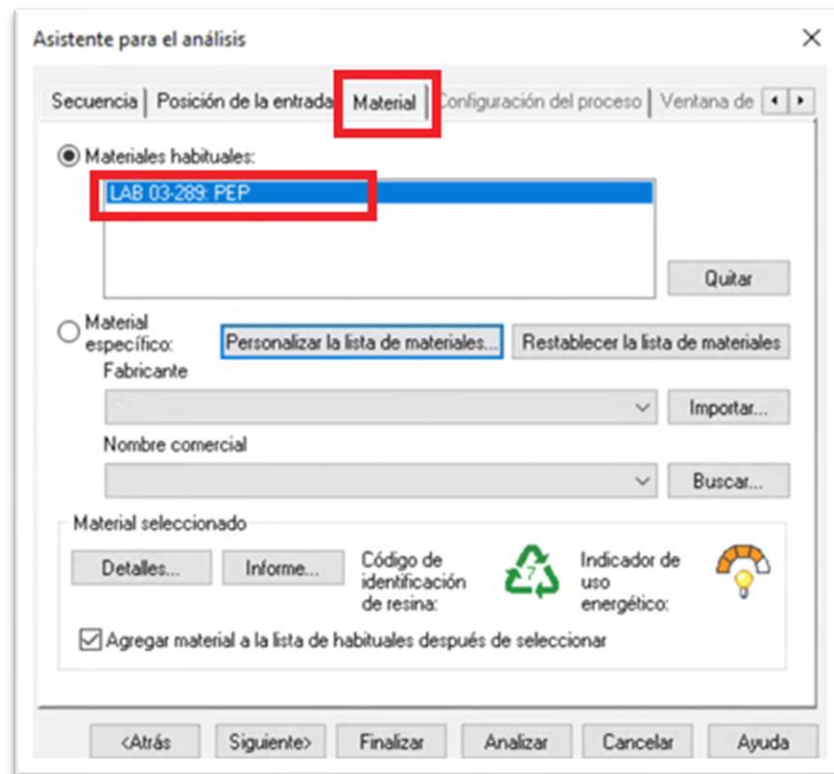


Imagen 16: Selección del material PVC

Una vez introducido esto, ya se puede finalizar la configuración y como resultado muestra dos análisis.

- La resistencia del flujo aparece en las zonas bajas de la pieza.

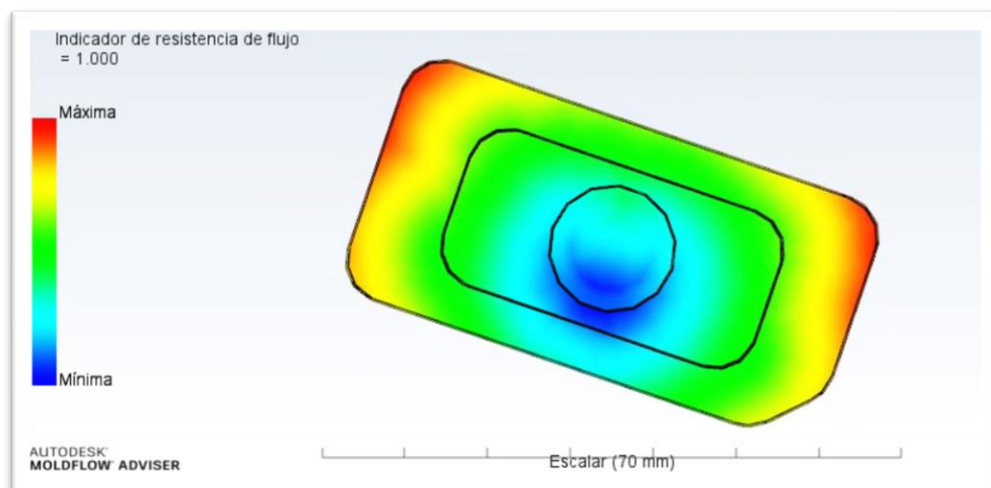
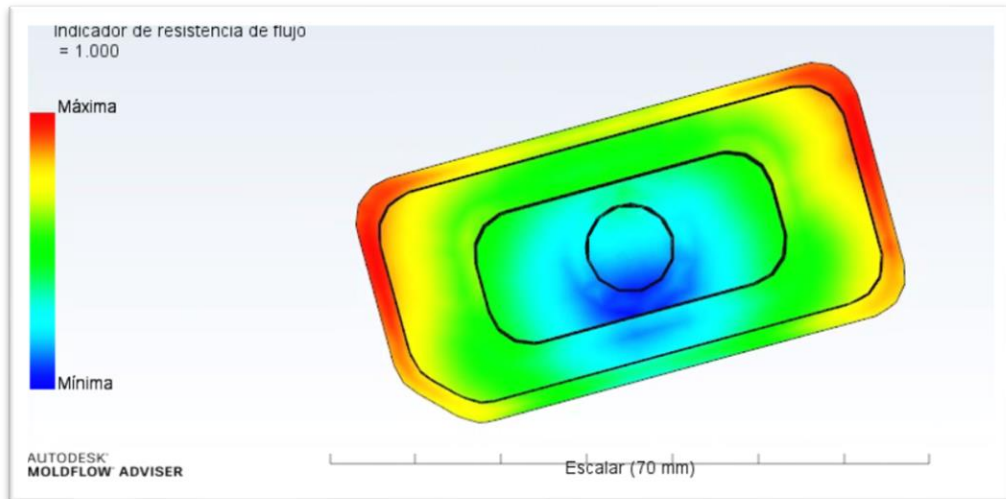
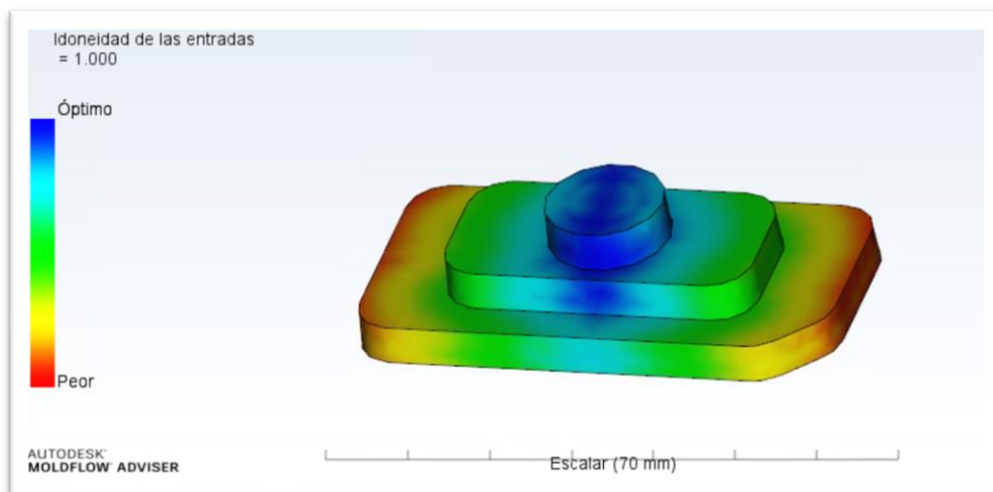


Imagen 17: Resistencia de flujo por el exterior

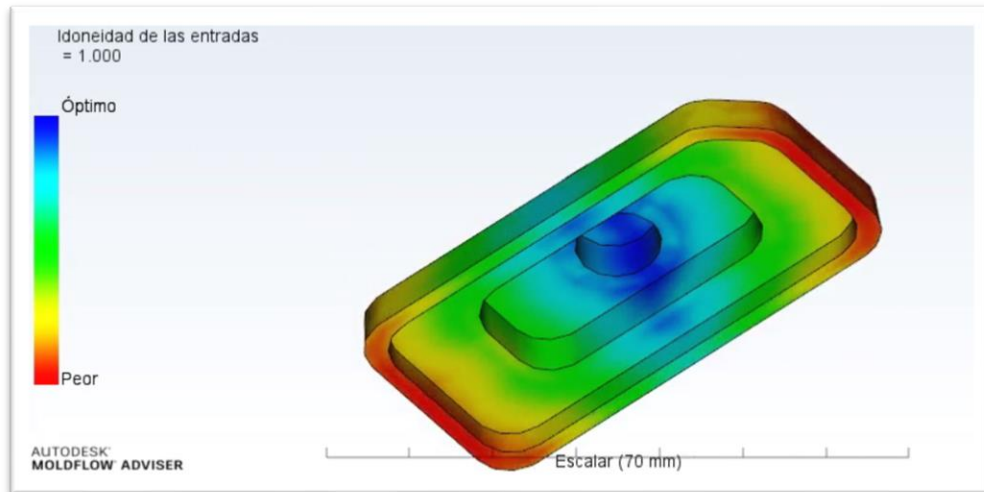


**Imagen 18: Resistencia de flujo por el interior**

- La idoneidad de entradas muestra que la mejor zona para la inyección es la superficie cilíndrica de la última capa de material.

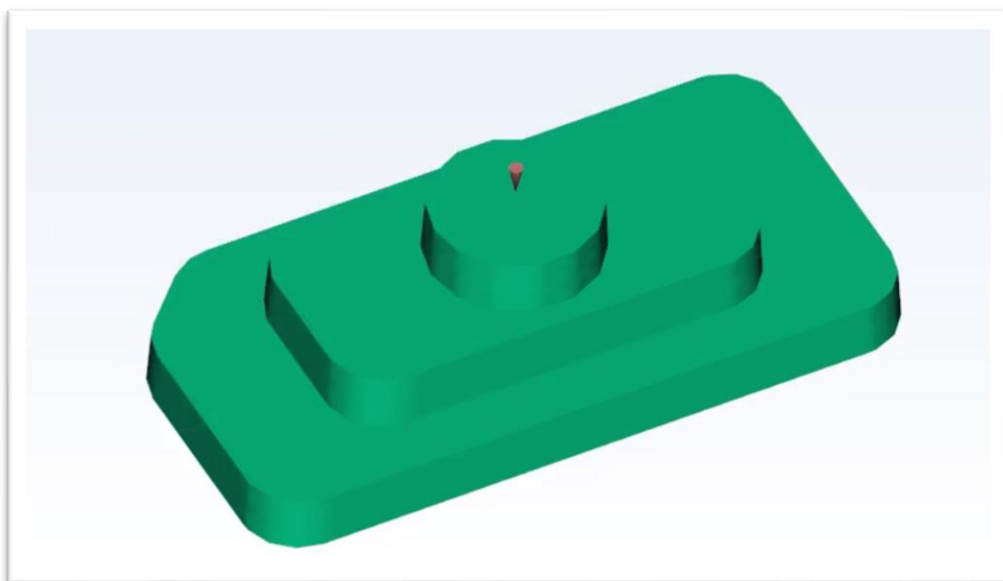


**Imagen 19: Idoneidad de las entradas por el exterior**



**Imagen 20: Idoneidad de las entradas por el interior**

Sin embargo, por temas de fabricabilidad y para que coincida con la dirección de apertura y cierre del molde, el punto de inyección recomendado se puede desplazar hasta la cara superior por el lado exterior. Se realiza por el lado exterior ya que la cavidad dispone de menor distancia hasta llegar al interior del molde y así evita pérdidas térmicas.



**Imagen 21: Punto de inyección**

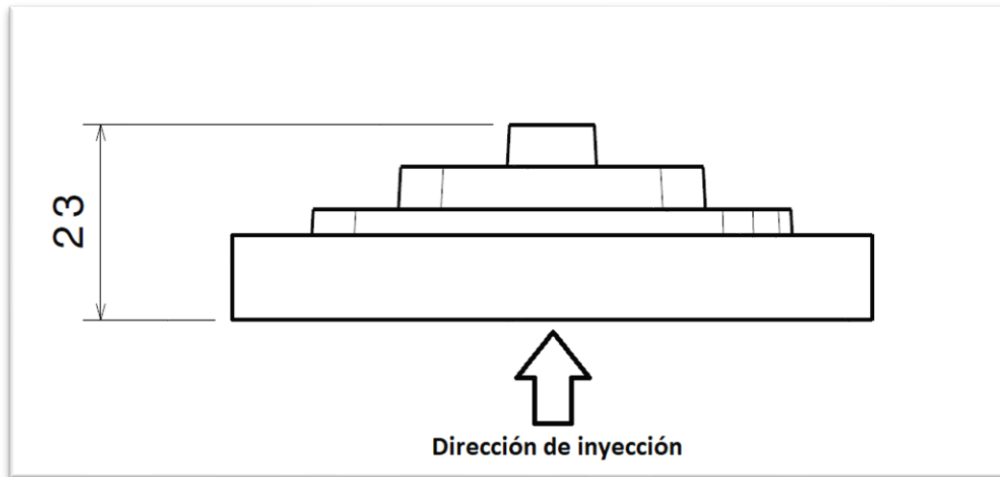


Imagen 22: Dirección de inyección en punzón

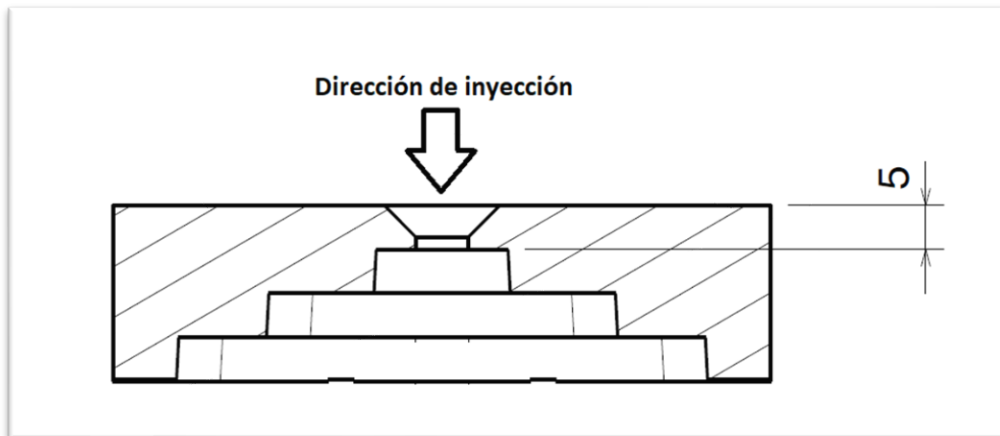


Imagen 23: Dirección de inyección en cavidad

Como se ha modificado el punto de inyección se debe realizar un nuevo estudio, analizando el llenado y compactación.

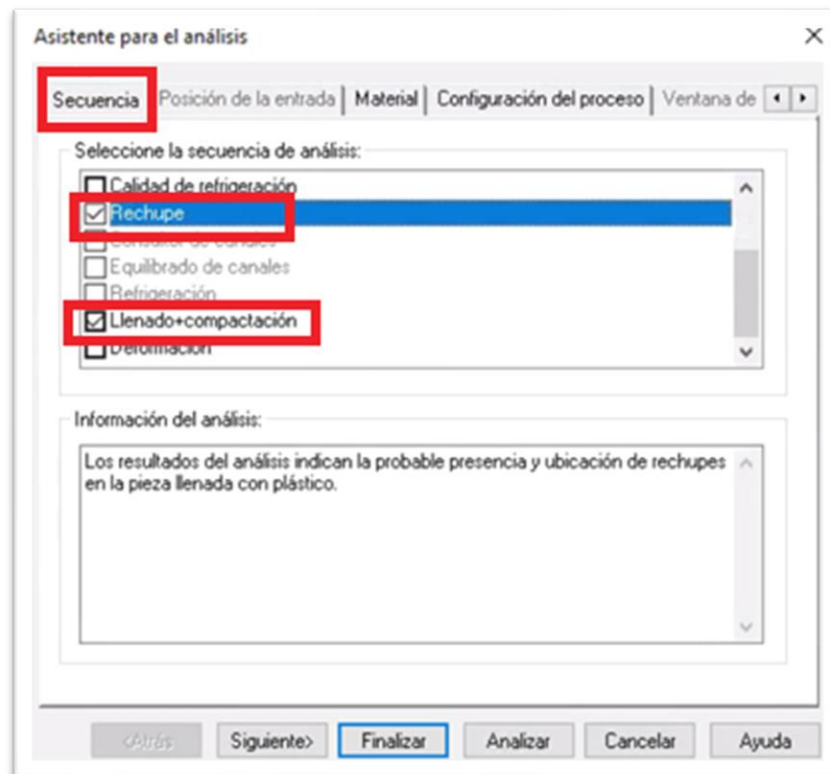


Imagen 24: Configuración de rechupe y llenado-compactación

El siguiente parámetro es el tiempo de refrigeración, por defecto viene como automático, sin embargo, al no disponer de refrigeración interna, se pondrá un tiempo de enfriamiento de cinco minutos.

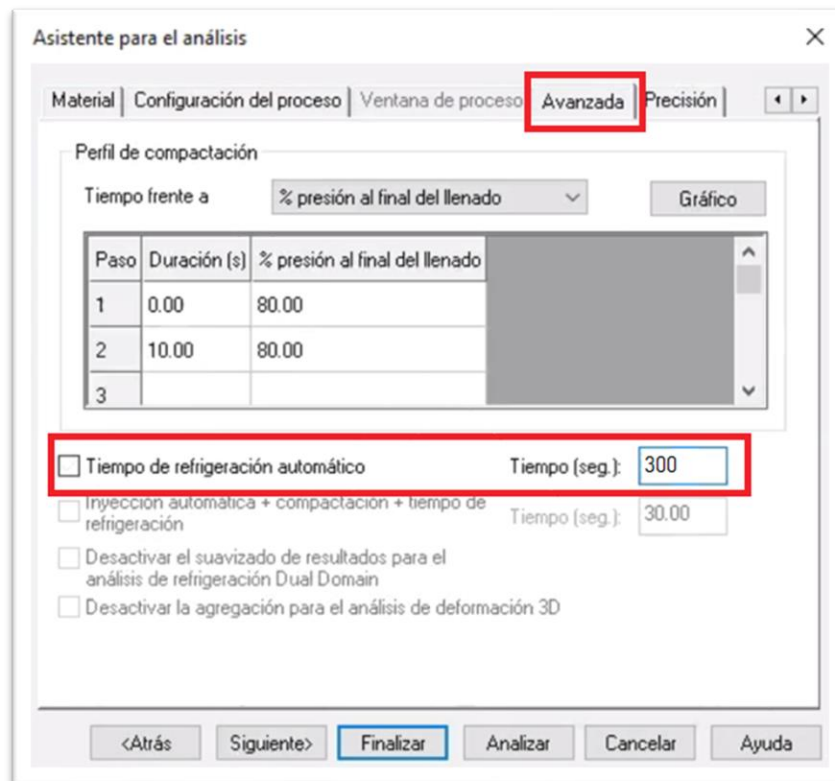


Imagen 25: Configuración del tiempo de refrigeración

Ya se puede finalizar la configuración y como resultado se obtienen varios análisis.

- La confianza de llenado es alta lo que indica que la pieza se llena completamente sin problemas.

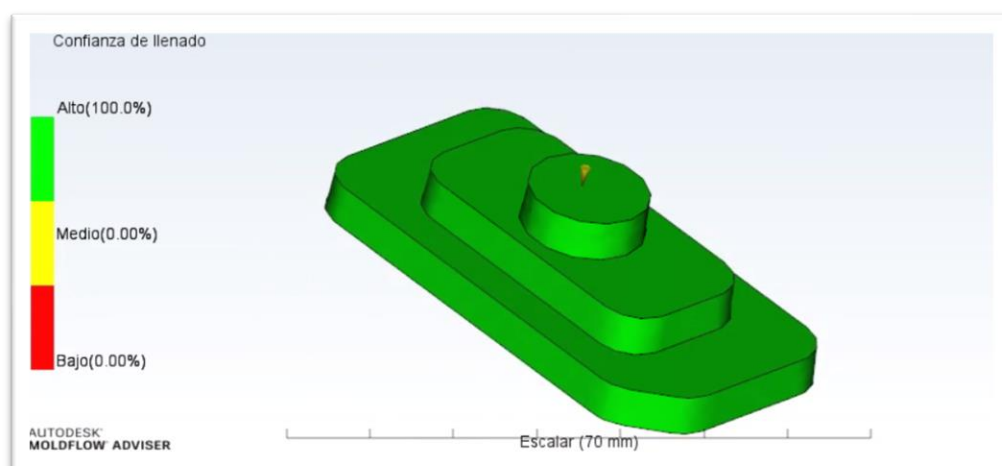


Imagen 26: Confianza de llenado

- La predicción de la calidad está indicando que el acabado superficial será aceptable, teniendo mala calidad en el punto de inyección ya que quedará restos de la colada.

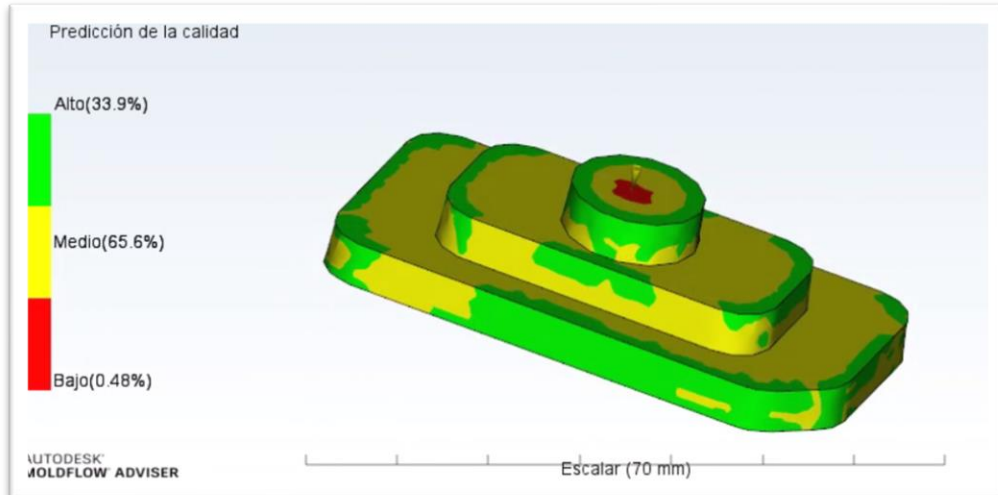


Imagen 27: Calidad de la superficie

- Hay baja probabilidad que se produzcan rechupes, pero se encuentran en las esquinas redondeadas del segundo tramo de material siendo como máximo 0,0717 mm de profundidad.

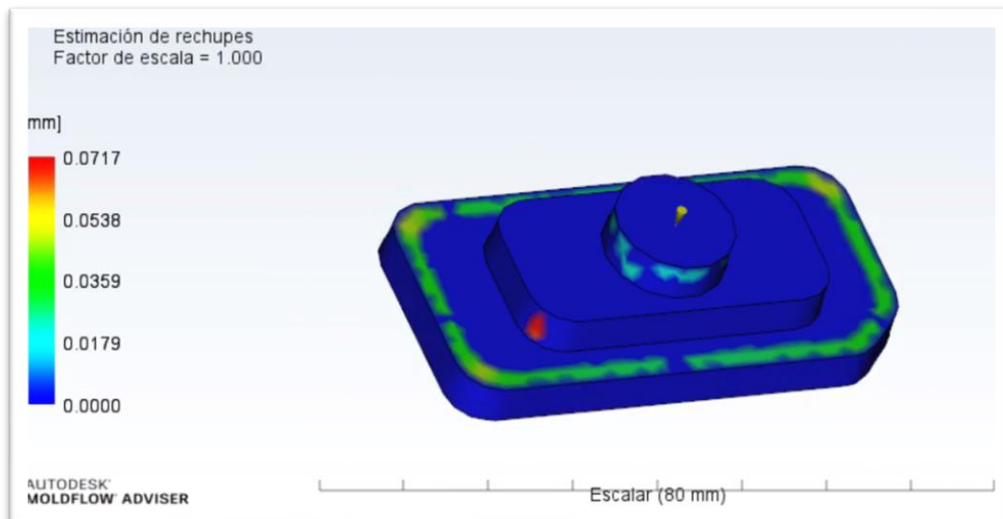


Imagen 28: Estimación de rechupes

Profundidad del rechupe	0.07 (mm)
Profundidad media del rechupe	0.03 (mm)
Porcentaje del modelo con propensión a rechupes	1.44 (%)

Imagen 29: Probabilidad de rechupes

Los datos de interés que proporcionan son el tiempo de llenado, presión de inyección y peso de la pieza entre otros.

Tiempo real de llenado	0.44 (s)
Presión real de inyección	9.558 (MPa)
Área de fuerza de cierre	18.0352 (cm <sup>2</sup> )
Fuerza de cierre máx. durante el llenado	0.946 (tonelada)
Conmutación de velocidad/presión a % volumen	99.14 (%)
Conmutación de velocidad/presión en tiempo	0.44 (s)
Peso total de la pieza al final del llenado	11.218 (g)
Volumen de inyectada	6.1942 (cm <sup>3</sup> )

Imagen 30: Datos de salida

Comprobado que la pieza es inyectable, y no necesita ninguna modificación se puede pasar a estudiar el mecanizado del molde correspondiente.

## 5. FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO CON IMPRESIÓN 3D

### 5.1. Definición

A parte del método convencional de prototipado rápido mediante la eliminación de material (CNC), existe un método alternativo de prototipado rápido que es mediante la adicción de material (AM).

Hay diferentes tipos de impresión 3D, sin embargo, la tecnología más usada y la disponible en el laboratorio es la extrusión de material (FDM), consiste en fundir un hilo sólido de material e ir depositándolo por capas, siguiendo una trayectoria 2D hasta conseguir un objeto en 3D.

Las principales ventajas que tiene esta tecnología son:

- Obtención de geometrías complejas sin aumentar el tiempo ni el coste.

- Posibilidad de generar objetos personalizados.
- Reducción de componentes o partes en solo una pieza.
- Creación de prototipos rápidamente y sin necesidad de moldes.

## **5.2. Etapas de la impresión 3D**

### **5.2.1. Diseño**

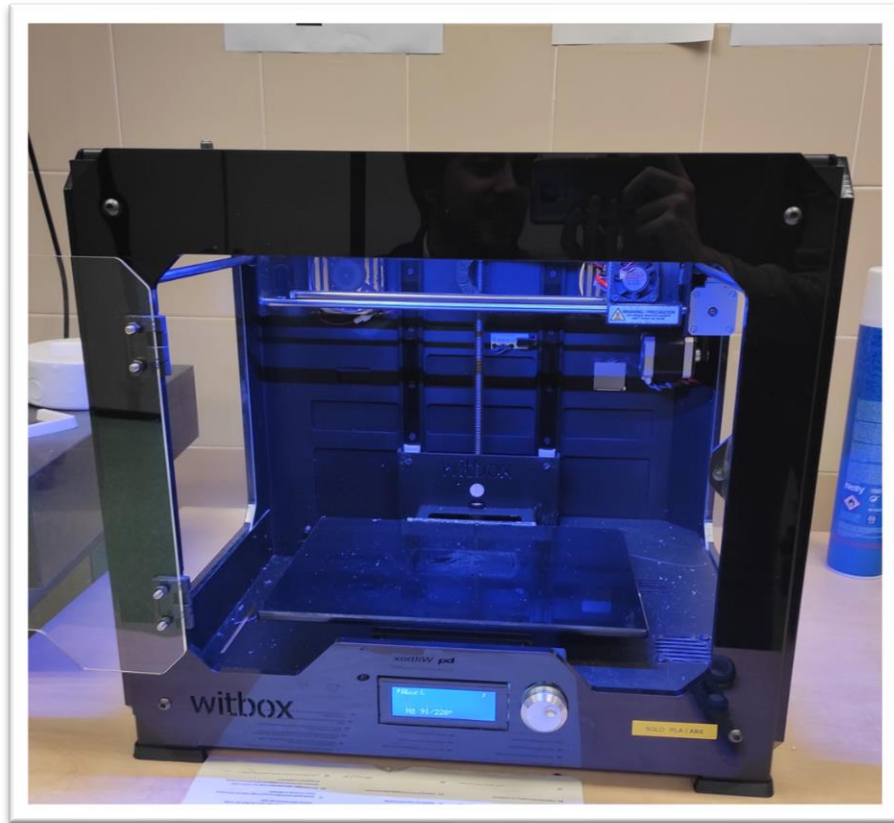
Se realizará el diseño de la pieza preliminar que se desea fabricar.

### **5.2.2. Discretización**

La tecnología AM utiliza la división en capas mediante una aproximación discreta del modelo CAD. La superficie se aproxima con pequeñas mallas. El formato utilizado es STL y se obtiene desde Catia guardando con este nuevo formato.

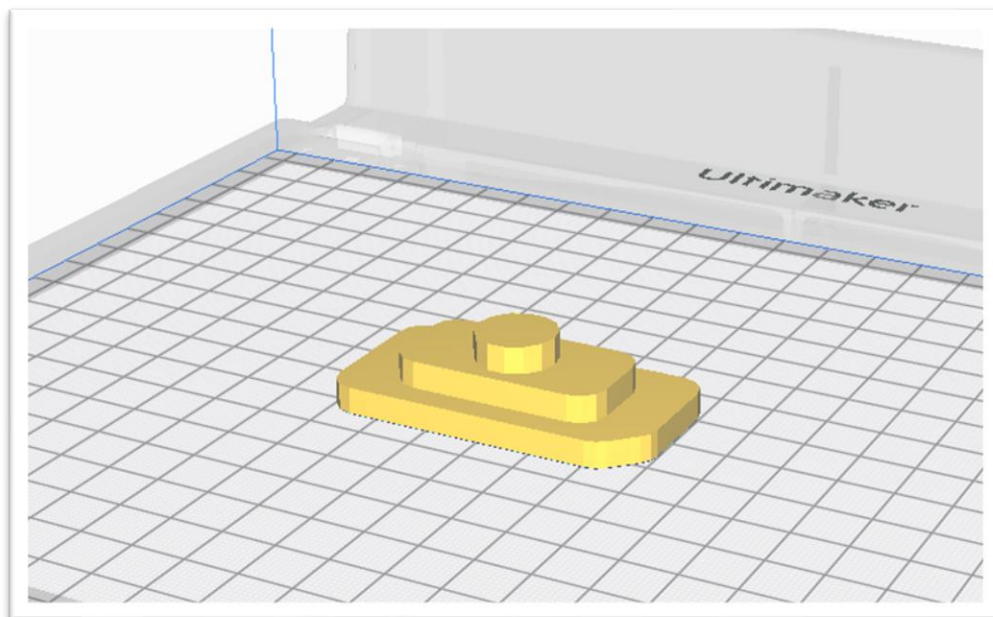
### **5.2.3. Configuración de la impresión**

Se usará el software Ultimaker Cura para la impresión 3D, primero se tendrá que cargar la impresora a utilizar, en este caso la disponible en el taller es la BQ Witbox, con un cabezal de extrusión.



**Imagen 31: Impresora Witbox**

También se importa la pieza en la posición más óptima para la impresión, aunque coincide con la posición de diseño.



**Imagen 32: Importación de pieza en Ultimaker Cura**

En el módulo de preparación, se insertará material PLA y se habilitará el primer cabezal.

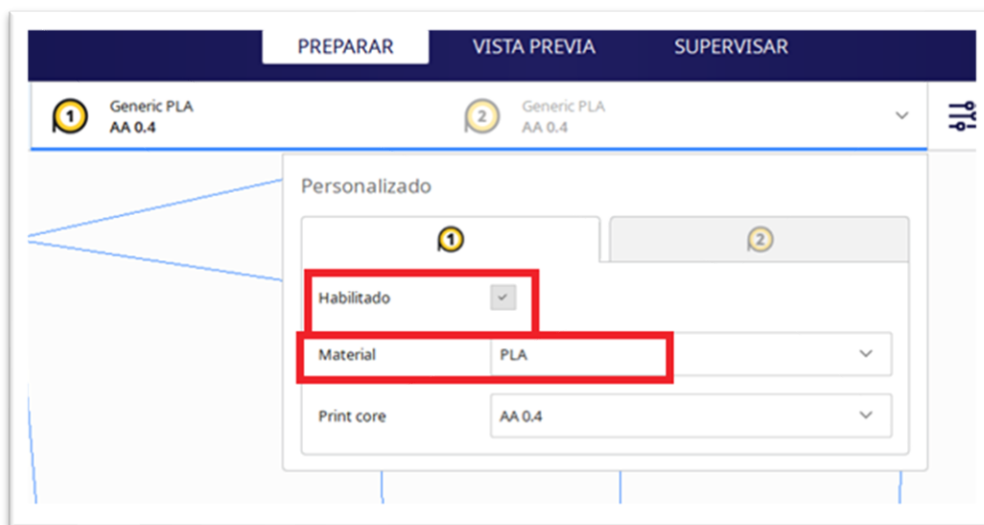


Imagen 33: Configuración cabezal y material

Existen diferentes ajustes de impresión, para darle una buena calidad superficial se reduce la altura de capa a 0,05 mm. Y para que la pieza tenga consistencia se aumenta la densidad de relleno a 20% utilizando un patrón de triángulos.

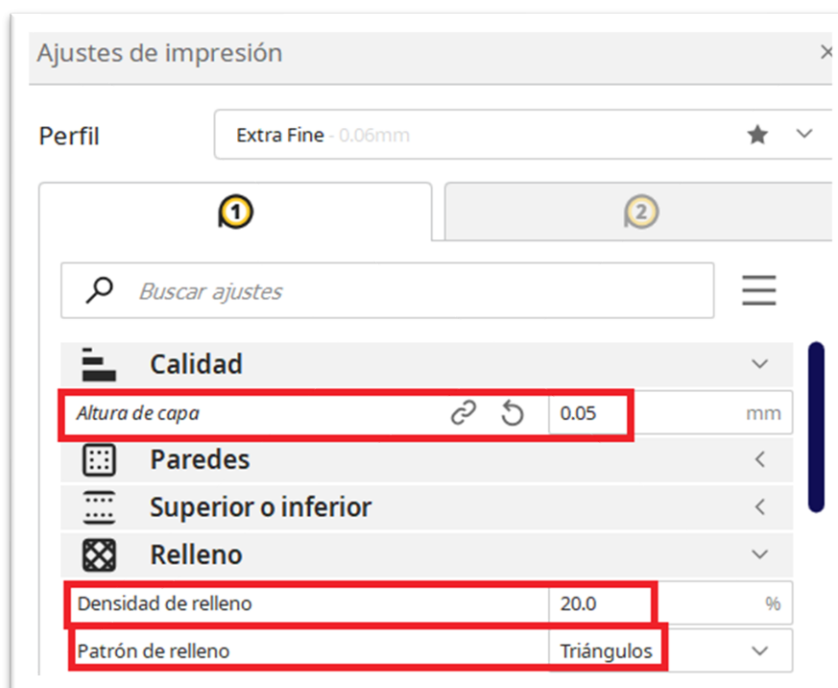


Imagen 34: Ajuste de altura de capa y relleno para impresión 3D

Debido a que la pieza es hueca, será necesario la generación de soporte, y la colocación será desde la placa de impresión.

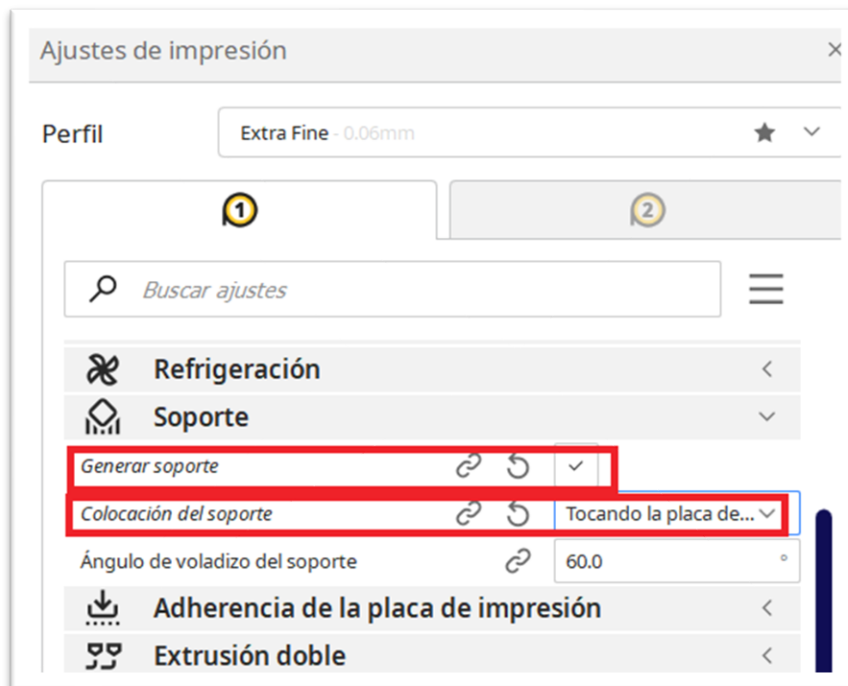


Imagen 35: Ajuste de soporte de impresión 3D

El último parámetro a modificar será la adherencia a la placa de impresión, se seleccionará de tipo falda, para que genere una delgada capa de material donde apoyará la pieza, esto facilitará a la hora de sustraer la pieza imprimida.

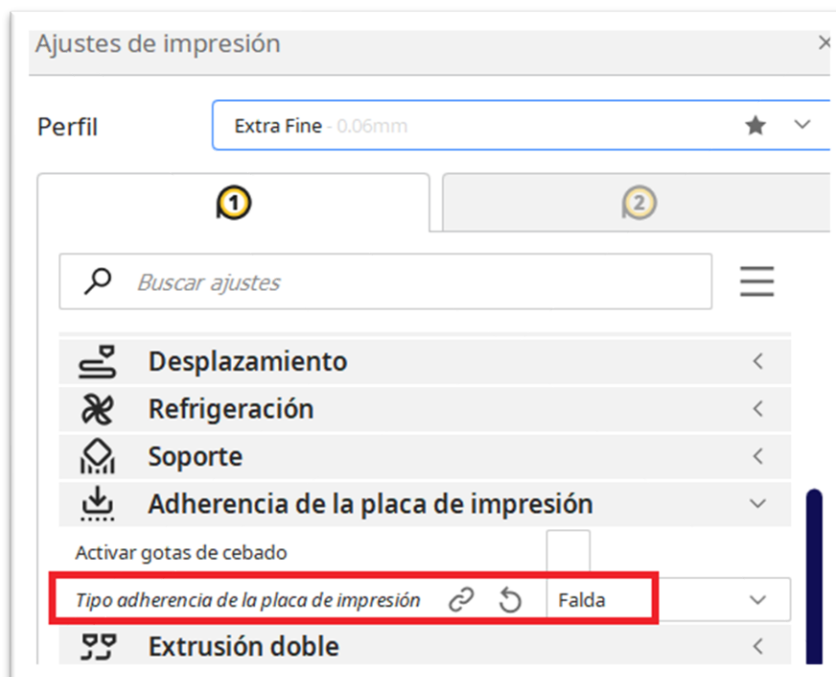


Imagen 36: Ajuste de adherencia para impresión 3D

Una vez configurado todos los parámetros, se ejecuta y como resultado da el tiempo de impresión y la cantidad de material a utilizar. Entonces ya se puede guardar el archivo y estará listo para introducirlo en la impresora.

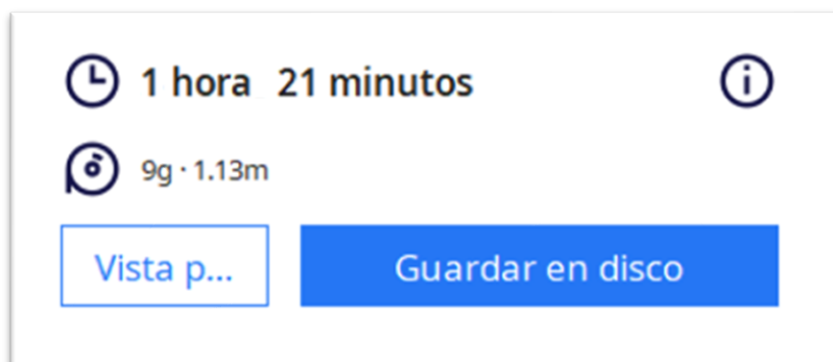


Imagen 37: Tiempo y material utilizado para la impresión 3D

Una vez encendida la impresora, se añadirá laca sobre la base para poder retirarla con facilidad una vez imprimida, entonces habrá que introducirle el archivo en una tarjeta externa, y se ejecutará. Después de una hora de impresión el resultado es el siguiente, habrá que quitar el material de soporte.



**Imagen 38: Material de soporte**

Se ha imprimido varias pruebas hasta conseguir un buen patrón y así comprobar las medidas del diseño preliminar son las correctas.



**Imagen 39: Pieza imprimida en 3D**

## 6. DISEÑO CAD

### 6.1. Diseño CAD de la pieza

Como ya se comentó al principio, el diseño de la pieza ha sido generado con el software Catia V5R21, con el módulo de *Part Design*, utilizando la herramienta más utilizada de extrusión (*Pad*), para realizar cada nivel de material.

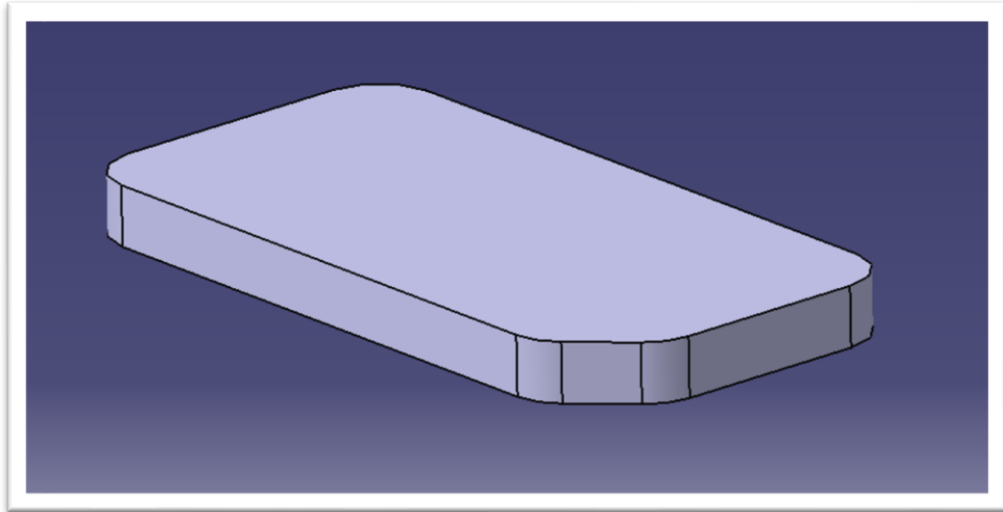


Imagen 40: Extrusión de la primera capa

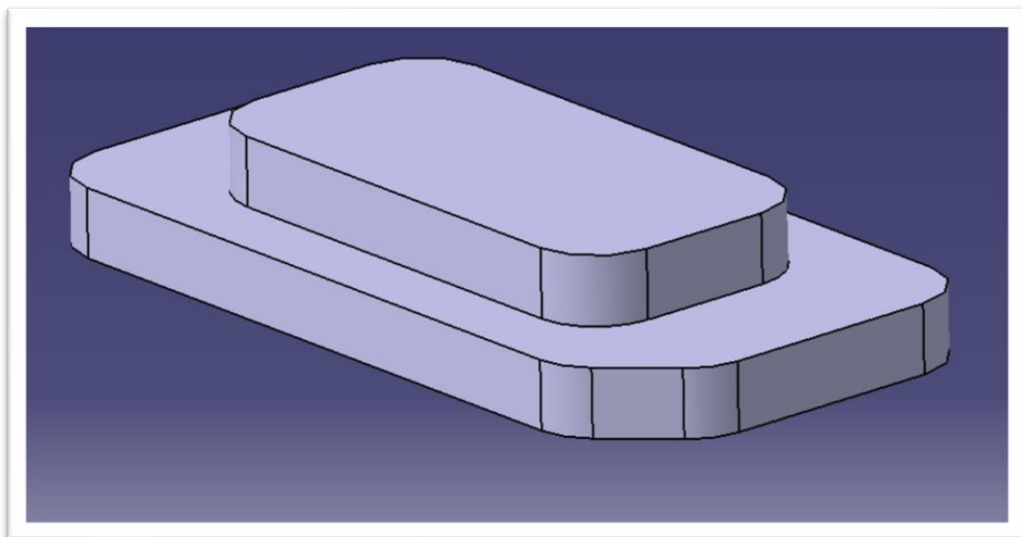
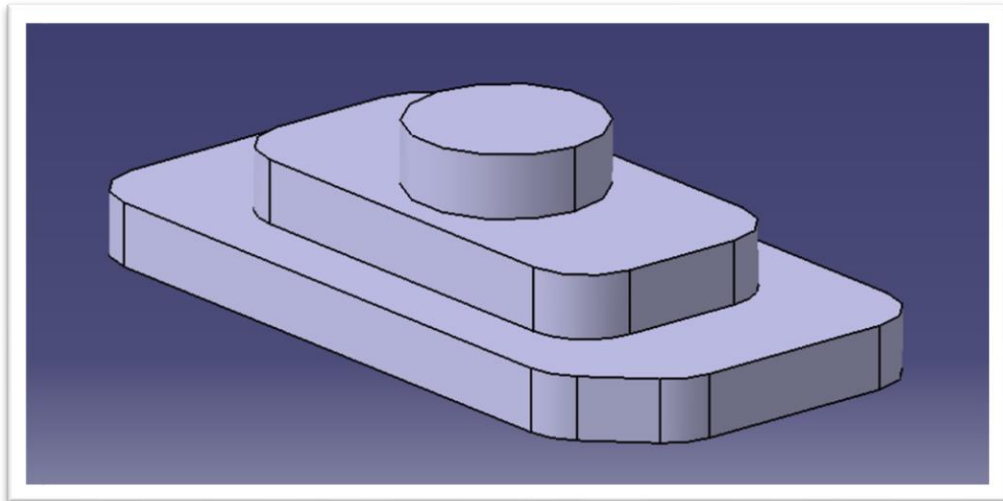


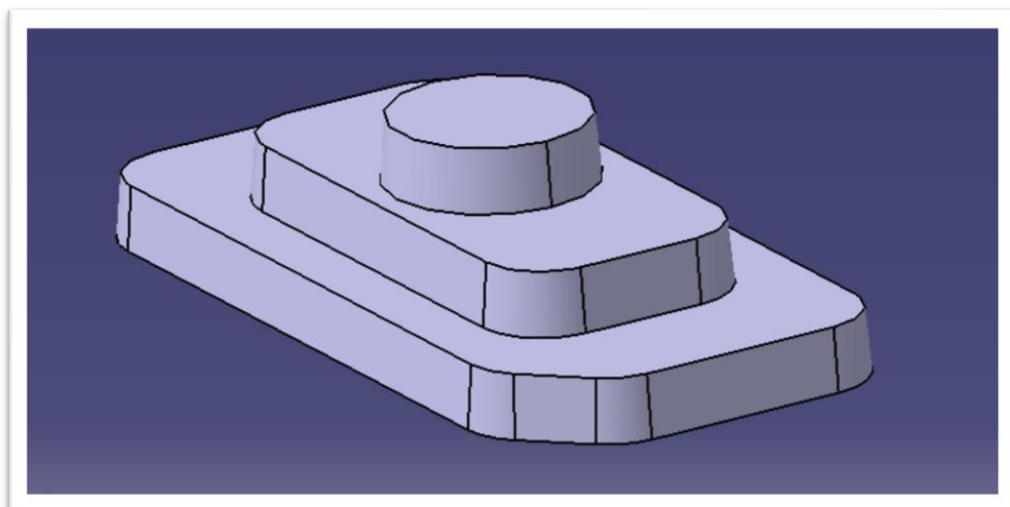
Imagen 41: Extrusión de la segunda capa



**Imagen 42: Extrusión de la tercera capa**

Un problema que suele presentarse en las piezas por inyección de plástico, es la adhesión que se produce entre la superficie de la pieza y la superficie del molde. En ocasiones esta adhesión impide la expulsión de la pieza o el deterioro de la superficie, por este motivo se genera sobre las paredes de la pieza tres grados de desnivel para ayudar al fácil desmoldeo.

El desnivel se realiza tanto por la superficie del exterior como la del interior de la pieza. Esta operación se utiliza la herramienta (*Draft Angle*), hay que indicarle las caras que se quieren hacer el desmoldeo y también la cara de referencia. Resultando de la siguiente manera. Y para generar un vaciado y mantener un espesor constante de 2 mm se utiliza la herramienta (*Shell*).



**Imagen 43: Desmoldeo exterior**

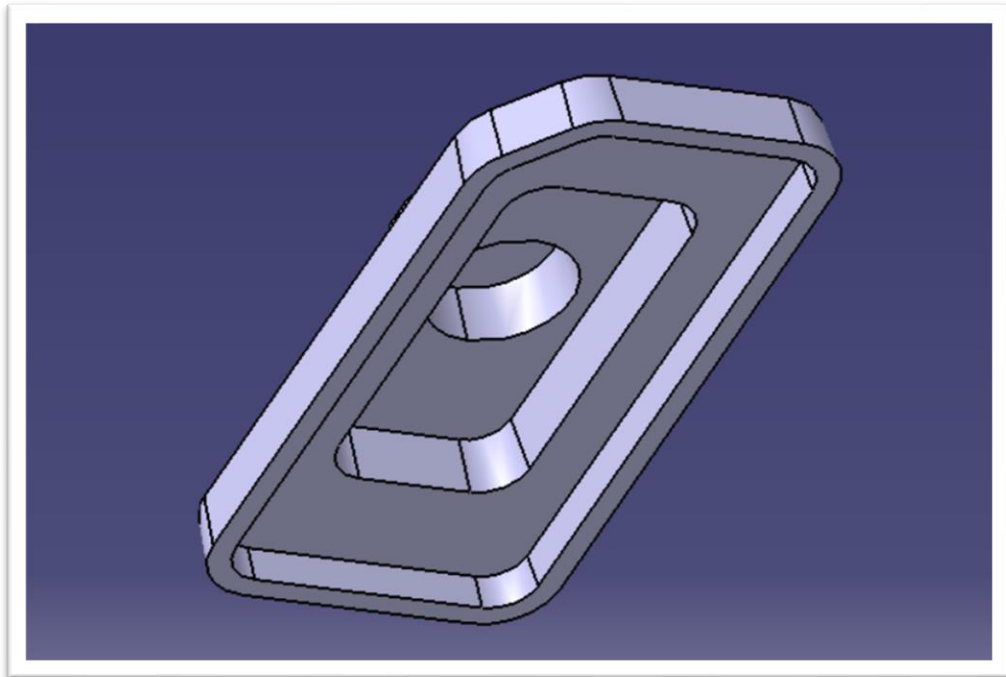


Imagen 44: Desmoldeo interior

Se adjuntan los planos correspondientes a la pieza en el ANEXO I (1. PIEZA).

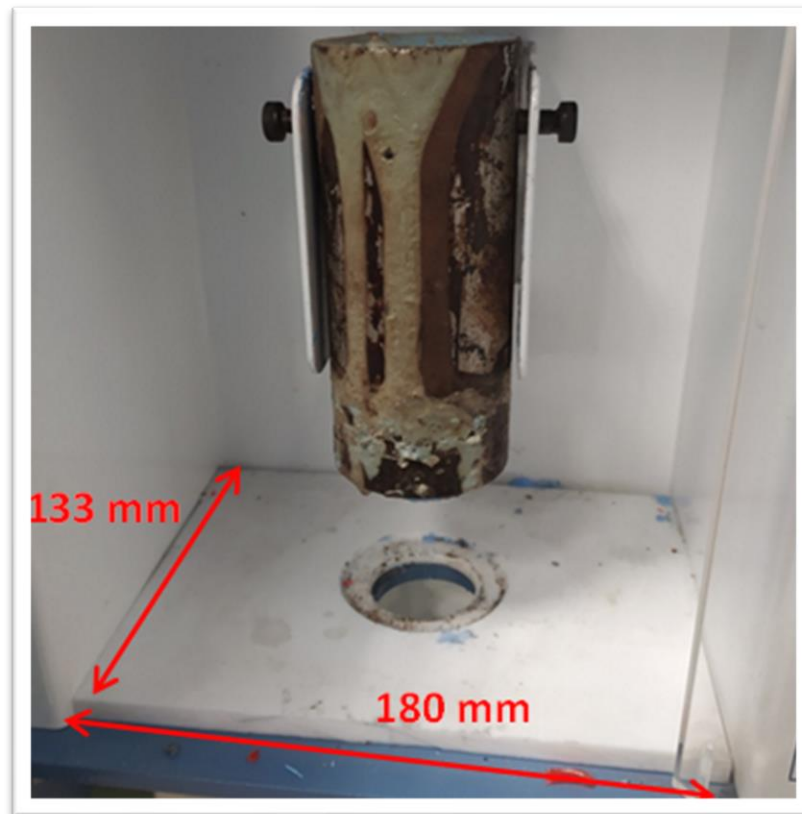
## 6.2. Diseño CAD de molde para inyección

Es interesante conocer el material disponible en el taller, en este caso será de un tocho de aluminio cilíndrico de 100 mm de diámetro y 100 mm de longitud.



Imagen 45: Tocho de aluminio

Sin embargo, el espacio disponible en la inyectora del taller es de 133 mm de ancho y 180 mm de largo, por lo que se darán 58 mm de margen para la manipulación y agarre si fuera necesario, y como resultante el molde tendrá un diámetro de 75 mm. Se adaptarán las dimensiones de la pieza en el caso de que no cumpla ciertas condiciones de fabricabilidad.



**Imagen 46: Dimensiones inyectora del taller**

Como anteriormente se ha mencionado, esto son recomendaciones, por lo que en este diseño se adaptará a una medida menor ya que no se realizará refrigeración interna.

Se le añade otra modificación para evitar problemas de inyección por falta de presión y para ahorrar material, el valor recomendado de ancho total del molde se reduce a 5 mm en una parte del molde, y se aumenta en la parte complementaria, y así mantener un molde con una medida estándar de 30 mm de ancho.

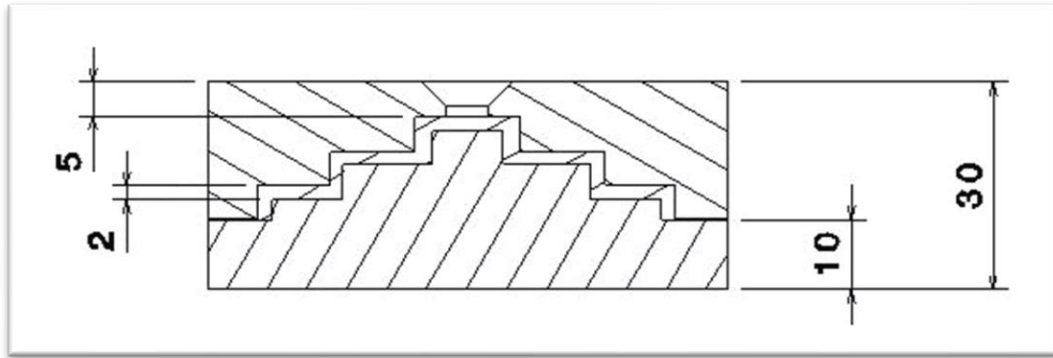


Imagen 47: Dimensiones molde

Según esta distancia mínima entre las paredes del molde y de la pieza calculada anteriormente, se comprueba que con las dimensiones que se habían predefinido en el molde con un diámetro de 75 mm, en su distancia más crítica es mayor del valor obtenido, por tanto, sí cumple con las dimensiones recomendadas.

Una vez comprobado que la pieza y el molde cumplen con los parámetros recomendados, el diseño del molde de inyección se realizará con una nueva filosofía de trabajo en Catia, conocida como operaciones en booleanas. Este proceso se tiene que dividir en dos apartados.

### 6.2.1. Cavidad

Se abre un nuevo *Product*, llamado *MOLDE* en el que se adjunta la pieza de plástico. Por otro lado, se añade una nueva pieza que se nombrará como *cavidad*, quedando de la siguiente manera.

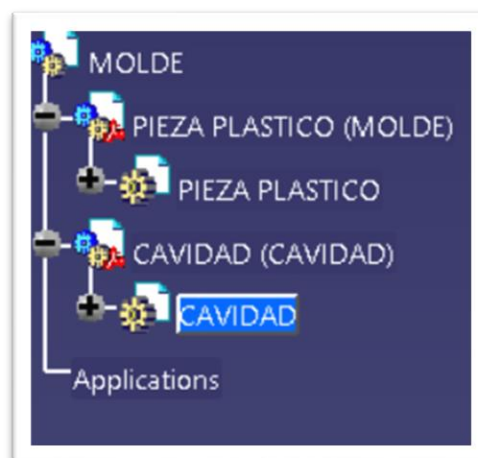


Imagen 48: Árbol de trabajo para la cavidad

Sobre la nueva pieza *CAVIDAD* se genera un cilindro de 75 mm de diámetro y una altura de 20 mm, que representará el taco de material.

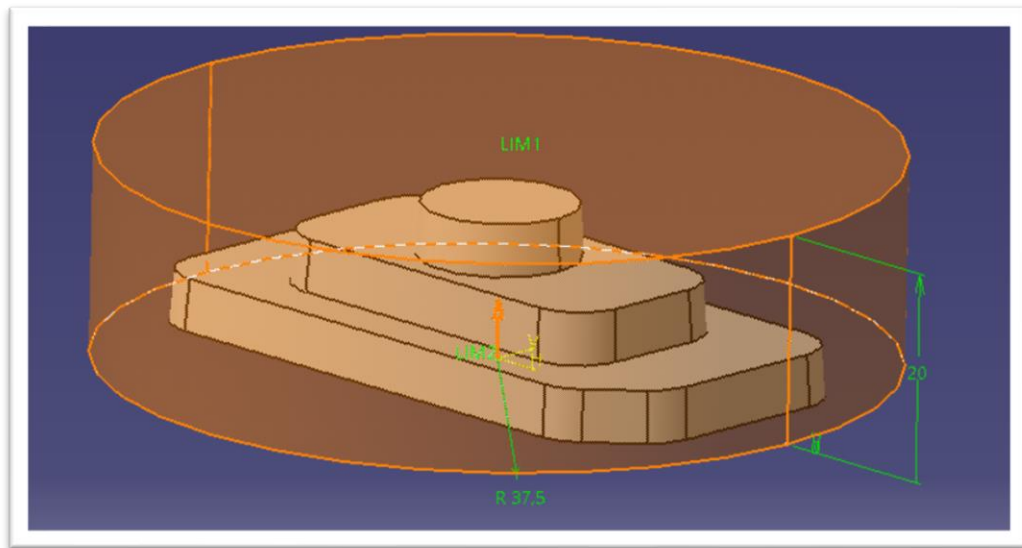


Imagen 49: Diseño del taco para la cavidad

Con ayuda de la herramienta (*Remove*), perteneciente a las operaciones en booleanas, se define el sólido que se quiere eliminar y el sólido que se quiere conservar. De esta manera se realiza un vaciado en el taco de la superficie de la pieza.

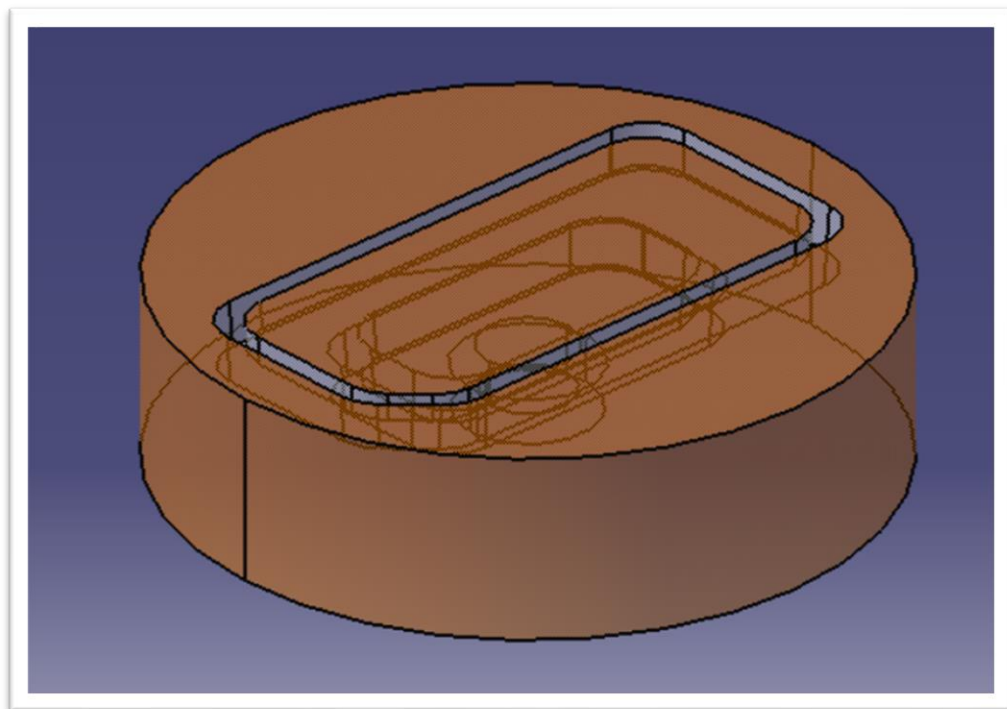
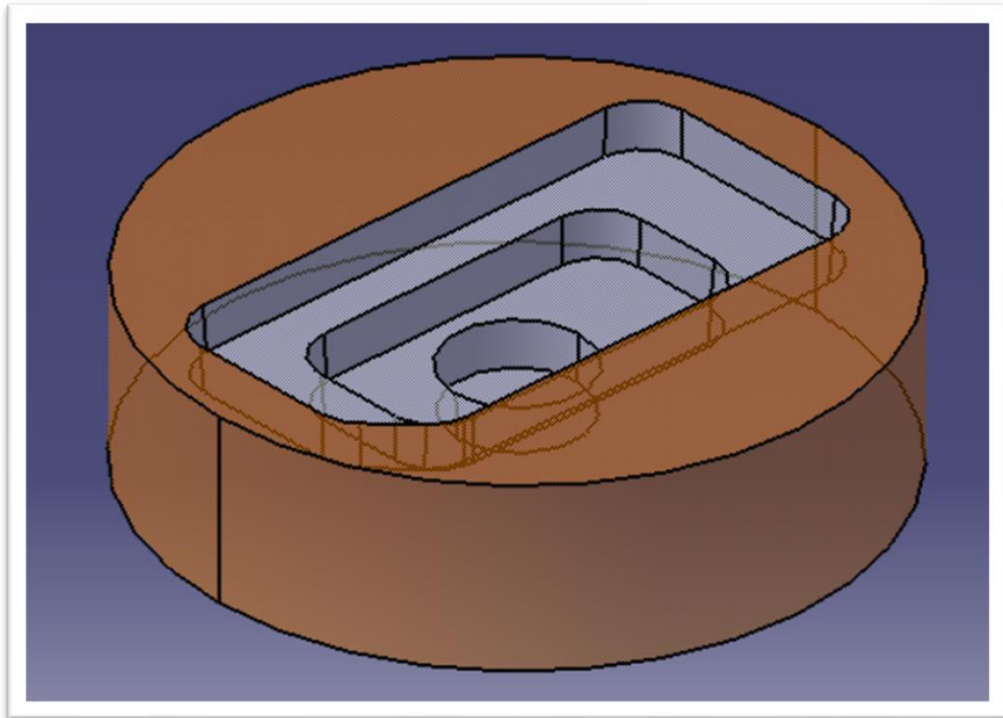


Imagen 50: Operación de vaciado pieza-cavidad

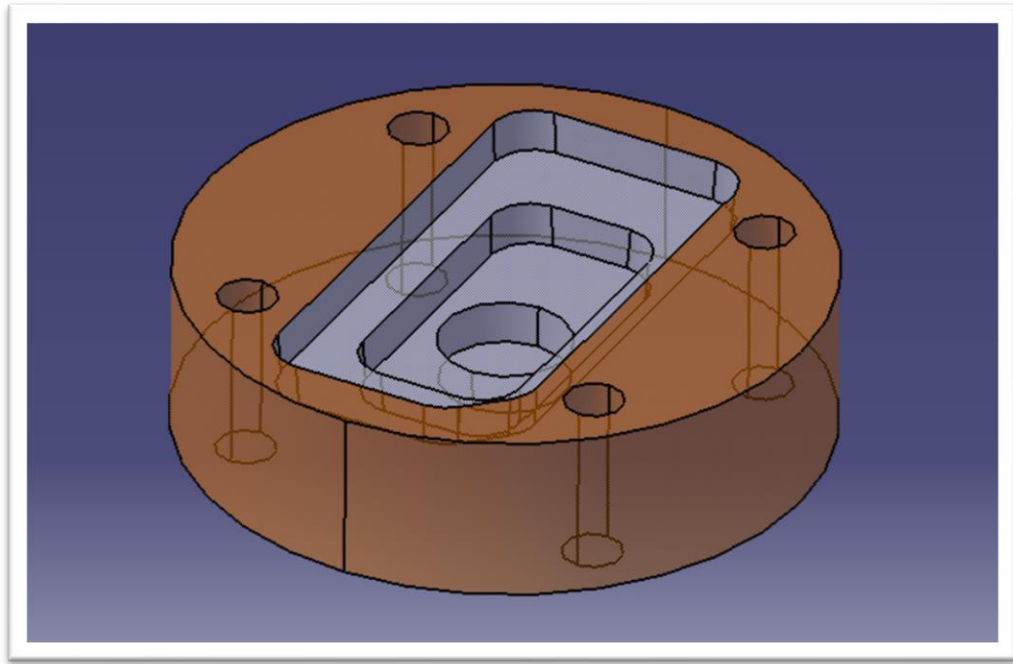
Para poder realizar un vaciado del volumen completo de la pieza de plástico, se tendrá que usar la herramienta (*Remove Lump*), consiste en separar el sólido y eliminar la parte que no se desee, seleccionando la cara a mantener y la cara a eliminar. Resulta quedar de la siguiente manera.



**Imagen 51: Operación de vaciado total**

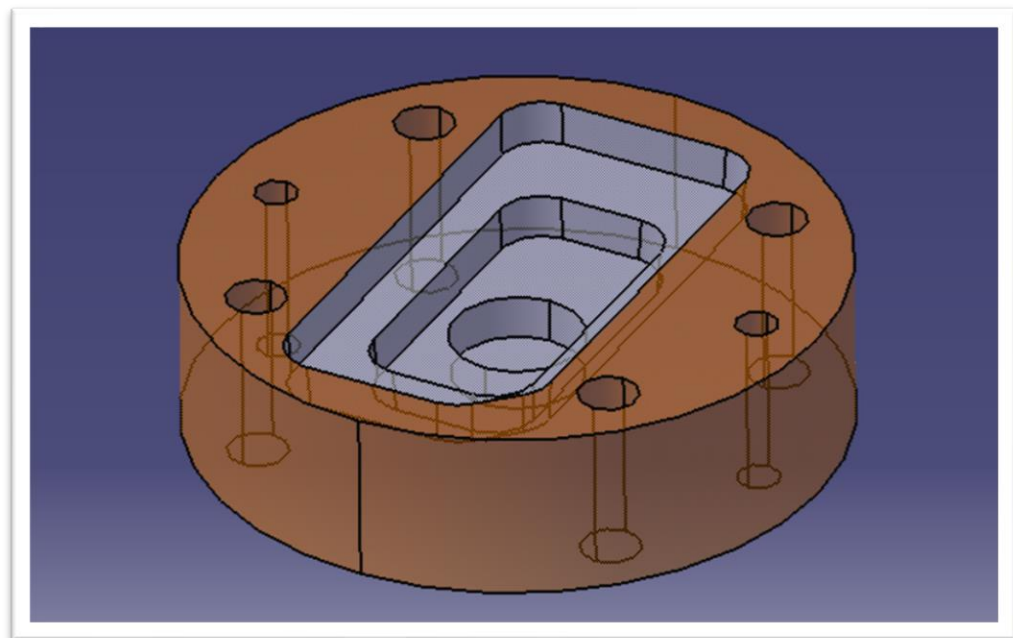
Una vez que se tiene la figura en negativo sobre el taco de aluminio, la cavidad se acoplará con su correspondiente punzón y cuando se realice la inyección de material se ejercerá tal presión dentro del molde que intentará abrirse.

Para evitar este problema y que se realice una inyección perfecta será necesario fabricar un sistema de sujeción. Se diseñarán cuatro agujeros pasantes de 7 mm de diámetro por el que se pasarán cuatro tornillos.



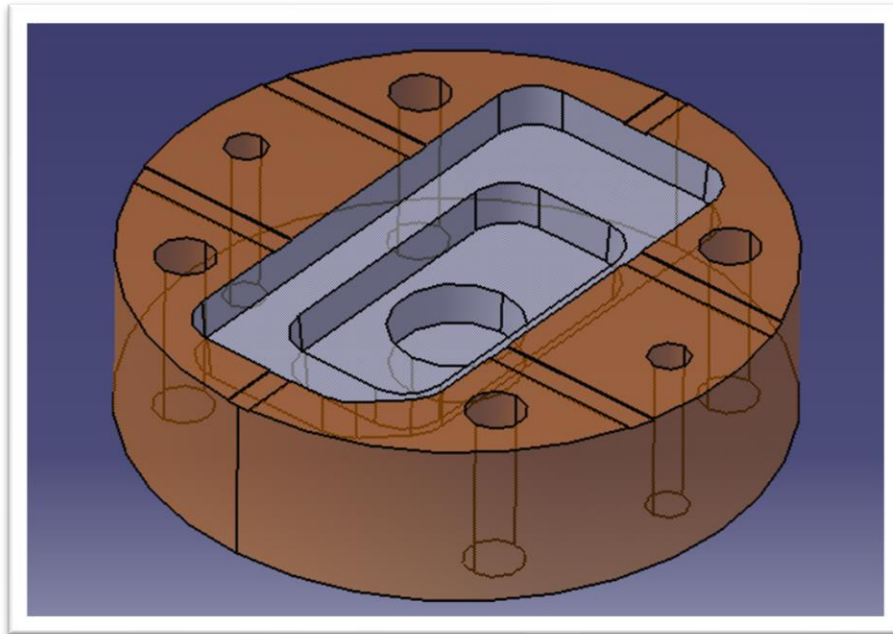
**Imagen 52: Taladros de sujeción**

Sin embargo, este molde no tiene un sistema de apertura automático controlado neumáticamente, por eso se tiene que realizar un diseño manual de apertura en el que se realizarán dos agujeros pasantes con un diámetro de 5 mm, para después realizarle un roscado a M6.



**Imagen 53: Taladros de expulsión**

Sí se da por hecho que el molde ajusta perfectamente, entonces cuando se introduzca el material fundido, se tendrá que fabricar unos aliviaderos para que pueda salir completamente todo el aire que hay en el interior. Se realizan seis aliviaderos de 0,2 mm de profundidad y 3 mm de ancho, como se muestra en la siguiente imagen.



**Imagen 54: Ranurado para expulsión de aire**

El siguiente paso se debe realizar de manera simultánea a la simulación de inyección ya que nos recomendará el punto de inyección. Este punto de inyección será un agujero de 6 mm, también se realizará un chaflán de 45° para que se apoye completamente la boquilla de la inyectora y no se produzcan fugas.

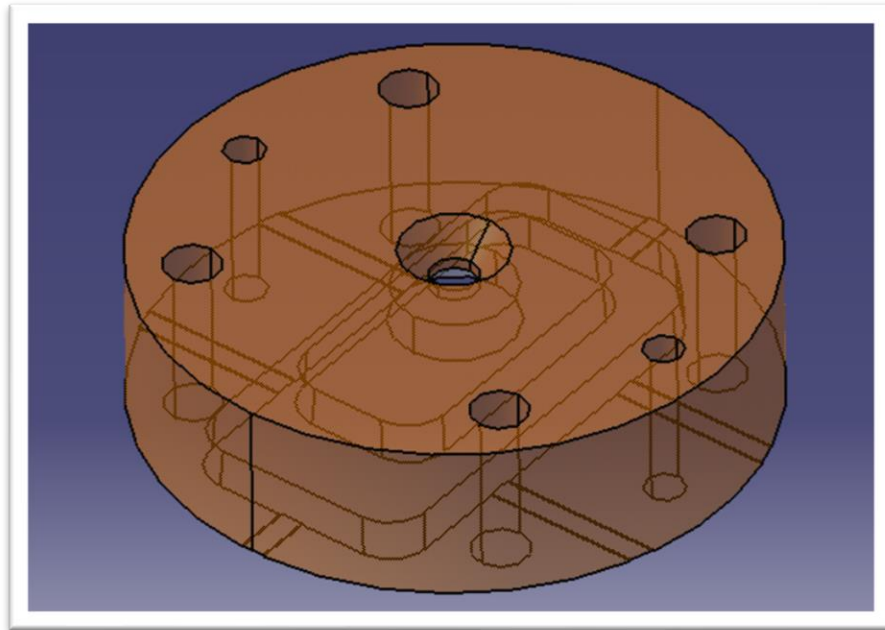


Imagen 55: Punto de inyección

Una vez completada esta operación, el diseño CAD de la cavidad ya estaría terminada. Los planos de los taladros y de los aliviaderos se adjuntan en el ANEXO I (2. CAVIDAD).

### 6.2.2. Punzón

De igual manera que se ha realizado la cavidad hay que realizar el punzón. Se añade una nueva pieza que se nombrará como punzón, quedando de la siguiente manera:



Imagen 56: Árbol de trabajo para el punzón

Sobre la nueva pieza *PUNZON* se genera un cilindro de 75 mm de diámetro y una altura de 30 mm, simulando el taco de material.

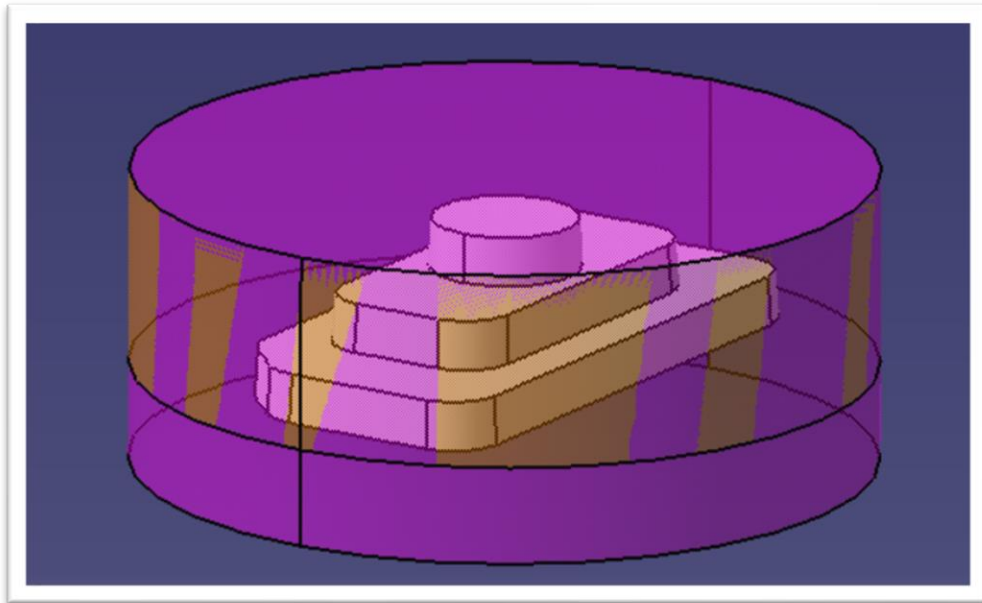


Imagen 57: Diseño del taco para el punzón

De nuevo, se utiliza la herramienta (*Remove*), el vaciado se realiza en dos pasos. Primero se resta la pieza de plástico al punzón:

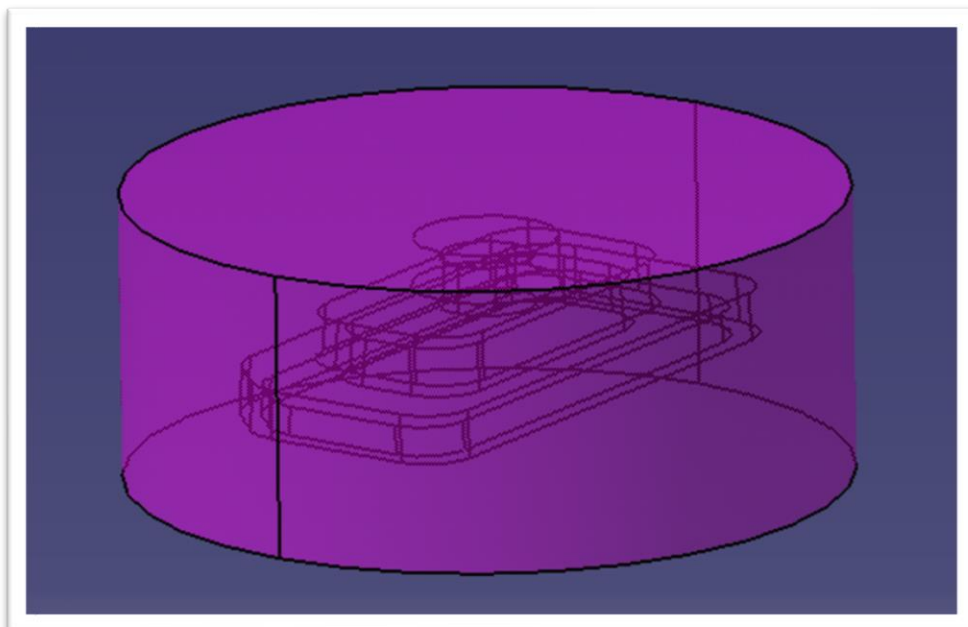
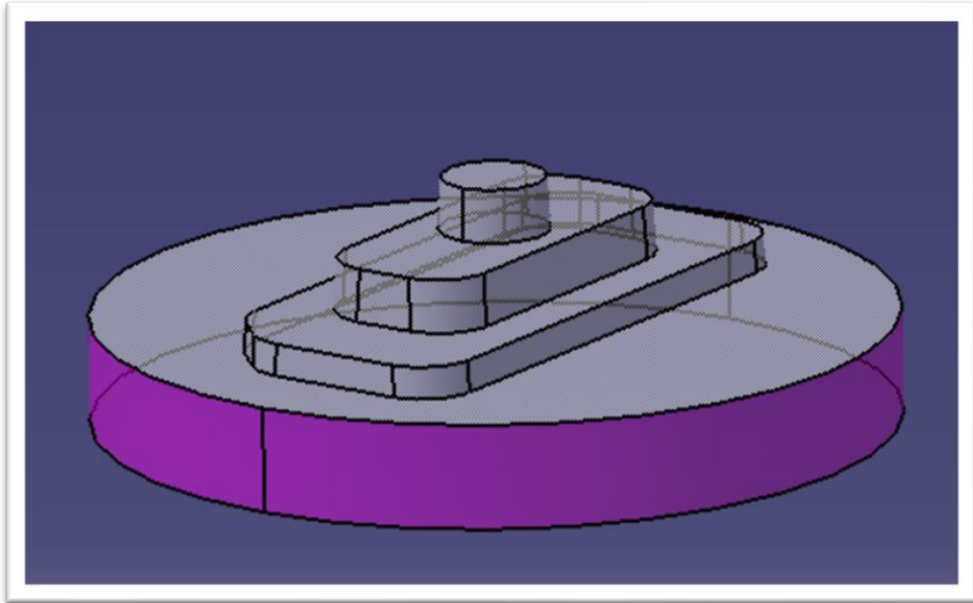


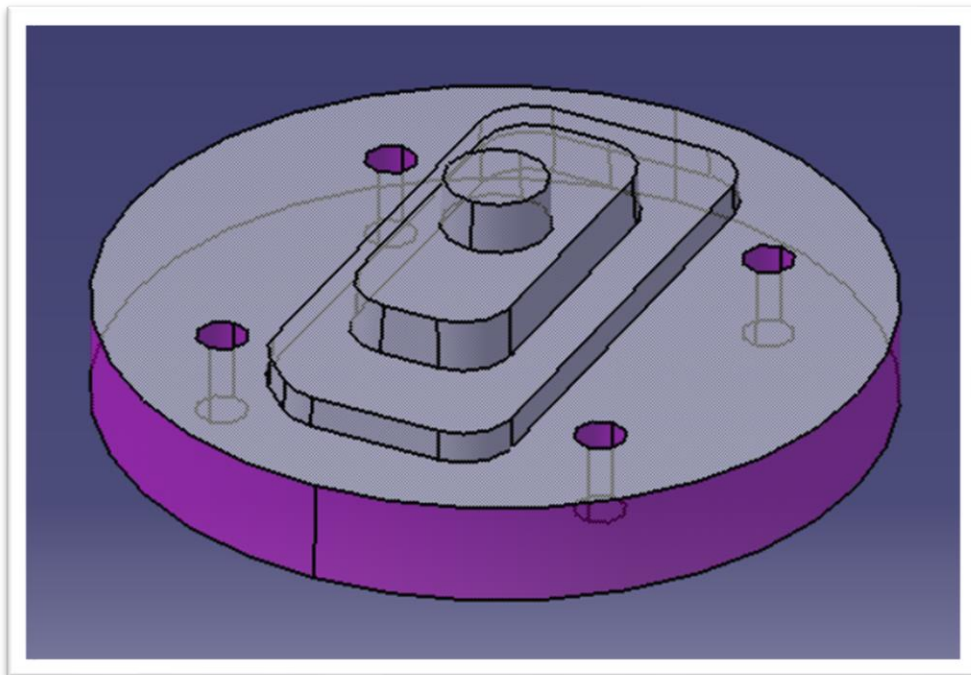
Imagen 58: Operación de vaciado pieza-punzón

Y después se resta la cavidad al punzón para obtener el siguiente resultado:



**Imagen 59: Operación de vaciado punzón-cavidad**

Del mismo modo que la cavidad hay que realizar los correspondientes agujeros de sujeción, este caso se harán cuatro agujeros de 5 mm de diámetro y estarán roscados con una M6, pero serán agujeros ciegos de 8 mm de profundidad.



**Imagen 60: Taladros de sujeción**

Para que apoye los tornillos de expulsión y así ayuden a separar el molde se le hacen dos agujeros de 2 mm de profundidad y 7 mm de diámetro.

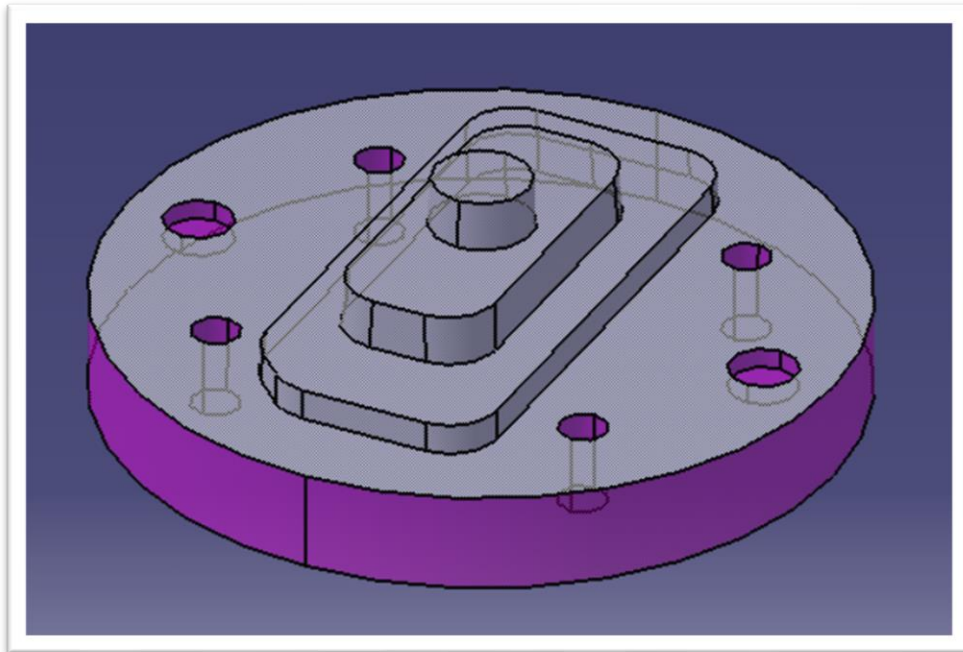
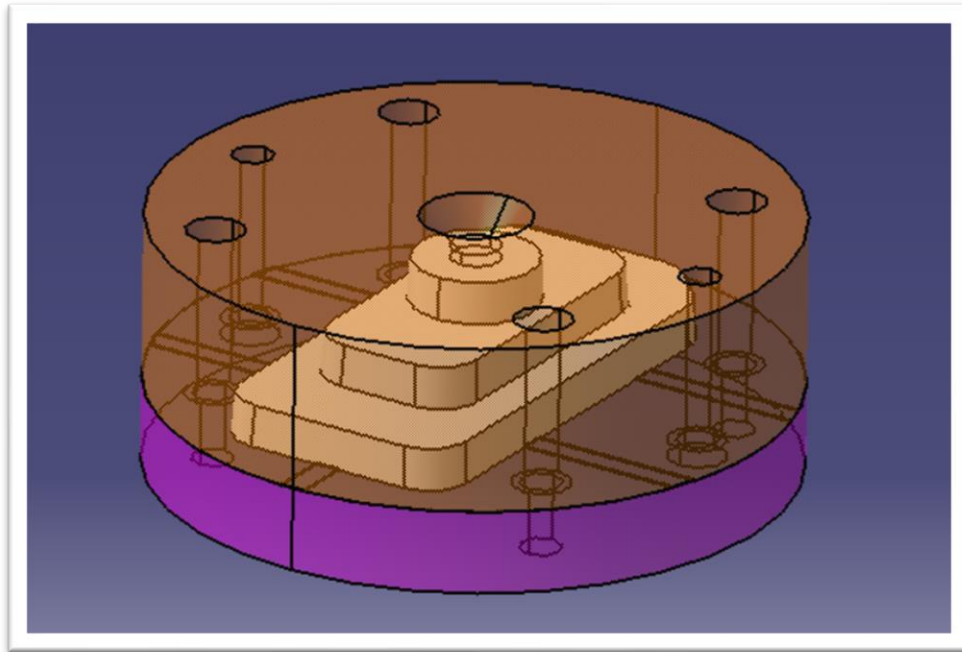


Imagen 61: Taladros de expulsión

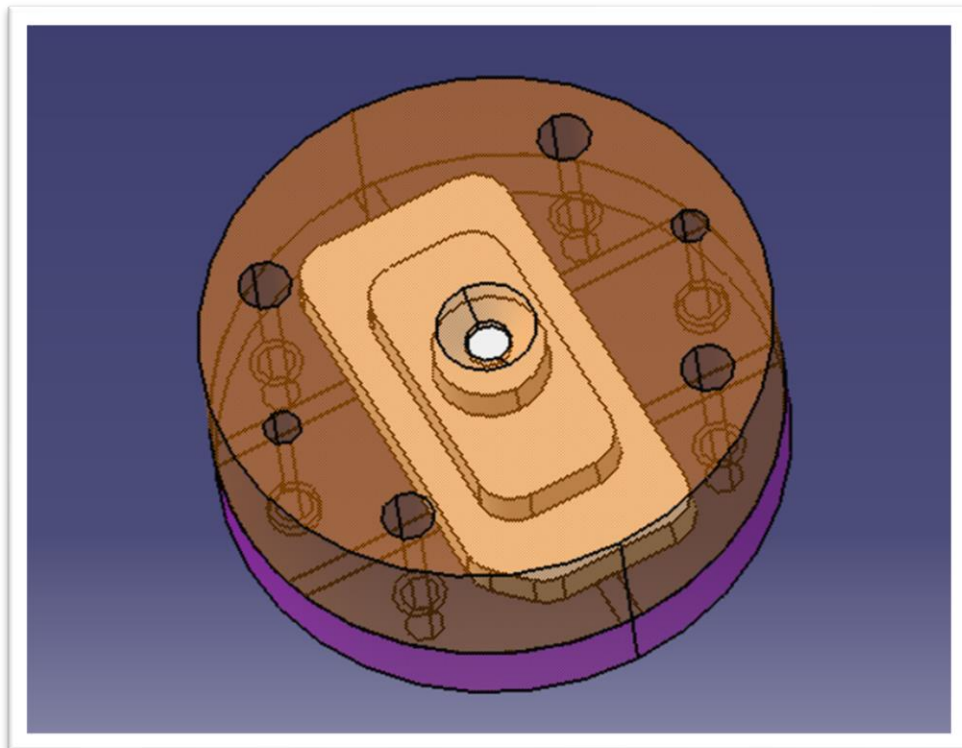
Ahora sí quedaría el diseño del punzón completamente definido. Se adjunta los planos correspondientes a los taladros realizados en el ANEXO I (3. PUNZÓN).

### 6.2.3. Molde

Se muestra el conjunto de la pieza, cavidad y punzón.



**Imagen 62: Molde completo con pieza**



**Imagen 63: Molde completo con pieza**

## 7. ESTIMACIÓN DE COSTES DE FABRICACIÓN DEL MOLDE

En este apartado se realizará un estudio del coste de fabricación del molde correspondiente a la pieza planteada gracias a la guía de diseño para moldes [5].

El coste relativo del molde  $c_u$  será una aproximación que se calculará teniendo en cuenta el coste relativo de fabricar el molde  $c_f$  y el coste relativo del material del molde  $c_m$  con la siguiente fórmula empírica.

$$c_u = 0,8 \cdot c_f + 0,2 \cdot c_m$$

### 7.1. Coste relativo de fabricación del molde

El coste relativo de fabricación del molde es resultante de la multiplicación de diferentes parámetros.

$$c_f = c_b \cdot c_s \cdot c_t$$

Sin embargo, hay que tener en cuenta diferentes factores para determinar los anteriores parámetros. Para el parámetro  $c_b$  depende del tamaño y la complejidad del molde.

- Tipo de pieza: para calcular si la forma de la pieza es plana o en forma de caja se toma la siguiente consideración con las dimensiones del volumen de la pieza:

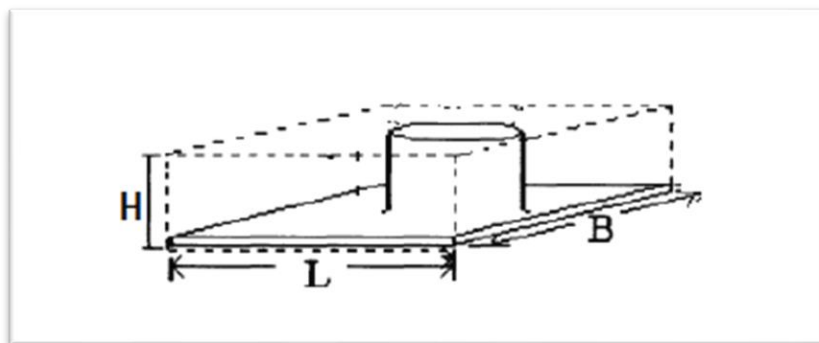


Imagen 64: Dimensiones de pieza

$$\text{Sí: } L > B > H \rightarrow \frac{L}{H} > 4 \rightarrow \text{Forma plana; de lo contrario es caja}$$

$$\text{Entonces: } 60 > 30 > 15 \rightarrow \frac{60}{15} = 4 \rightarrow \text{Forma caja}$$

- También se conoce, que la pieza que se está estudiando no tiene ninguna contrasalida externa en dirección no paralela a la de apertura y cierre del molde.
- Tampoco tiene contrasalidas internas.
- Superficie plana con altura constante.
- Pieza que se puede generar en solo una mitad del molde.

1 in = 25.4 mm; 100 mm/25.4 mm = 3.94 in

**BASIC COMPLEXITY**

SECOND DIGIT

FIRST DIGIT	L < 250 mm				250mm < L < 480mm				L > 480 mm		
	zero	one	two	More than two	zero	one	two	More than two	zero	one	More than one
0	1.00	1.23	1.38	1.52	1.42	1.65	1.79	1.94	1.83	2.07	2.33
1	1.64	1.87	2.02	2.16	2.89	3.12	3.27	3.41	4.28	4.51	4.77
2	1.86	2.09	2.24	2.38	2.99	3.22	3.37	3.51	4.42	4.66	4.92
3	1.28	1.51	1.66	1.80	1.81	2.04	2.19	2.33	2.34	2.58	2.84
4	1.92	2.15	2.29	2.44	3.38	3.61	3.76	3.90	5.01	5.24	5.50
5	2.33	2.56	2.71	2.86	2.75	2.98	3.13	3.27	3.17	3.40	3.66
6	3.19	3.4	3.57	3.72	4.44	4.68	4.82	4.97	5.83	6.07	6.33
7	2.98	3.21	3.36	3.50	3.62	3.75	3.89	4.04	4.04	4.28	4.54
8	3.73	3.97	4.11	4.26	5.20	5.43	5.58	5.72	6.82	7.06	7.32
9	4.20	4.43	4.58	4.72	4.62	4.85	4.99	5.14	5.03	5.27	5.53
10	5.37	5.61	5.75	5.89	6.62	6.86	7.00	7.14	8.01	8.24	8.51
11	5.37	5.60	5.74	5.89	5.90	6.13	6.28	6.42	6.43	6.67	6.93
12	6.28	6.52	6.66	6.81	7.74	7.98	8.12	8.27	9.37	9.60	9.86

Imagen 65: Determinación del parámetro  $c_b$

De esta tabla se obtiene el primer parámetro  $c_b$  es igual a 1,64. Ahora se puede calcular el parámetro  $c_s$  que es el parámetro de complejidad de la cavidad.

- La cavidad de la pieza dispondría de tres vaciados, uno circular y dos rectangulares.

Feature		Number of Features (n)	Penalty per Features	Penalty
Holes or Depressions	Circular		2n	
	Rectangular		4n	
	Irregular		7n	
Bosses	Solid (8)		n	
	Hollow (8)		3n	
Non-peripheral ribs and/or walls and/or rib clusters (8)			3n	
Side Shutoffs	Simple (9)		2.5n	
	Complex (9)		4.5n	
Lettering (10)			n	
			Total Penalty	

**SMALL PARTS (L < 250 mm)**

Total Penalty < 10 => Low cavity detail  
 10 < Total Penalty < 20 => Moderate cavity detail  
 20 < Total Penalty < 40 => High cavity detail  
 Total Penalty > 40 => Very high cavity detail

**MEDIUM PARTS (250 < L < 480 mm)**

Total Penalty < 15 => Low cavity detail  
 15 < Total Penalty < 30 => Moderate cavity detail  
 30 < Total Penalty < 60 => High cavity detail  
 Total Penalty > 60 => Very high cavity detail

**LARGE PARTS (L > 480 mm)**

Total Penalty < 20 => Low cavity detail  
 20 < Total Penalty < 40 => Moderate cavity detail  
 40 < Total Penalty < 80 => High cavity detail  
 Total Penalty > 80 => Very high cavity detail

1 in = 25.4 mm; 100 mm/25.4mm = 3.94 in

Imagen 66: Determinación de las penalizaciones de un molde

La penalización sería:

$$2 \cdot n + 4 \cdot n \rightarrow 2 \cdot 1 + 4 \cdot 2 = 10 \rightarrow \text{Cavidad de bajo detalle}$$

- El detalle de la figura sería bajo según el resultado obtenido y se obtiene el valor unitario para el parámetro  $c_s$ .

		<i>Fourth Digit</i>		
			Without Extensive (7) External Undercuts (5)	With Extensive (7) External Undercuts (5)
			0	1
<i>Third Digit</i>	Cavity Detail (6)	Low	0	1.00
		Moderate	1	1.25
		High	2	1.60
		Very High	3	2.05

Imagen 67: Determinación del parámetro  $c_s$

Por último, sabiendo que la pieza a obtener se desea que tenga un acabado y tolerancia de nivel medio por lo que para el cálculo del parámetro  $c_t$  se determinará de la siguiente tabla:

		<i>Sixth Digit</i>			
				Commercial Tolerance, $T_a$	Tight Tolerance, $T_a$
				0	1
<i>Fifth Digit</i>	Surface Finish, $R_a$	SPI 5-6	0	—	—
		SPI 3-4	1	1.00	1.05
		Texture	2	1.05	1.10
		SPI 1-2	3	1.10	1.15

SPI 1 Superficies ópticas  
 SPI 2 Superficies casi ópticas  
 SPI 3 Acabado fino  
 SPI 4 Acabado medio  
 SPI 5 Acabado basto-medio  
 SPI 6 Acabado basto

Imagen 68: Determinación del parámetro  $c_t$

Como resultado el valor del parámetro  $c_t$  es unitario, ya se puede calcular el coste relativo de fabricación del molde:

$$c_f = c_b \cdot c_s \cdot c_t \rightarrow c_f = 1,64 \cdot 1 \cdot 1 \rightarrow c_f = 1,64$$

Este coste significa que la fabricación del molde con el planteamiento del diseño de la pieza es un 64% más cara y difícil de fabricar respecto a un molde sencillo que se ha tenido como referencia en todo momento y por ello se han utilizado tablas y ecuaciones en base a la experiencia.

## 7.2. Coste relativo del material del molde

Este apartado trata de determinar cuánto material será necesario para fabricar el molde.

En base a las recomendaciones para el diseño de un molde, se calcularán diferentes parámetros [5]:

- El primero parámetro a estudiar será el ancho del molde  $M_{wf}$ , para ello se tomará  $L_m$  como la longitud más grande de la pieza.

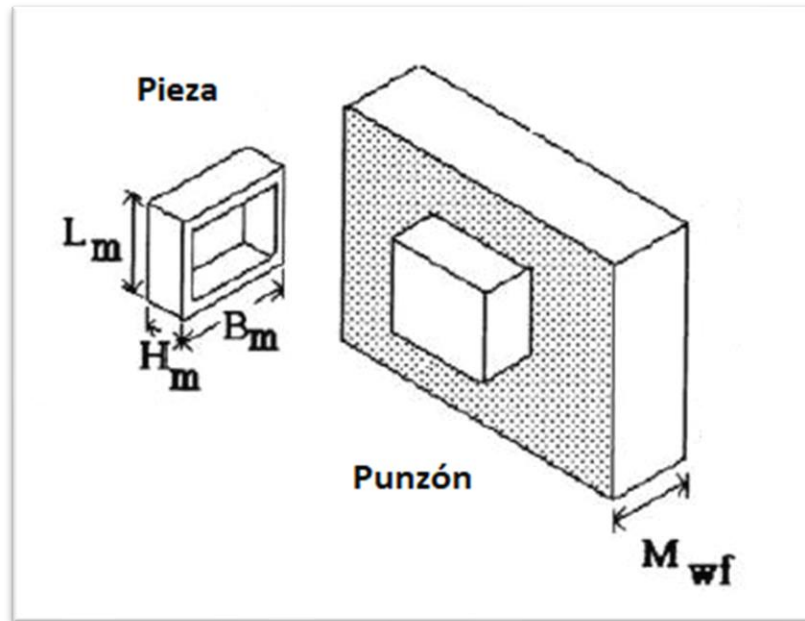


Imagen 69: Dimensión mínima recomendada  $M_{wf}$

Este valor se calcula con la siguiente fórmula empírica:

$$M_{wf} = 0,04 \cdot L_m^{\frac{4}{3}} = 0,04 \cdot 60^{\frac{4}{3}} \quad \rightarrow \quad M_{wf} = 9,40 \text{ mm}$$

En este caso, no estaba definido el ancho del molde, pero había una restricción y era la anchura total del molde que es igual a la suma de dos veces el valor recomendado más el ancho de la pieza.

$$M_t = 2 \cdot M_{wf} + H_m = 2 \cdot 9,40 + 15 \quad \rightarrow \quad M_{wf} = 33,8 \text{ mm}$$

El taco disponible en el taller tiene cierto desnivel por lo que se necesita realizar una operación de mecanizado para que ambas caras estén paralelas entre sí, y aunque el valor recomendado de ancho del molde sea de 33,8 mm, se fabricará con un ancho total de 30 mm y por lo tanto ser un valor estándar.

- El segundo parámetro será la distancia mínima que debe existir entre la pared de la figura y la pared del molde.

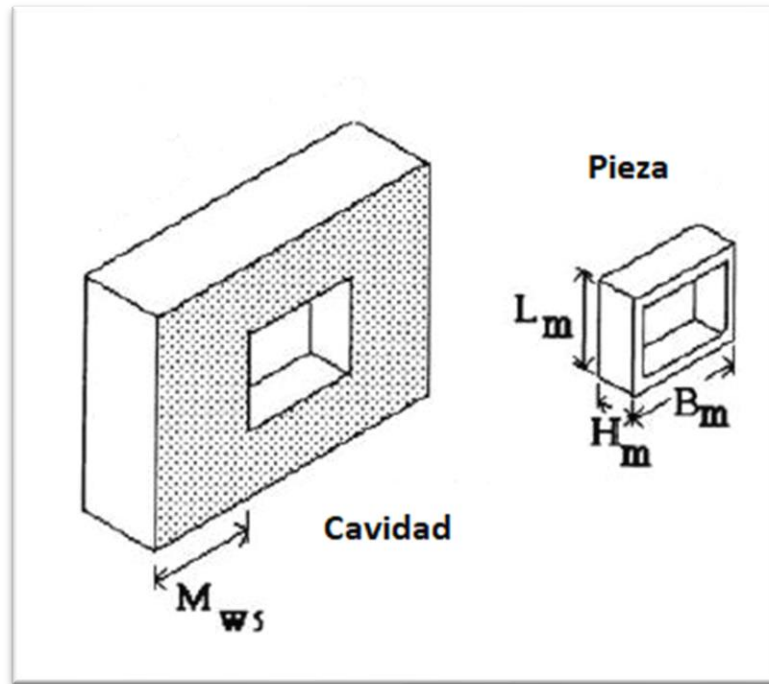


Imagen 70: Dimensión mínima recomendada  $M_{ws}$

Esta distancia se calcula con la siguiente formula empírica:

$$M_{ws} = (0,006 \cdot C \cdot H_m^4)^{\frac{1}{3}}$$

El parámetro C se obtiene del siguiente gráfico:

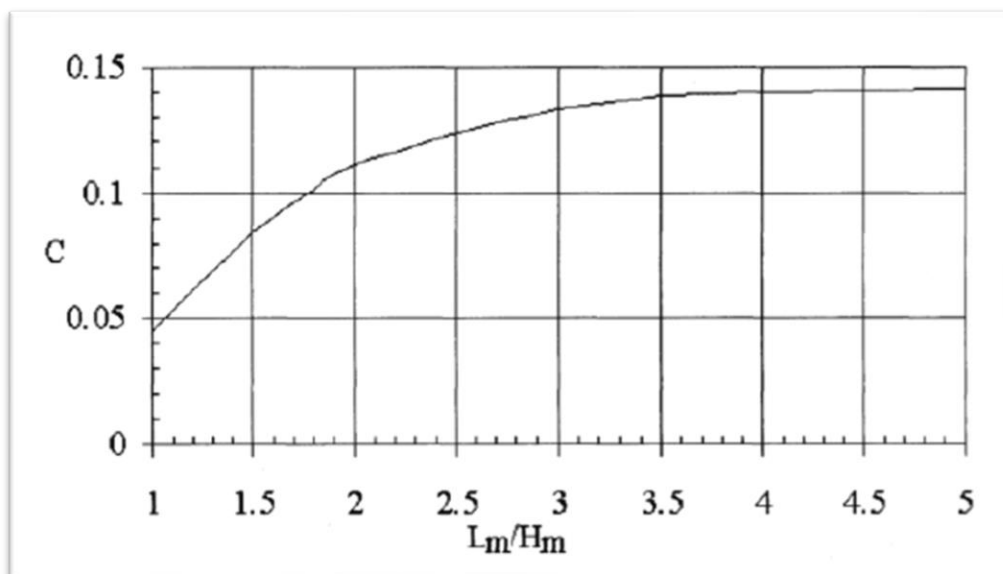


Imagen 71: Gráfico para la obtención del parámetro C

Para poder entrar en la gráfica se necesita hacer la siguiente operación:

$$\frac{L_m}{H_m} = \frac{60}{15} = 4 \quad \rightarrow \quad C \approx 0,14$$

Volviendo a la fórmula anterior, se obtiene la distancia mínima que debe haber entre ambas paredes.

$$M_{ws} = (0,006 \cdot 0,14 \cdot 15^4)^{\frac{1}{3}} \quad \rightarrow \quad M_{ws} = 3,49 \text{ mm}$$

- El tercer parámetro que se calculará será el ancho total del molde con la siguiente fórmula.

$$M_t = 2 \cdot M_{wf} + H_m = 2 \cdot 30 + 15 \quad \rightarrow \quad M_t = 75 \text{ mm}$$

- El cuarto parámetro que se tendrá que comprobar es la altura H que debe adquirir el molde.

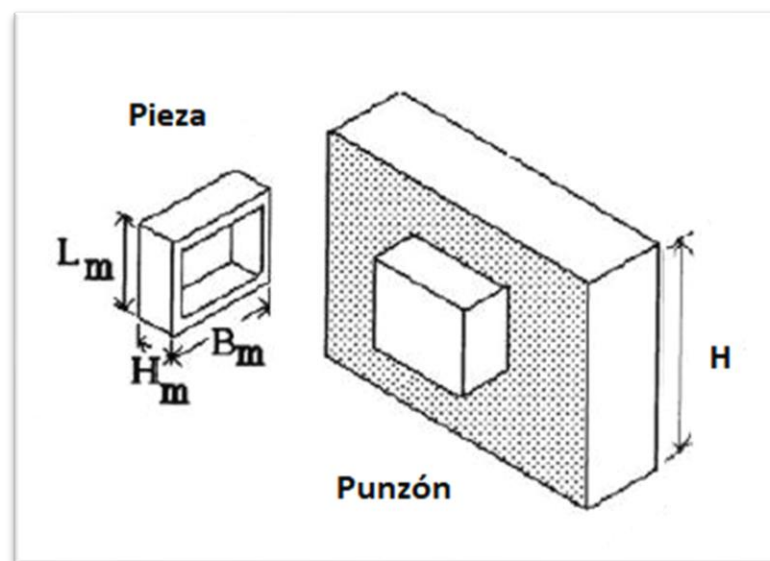


Imagen 72: Dimensión mínima recomendada H

Al disponer de un material cilíndrico como molde, solo se comprobará la dimensión más restrictiva que es el largo de la pieza. Siendo la altura necesaria la siguiente:

$$H = L_m + 2 \cdot M_{ws} = 60 + 2 \cdot 3,49 \quad \rightarrow \quad H = 66,98 \text{ mm}$$

Con este parámetro queda comprobado que las dimensiones cumplen perfectamente, la altura mínima necesaria es menor de 75 mm que es el diámetro de molde predefinido.

- Una vez determinados los anteriores parámetros ya se puede calcular el coste relativo del material del molde con la siguiente formula.

$$M_a = (2 \cdot M_{ws} + L_m) \cdot (2 \cdot M_{ws} + B_m) = (2 \cdot 3,49 + 60) \cdot (2 \cdot 3,49 + 30)$$

$$M_a = 2476,92$$

Ya se puede entrar en la siguiente gráfica y obtener el valor de  $C_m$ .

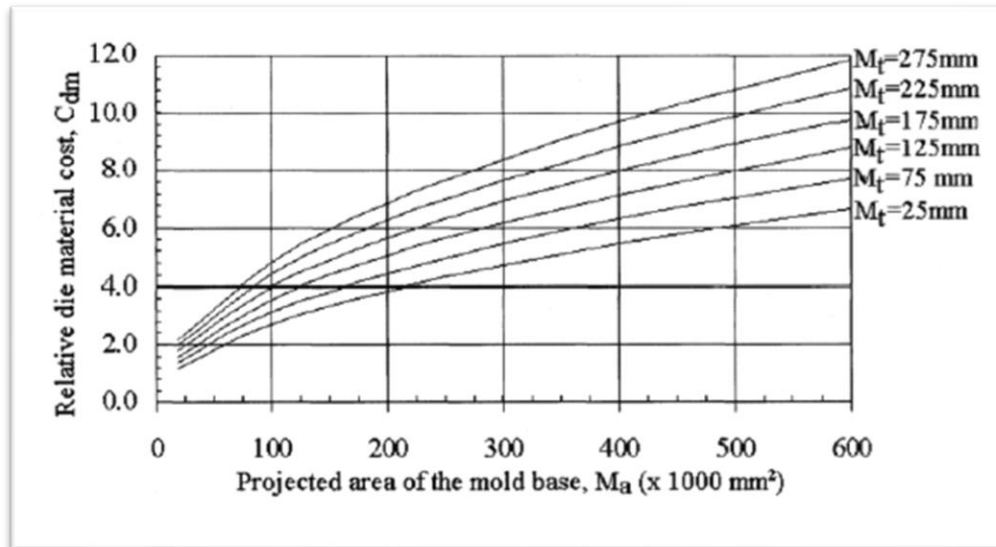


Imagen 73: Determinación del coste relativo del material

Como resultante el coste relativo del molde es de 1,2 lo que supone un 20% más caro que un molde básico de referencia.

Volviendo al principio del apartado, ya se puede calcular el coste relativo del molde.

$$c_u = 0,8 \cdot c_f + 0,2 \cdot c_m \rightarrow c_u = 0,8 \cdot 1,64 + 0,2 \cdot 1,2 \rightarrow c_u = 1,55$$

Esto significa que es un 55% más costoso de fabricar respecto al molde básico genérico de referencia.

## 8. DISEÑO DEL PROCESO DE MECANIZADO

Una vez que todo está correcto, ya se puede generar el estudio para el mecanizado correspondiente a la cavidad y el punzón.

Sin embargo, gracias al potente software que es Catia es posible generar y simular el mecanizado del molde, siempre y cuando se introduzcan los parámetros correctos. Se abrirá el módulo de mecanizado *Machining*, y se seleccionará *Advanced Machining*.

### 8.1. Ajuste de parámetros

Tanto para la cavidad como el punzón los parámetros serán idénticos. Se abrirá la lista de procesos, y la pestaña *Part Operation* para añadir los siguientes parámetros numerados.

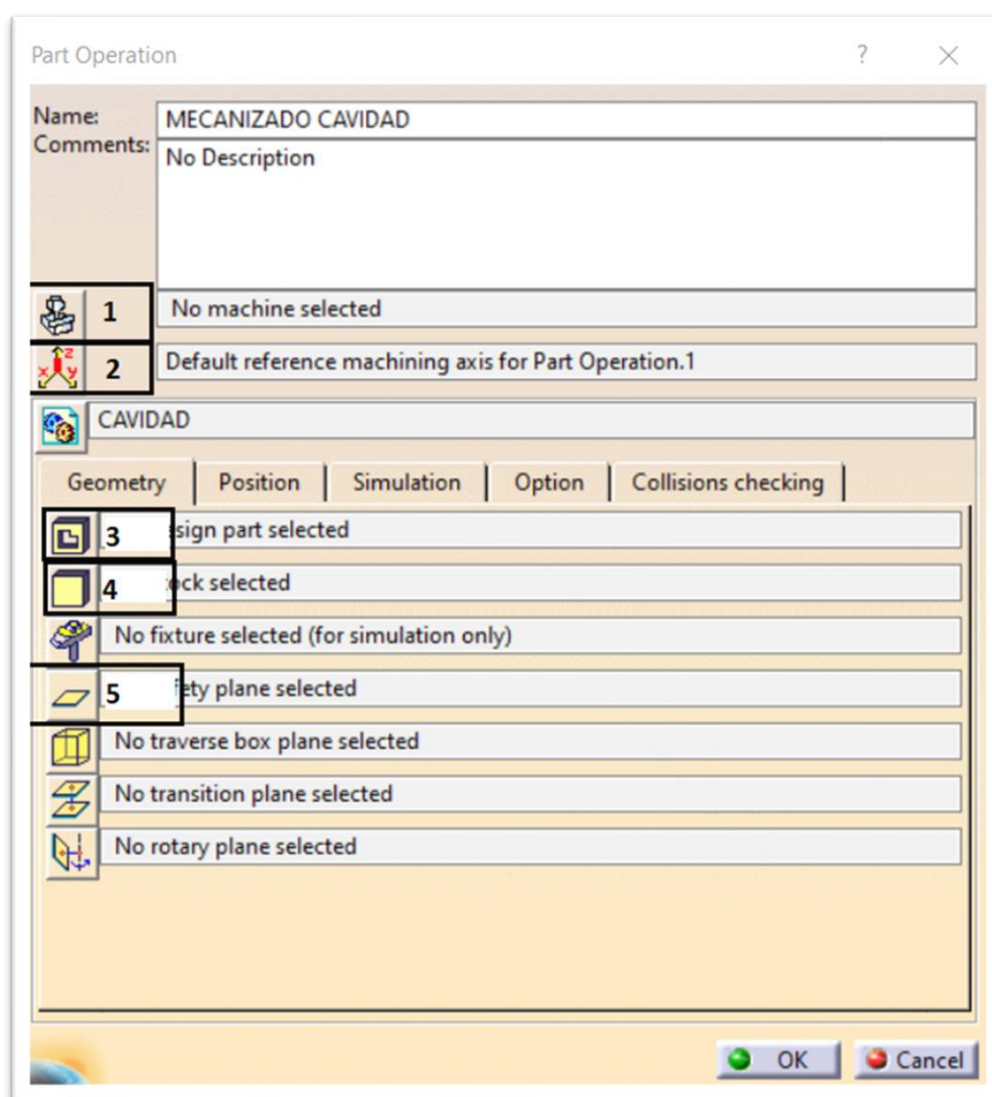


Imagen 74: Parámetros a modificar

#### 1. Máquina

En este caso, se selecciona la máquina de cinco ejes. Dentro de la pestaña de control numérico se seleccionará los posts procesadores y el tipo de código con los que trabaja el centro de mecanizado disponible en el taller.

- *Post Processor: Fagor 8055*
- *Post processor words table: ICAM\_INCH*
- *NC data type: ISO*

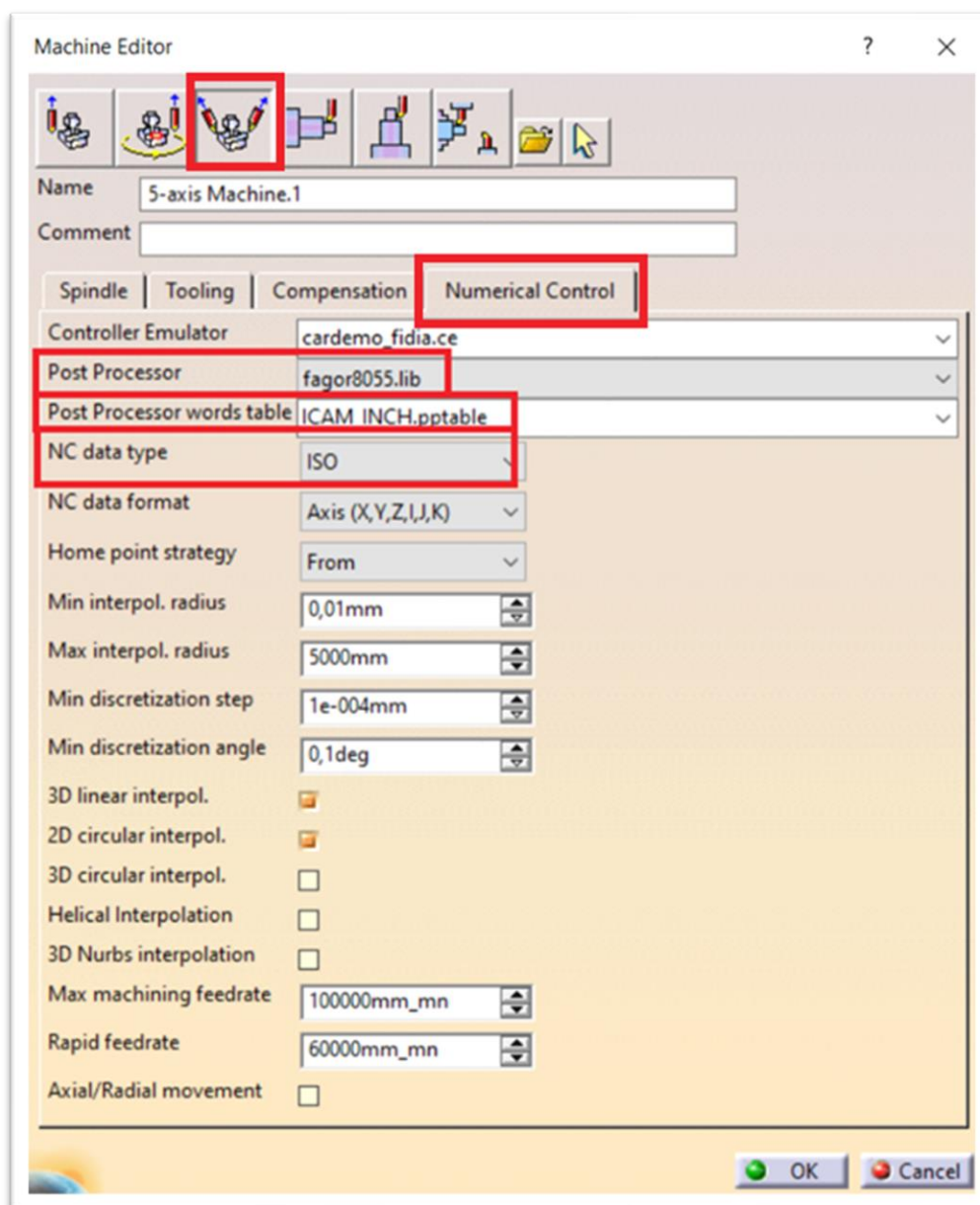


Imagen 75: Parámetros máquina

Con esta selección ya estaría elegida la máquina con la que se va a trabajar.

2. Sistema de referencia
3. Cavidad o Punzón
4. Taco inicial
5. Plano de referencia

Quedando de la siguiente manera:

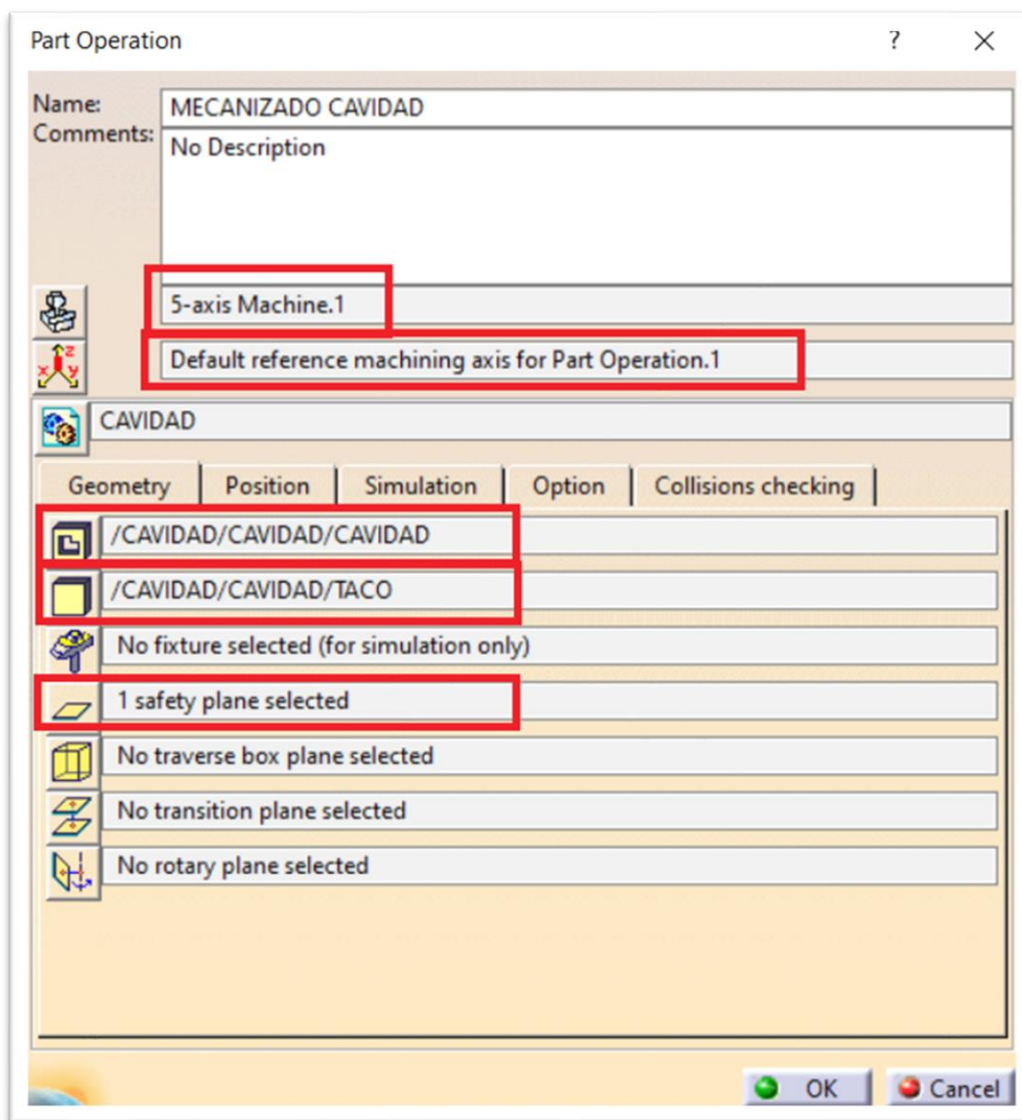


Imagen 76: Parámetros modificados

## 8.2. Cavidad

Una vez configurado, es cuestión de ir definiendo los parámetros del siguiente árbol de trabajo.

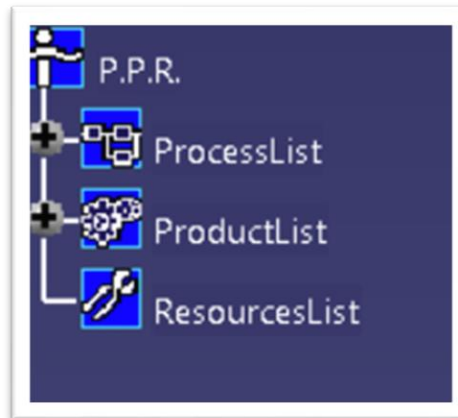
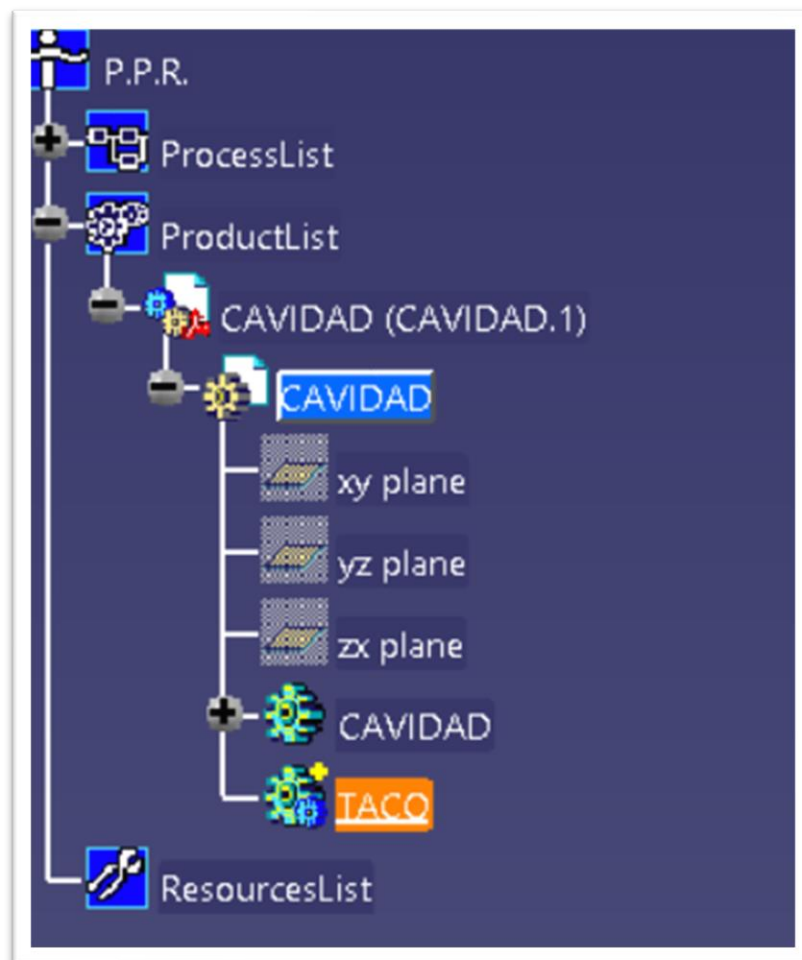


Imagen 77: Árbol de trabajo cavidad

De manera simultánea a la configuración de los parámetros hay que introducir el taco inicial con el que se trabajará, que será de 75 mm de diámetro y de 22 mm de altura. Para ello dentro de la lista de productos, y dentro de donde aparece *CAVIDAD*, se añade un nuevo cuerpo, que se llamará *TACO*, en el que se diseña.

Imagen 78: Nuevo cuerpo añadido: *TACO CAVIDAD*

Por otro lado, será necesario crear un sistema de coordenadas en el centro del cilindro a 2 mm por encima de la superficie del taco, este sistema es el que servirá posteriormente para centrar la pieza en el centro de mecanizado. También se genera un plano paralelo a la cara superior del taco a esa misma cota, que servirá como plano de referencia.

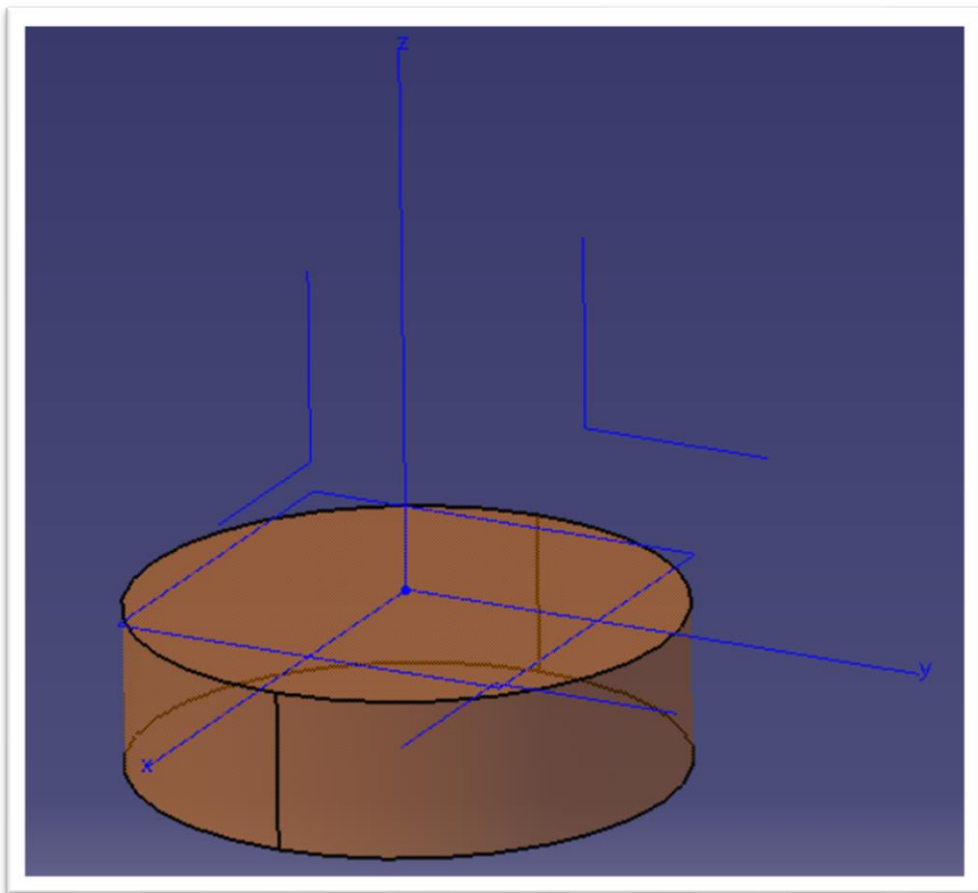


Imagen 79: Plano de referencia y ejes de coordenadas para taco de cavidad

En la lista de procesos y dentro del *part operation* llamado *MECANIZADO CAVIDAD* es donde se irán añadiendo diferentes operaciones de mecanizado que se irán llamando de la siguiente manera.

#### 8.2.1. Operación de planeado

Habrà que apoyarse sobre la herramienta (*Facing*). Y ajustar diferentes parámetros.

- Estrategia de mecanizado, donde se indicará que la herramienta se moverá helicoidalmente hacia el interior. También se pondrá que la máxima profundidad de pasada será de 1 mm, y de esta manera hacer dos pasadas.

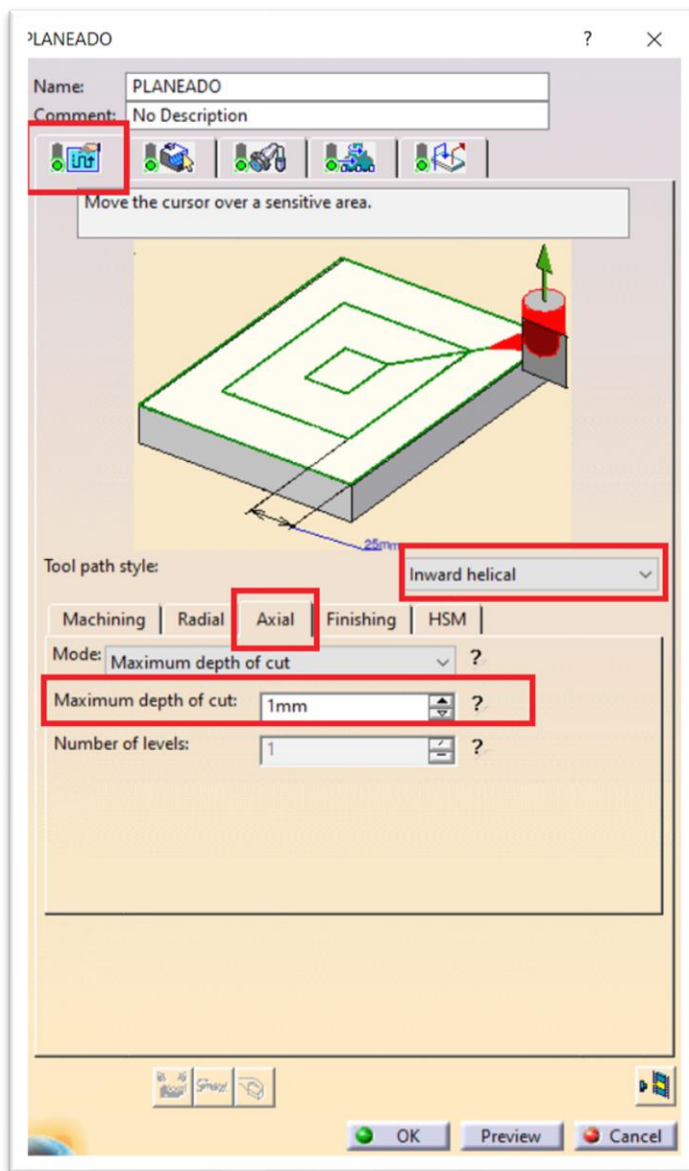


Imagen 80: Parámetros de estrategia de mecanizado para planeado

- Se añade la superficie a realizar el mecanizado, hasta que aparece en verde, y como es una operación de acabado el offset será de 0 mm.

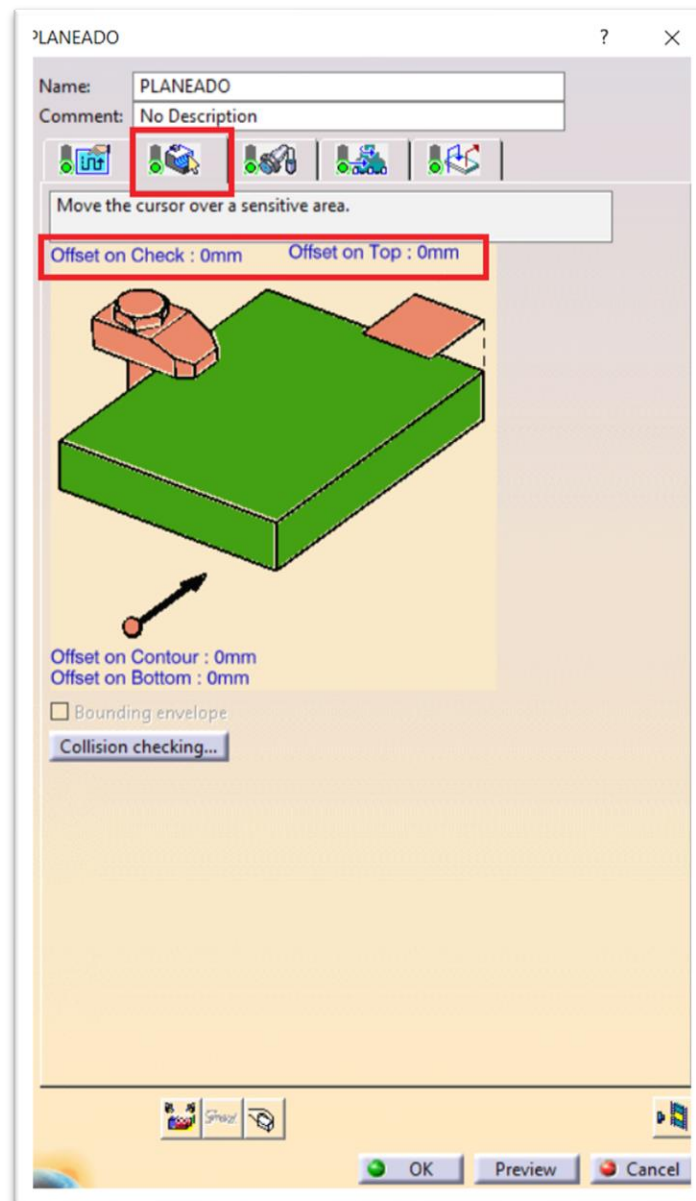


Imagen 81: Selección de superficie y offset para planeado

- Se selecciona la herramienta, en este caso al ser un planeado será un plato de 50 mm de diámetro.

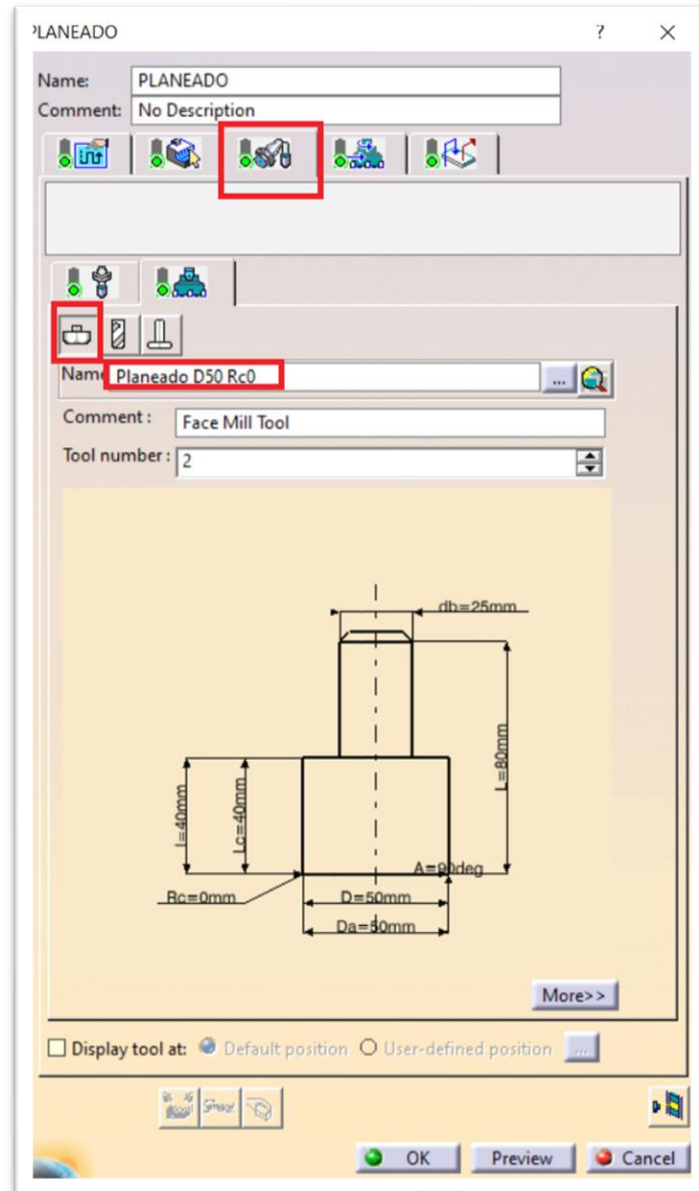


Imagen 82: Selección de herramienta para planeado

### 8.2.2. Operación de perfilado (Desbaste)

Se hará uso de la herramienta (*Roughing*), pero se le ajustan diferentes parámetros para un primer programa de desbaste.

- Estrategia de mecanizado, con esta herramienta solo será necesario elegir la máxima profundidad de pasada que será de 0,5 mm.

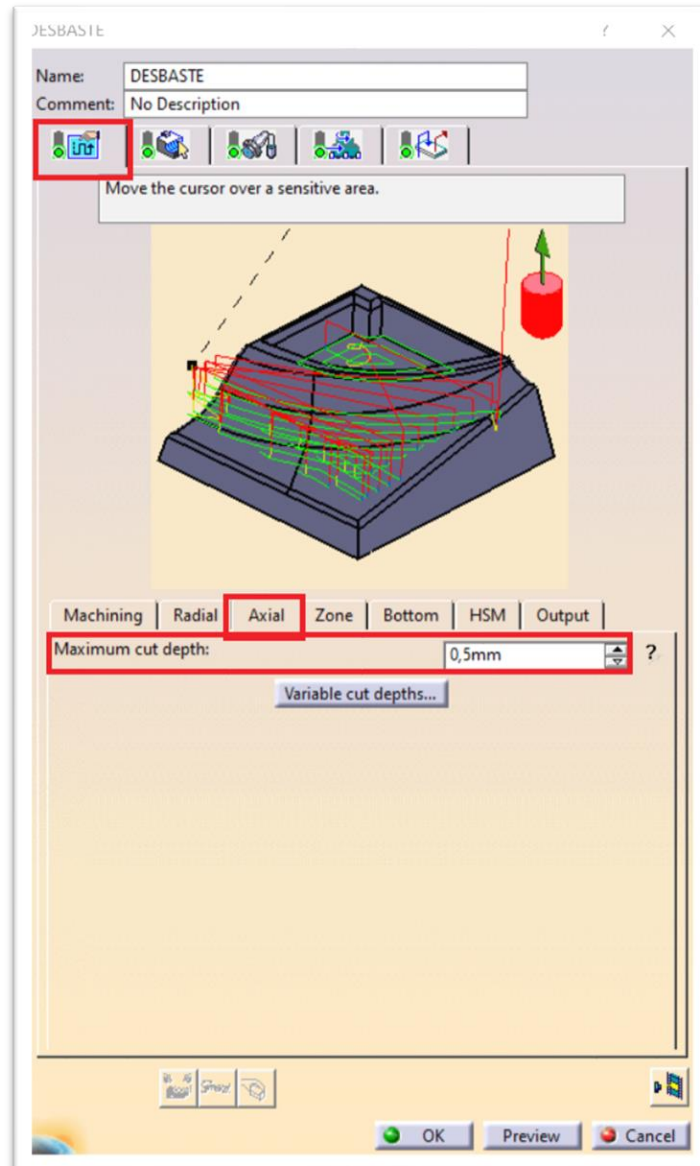
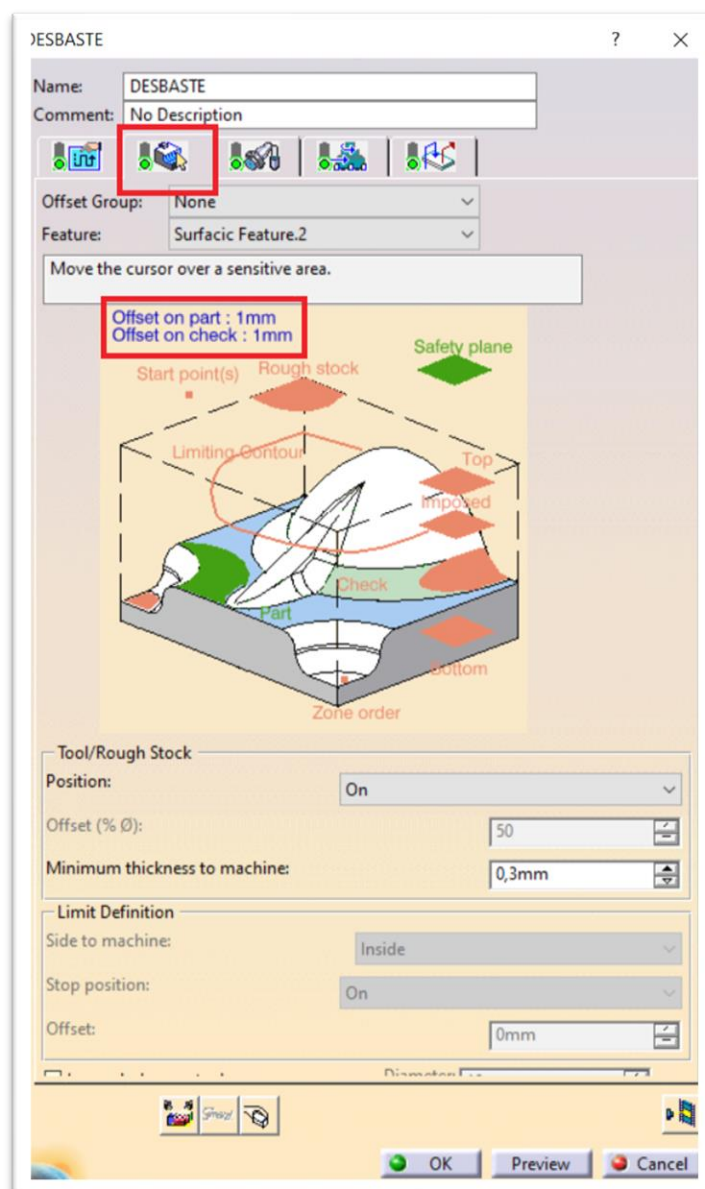


Imagen 83: Estrategia de mecanizado para un perfilado de desbaste

- Se añade el perfil a realizar el mecanizado, hasta que aparece en verde, y como es una operación de desbaste se deja un offset de 1 mm tanto en las paredes como en el suelo.



**Imagen 84: Selección de superficie y offset para perfilado**

- De igual modo que en el planeado se elige la herramienta, en este caso al ser un perfilado de desbaste será una fresa enteriza de 12 mm de diámetro.
- Por último, la configuración para empezar a mecanizar se realizará en forma de rampa de 15°. Con una distancia de seguridad de 10 mm y una distancia de mecanizado de 3 mm.

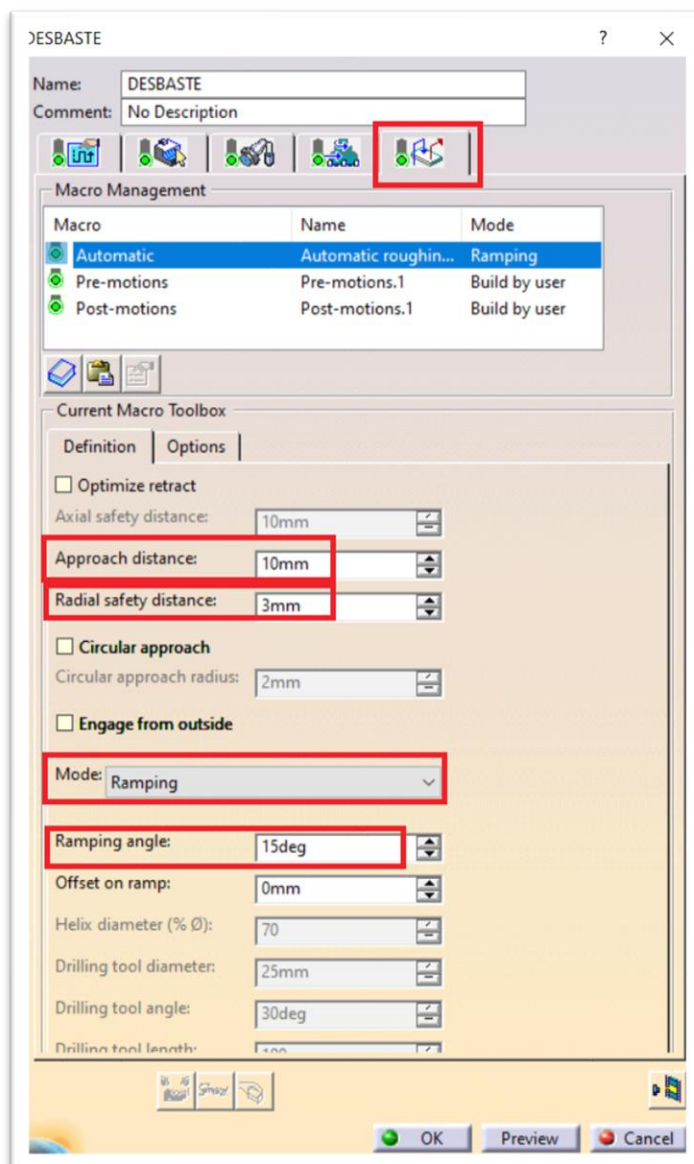


Imagen 85: Configuración de parámetros de movimiento de la herramienta

### 8.2.3. Operación de perfilado (Acabado)

Ahora se hace un segundo programa de acabado, idéntico al de desbaste solo que hay que modificar tres parámetros.

- Dentro de la estrategia de mecanizado, tal y como se ha realizado en la operación de desbaste, se le dará una distancia máxima de pasada de 0,1 mm porque es una operación de acabado.
- La selección del perfil se realizará como la operación de desbaste solo que se configurará con un offset de 0 mm y obtener el negativo de la figura con sus dimensiones deseadas.

- Dentro de la biblioteca de herramientas se selecciona una herramienta una enteriza de 6 mm de diámetro.

#### **8.2.4. Operación de taladrado (Sujeción)**

Para esta operación será necesario utilizar la herramienta (*Drilling*).

- En primer lugar, dentro de la estrategia de mecanizado se ajusta la distancia mínima de 3 mm donde se situará la broca antes del taladrado, y la distancia offset de 3 mm, para que el taladro pasante se haga por completo.

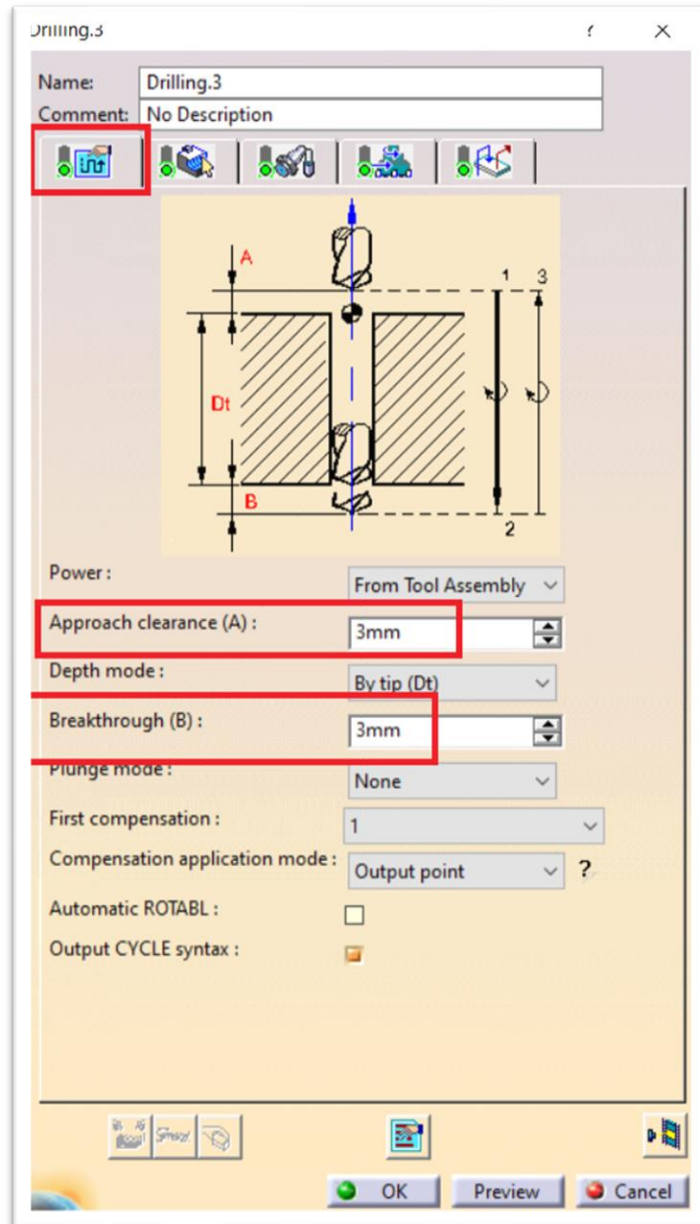


Imagen 86: Estrategia de taladros de sujeción

- Se introducen los cuatro agujeros que se desean taladrar y sus medidas correspondientes.

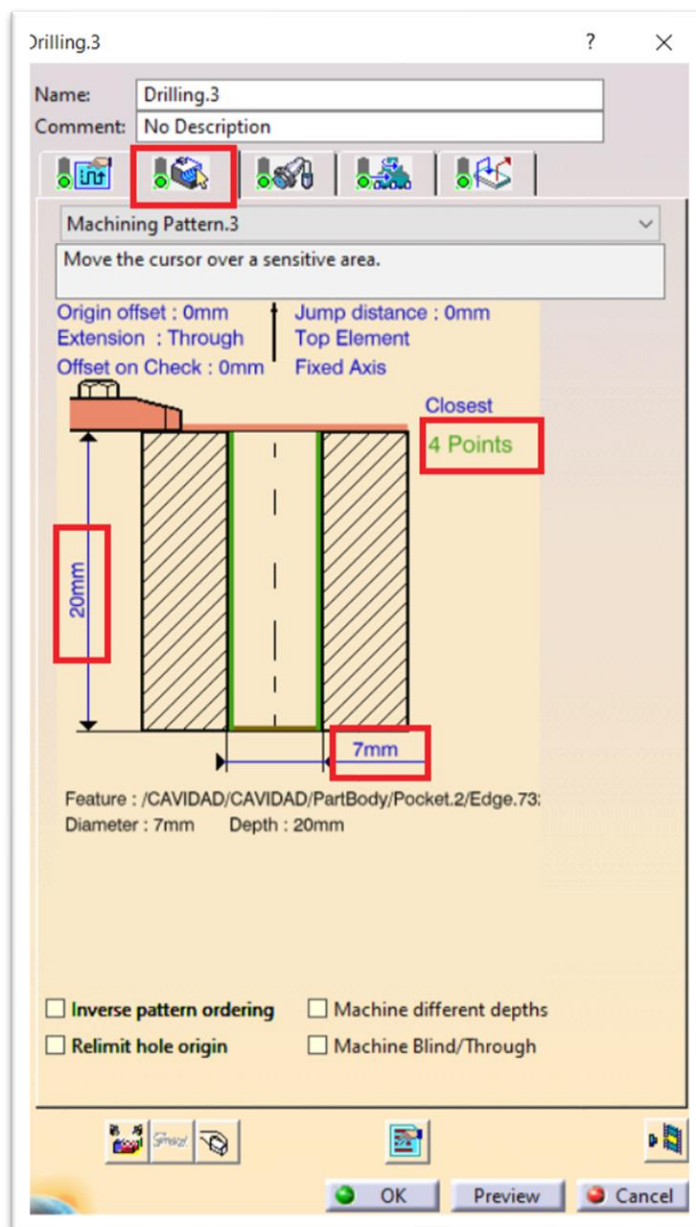


Imagen 87: Selección de agujeros de sujeción y sus dimensiones

- De la misma manera que las operaciones anteriores se selecciona una broca de 7 mm.

### 8.2.5. Operación de taladrado (Expulsión)

Esta operación es idéntica a la operación de taladrado (sujeción) pero se cambiarán dos parámetros.

- En la selección y medidas de los taladros, solo se seleccionará los dos agujeros correspondientes, y el diámetro será de 5 mm, pero la profundidad se mantiene igual.

- Por lo que la herramienta que se utiliza es una broca de 5 mm de diámetro.

### 8.2.6. Operación de taladrado (Inyección)

Por último, se hará el taladro por donde se producirá la inyección del plástico al interior del molde. Sin embargo, se mantiene todos los parámetros a la operación de taladrado (sujeción), excepto dos:

- Se selecciona el agujero y las medidas correspondientes de profundidad y diámetro.

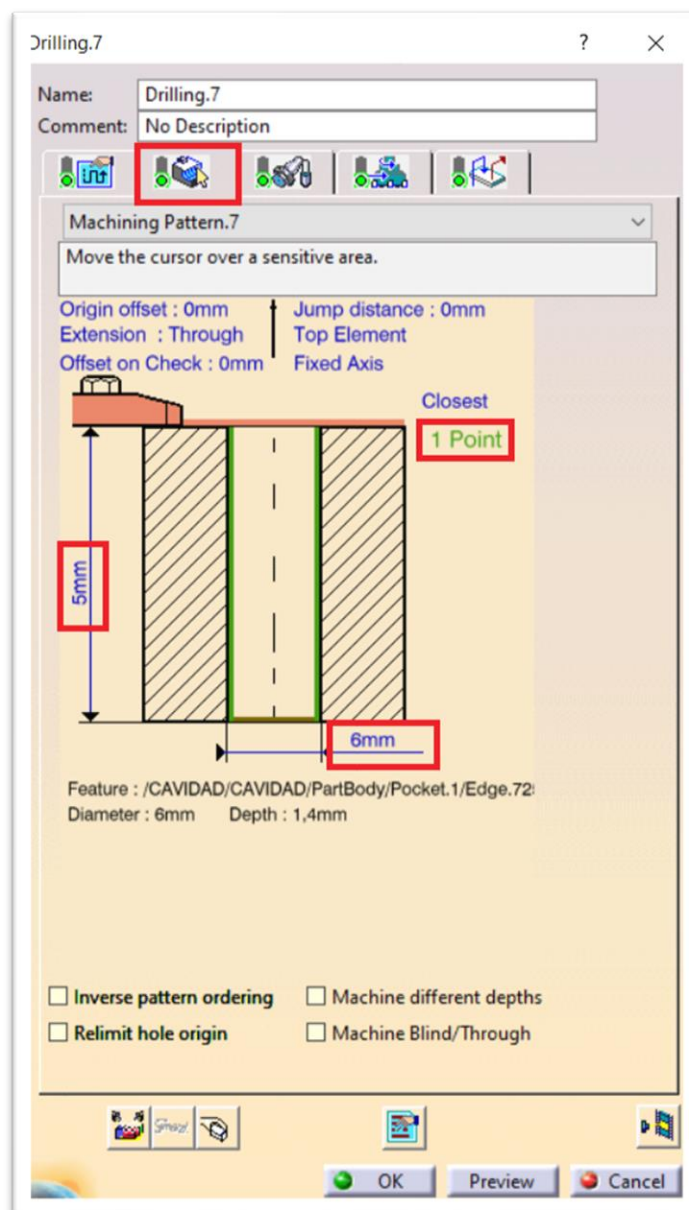


Imagen 88: Selección del taladro de inyección y sus medidas correspondientes

- Ya que el agujero será de 6 mm, se selecciona una herramienta del mismo diámetro como en las operaciones anteriores.

### 8.2.7. Operación de ranurado

Se mecanizará un ranurado de 3 mm de ancho y 0,2 mm de profundidad para eliminar el aire dentro del molde. Se utilizará la herramienta (*Profile Contouring*).

- Para ello se selecciona las ranuras a realizar. Con una distancia de 1,5 mm de offset para que la ranura se realice completamente.

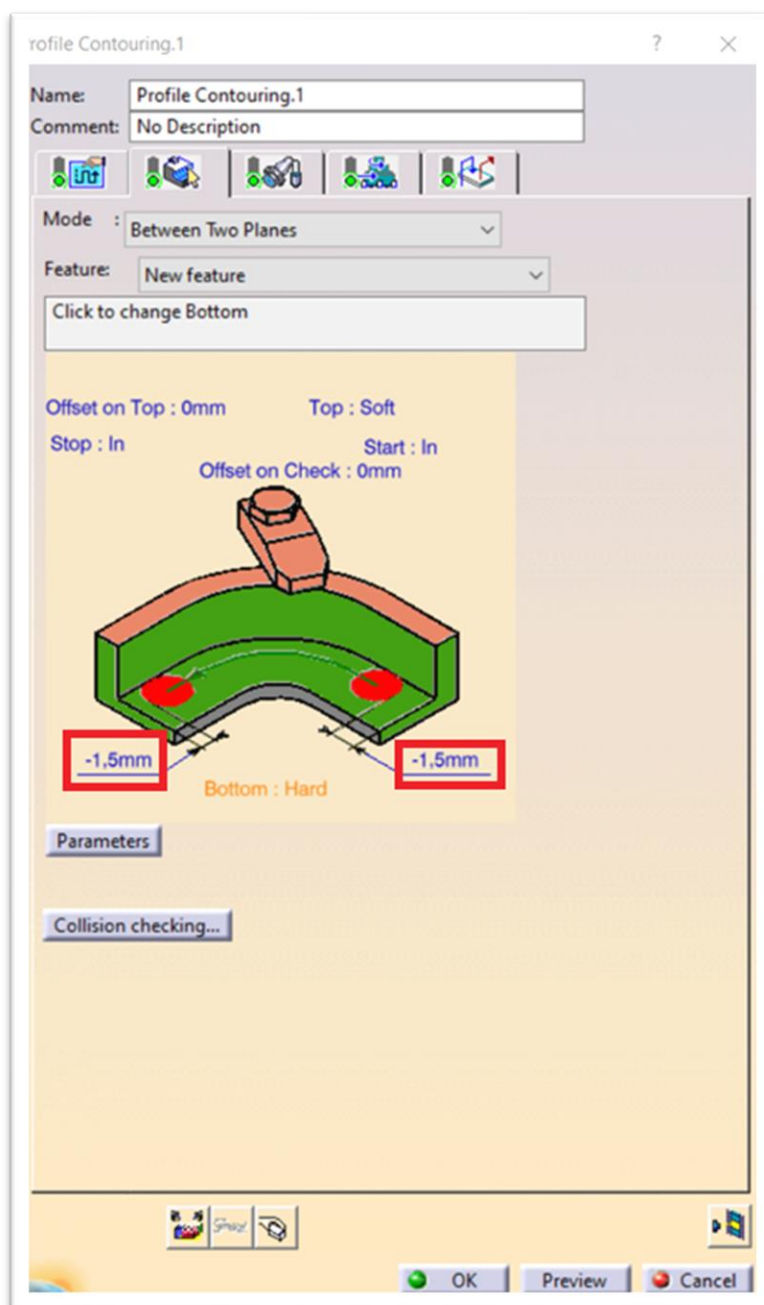


Imagen 89: Selección de las ranuras y offset correspondientes

- Se selecciona la herramienta enteriza de 3 mm de diámetro, como ya se ha realizado anteriormente.

### 8.3. Punzón

De igual manera que la cavidad hay que introducir el taco inicial con el que se trabajará, que será de 75 mm de diámetro y de 25 mm de altura. Para ello dentro de la lista de productos, y dentro de donde aparece *PUNZÓN*, se añade un nuevo cuerpo, que se llamará *TACO*, en el que se diseña.

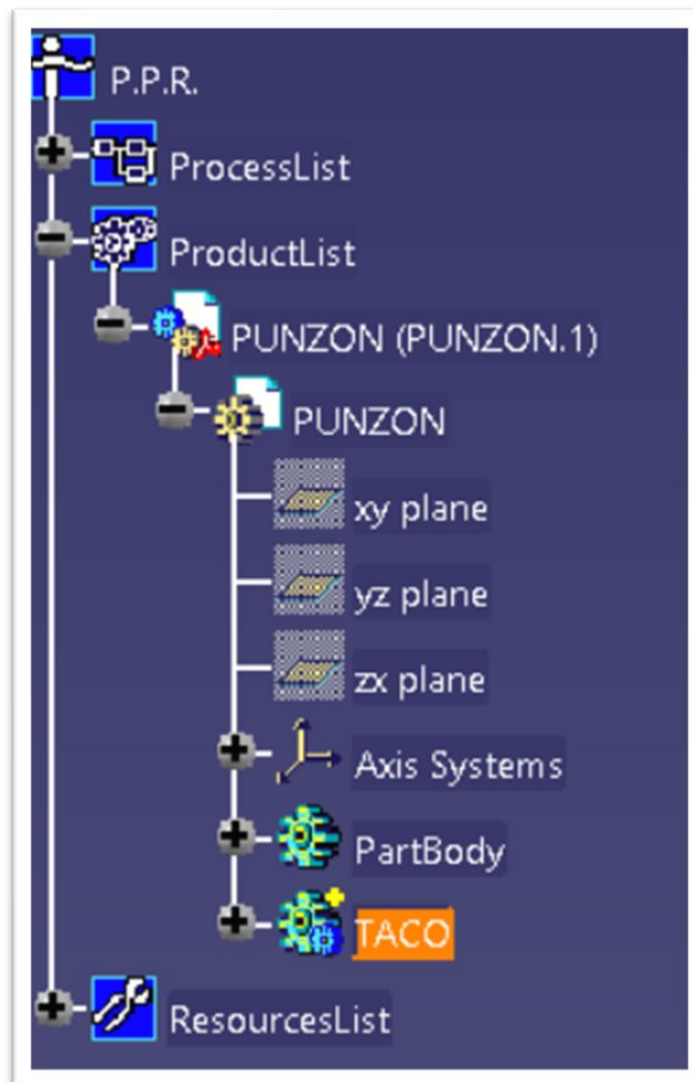


Imagen 90: Nuevo cuerpo añadido: *TACO PUNZÓN*

También se crea un sistema de coordenadas en el centro del cilindro a 2 mm por encima de la superficie del taco, y se genera un plano paralelo a la cara superior del taco a esa misma cota, que servirá como plano de referencia.

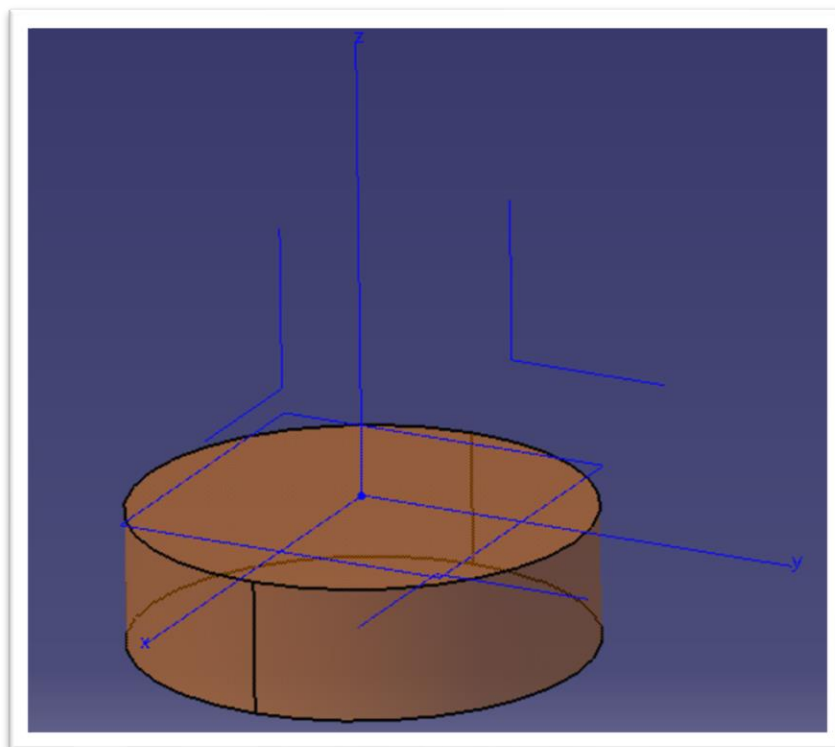


Imagen 91: Plano de referencia y ejes de coordenadas para taco de punzón

En la lista de procesos y dentro del *part operation* llamado *MECANIZADO PUNZÓN* es donde se irán añadiendo las mismas operaciones con los mismos parámetros que se ha configurado anteriormente para el mecanizado de la cavidad. Sin embargo, solo se analizarán las operaciones de taladrado por tener aspectos diferentes.

### 8.3.1. Operación de taladrado (Expulsión)

Al contrario que la cavidad, los agujeros de expulsión no se realizaran como taladrado sino como vaciado utilizando la herramienta (*Pocketing*), la razón es para que no deje la marca cónica de la broca, por lo que se realizará con una herramienta entera de mecanizado.

- La estrategia de mecanizado será helicoidal hacia el centro de la pieza, y se ajusta con dos pasadas, para que en cada pasada mecanice 1 mm de profundidad.

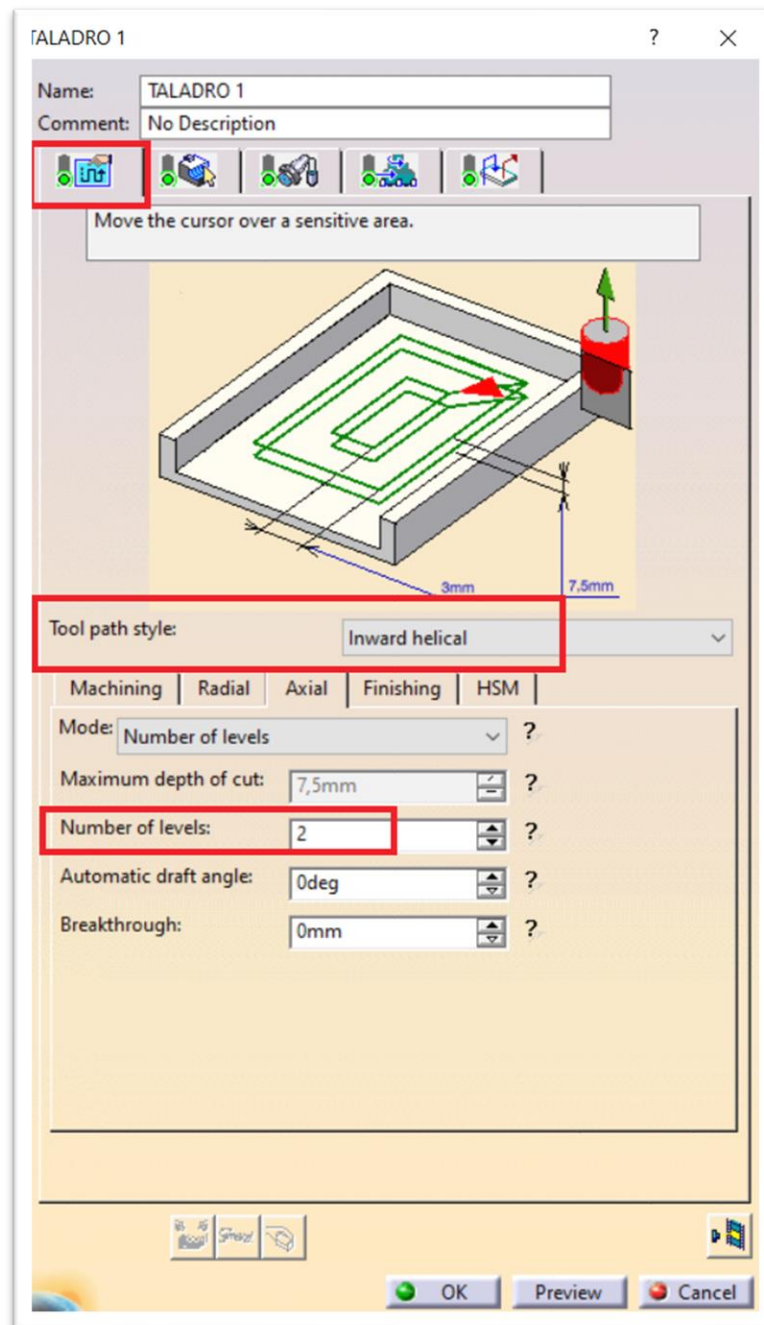


Imagen 92: Estrategia de vaciado para agujero de expulsión en punzón

- Se seleccionan los agujeros a mecanizar.

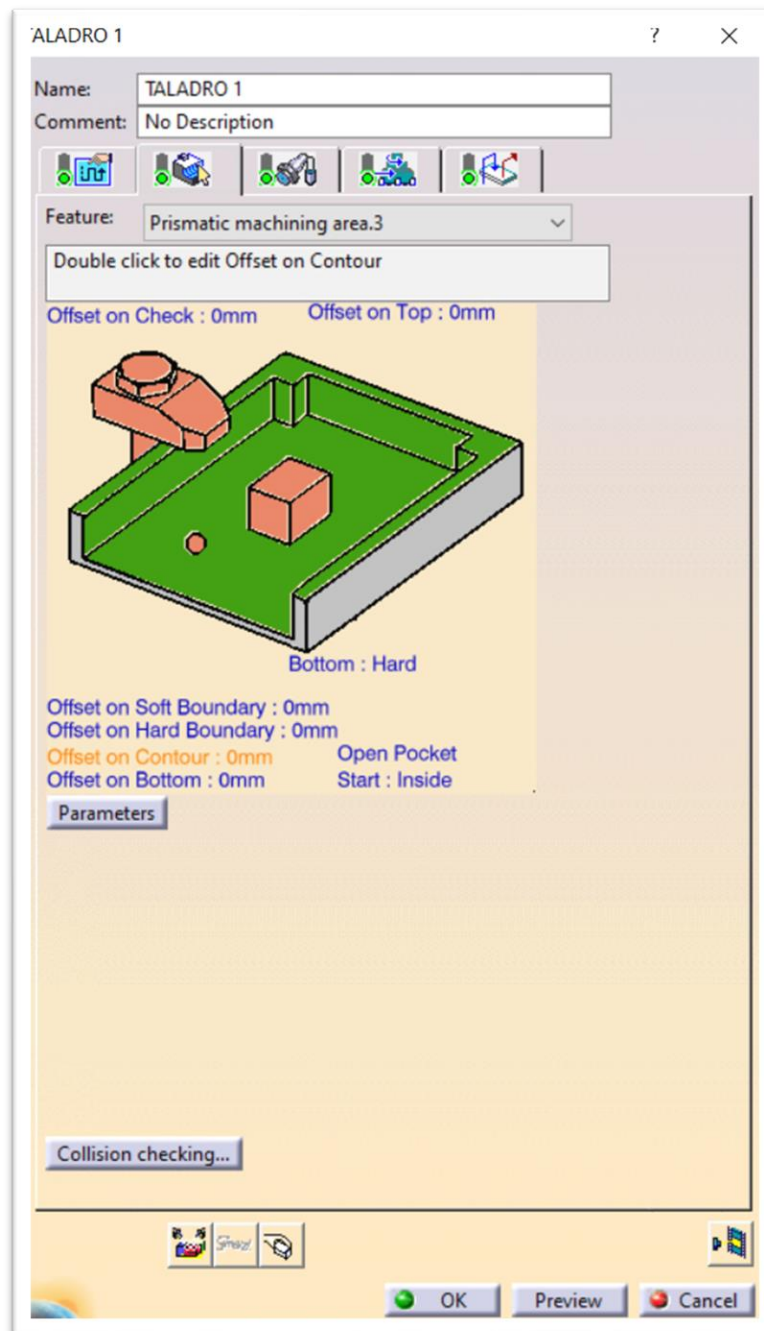


Imagen 93: Selección de los agujeros para expulsión en punzón

- La herramienta que se utiliza es de 6 mm de diámetro, se selecciona de igual manera que los anteriores procesos.

### 8.3.2. Operación de taladrado (Sujeción)

Como en los taladros de la cavidad. también se utilizará la herramienta (*Drilling*).

- Sin embargo, estos taladros no son pasantes por lo que solo se añadirá la distancia de seguridad de 1 mm antes de realizar el taladro.

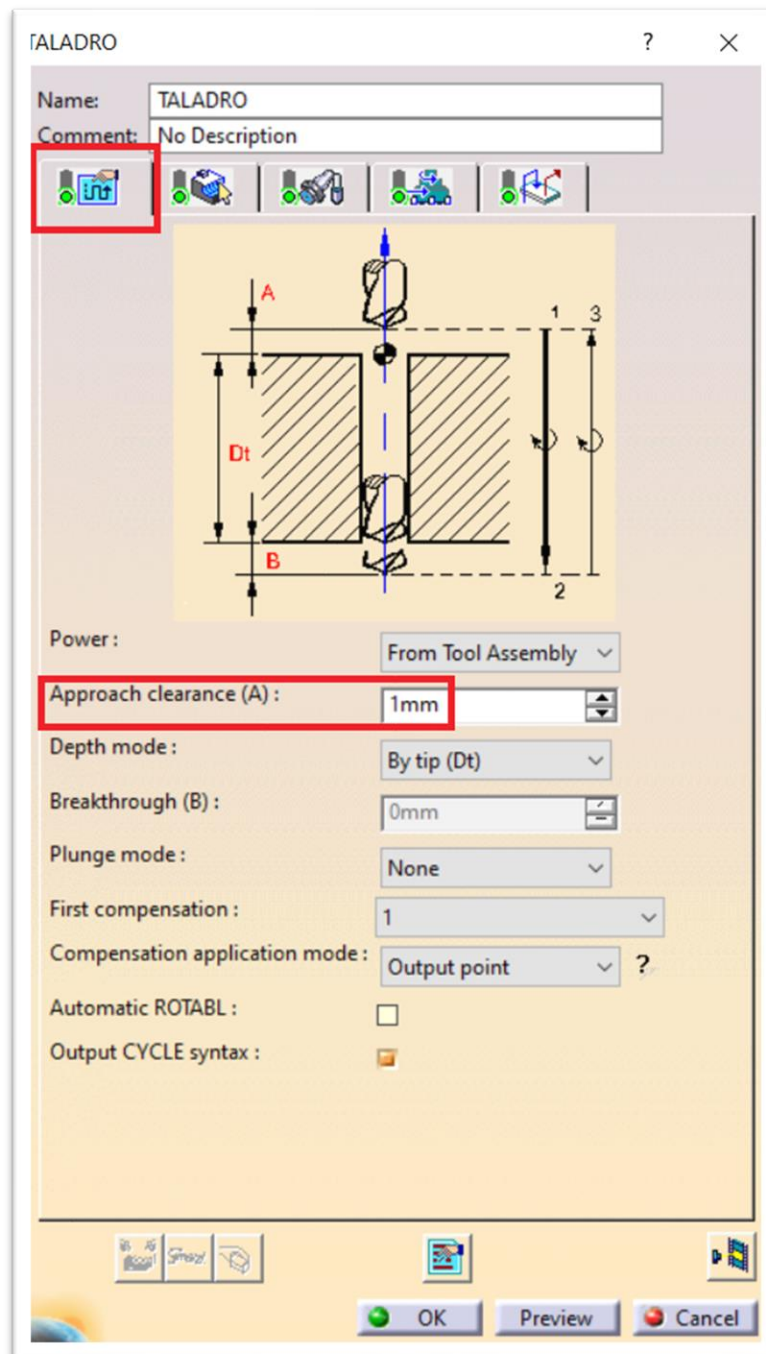


Imagen 94: Configuración de distancia de seguridad para los taladros de expulsión del punzón

- Se seleccionan los agujeros y sus medidas correspondientes.

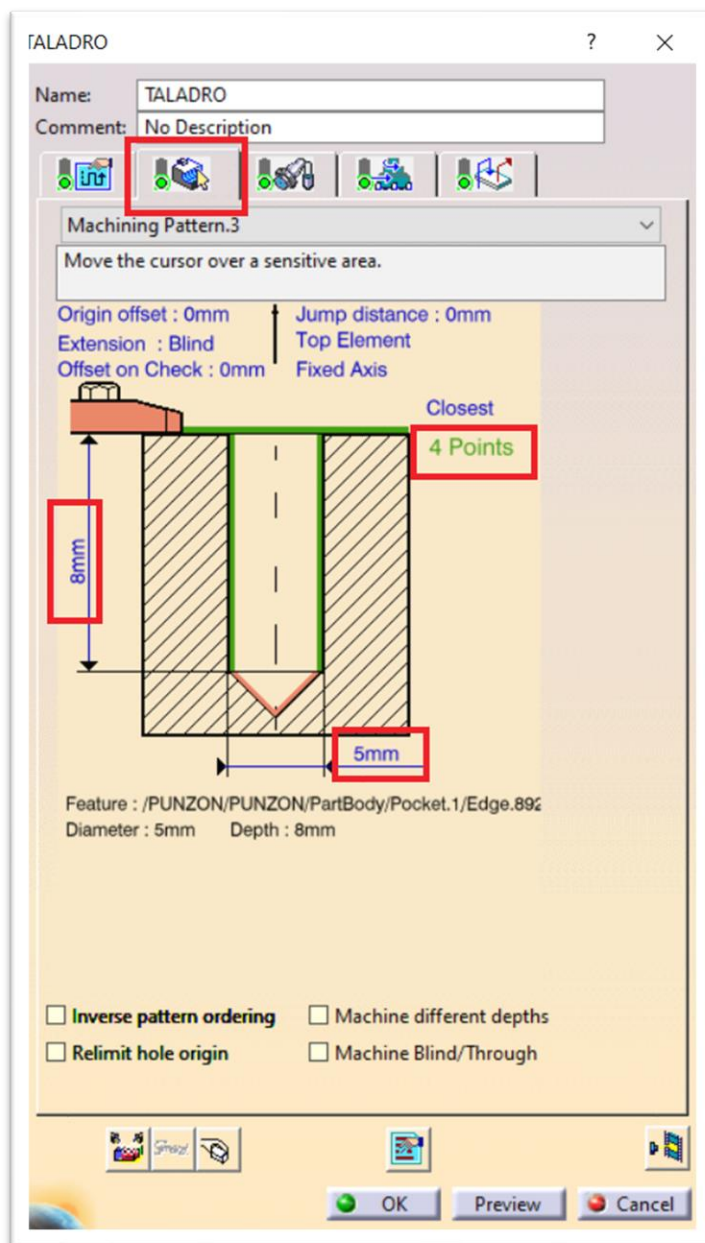


Imagen 95: Selección de agujeros de expulsión del punzón y sus dimensiones

- Por último, se introduce la broca de 5 mm de diámetro de la misma manera que los anteriores taladros.

#### 8.4. Código de mecanizado

En este caso este proceso será idéntico para la cavidad como el punzón. Lo que se pretende es generar un código de mecanizado para que el centro de mecanizado del taller sea capaz de leer y procesar todas las operaciones realizadas anteriormente. El código a obtener es un código ISO, para ello se tienen que volver a ajustar algunos parámetros. Se seleccionará la pestaña *Generate NC Code in Batch Mode*.



Imagen 96: Generación código ISO

El código se puede generar por programas o por bloque *Part Operation*, en este caso al disponer de una fresadora de 5 ejes, la cual puede cambiar de herramienta automáticamente, el código se realizará por bloque *Part Operation* y así disminuir el tiempo de no mecanizado.

El tipo de archivo será *NC Code*, también se selecciona la pestaña (*for all selected programs*) para que genere un archivo con todos los programas creados. Por último, se tiene que guardar en la carpeta donde está ubicado el mecanizado del molde.

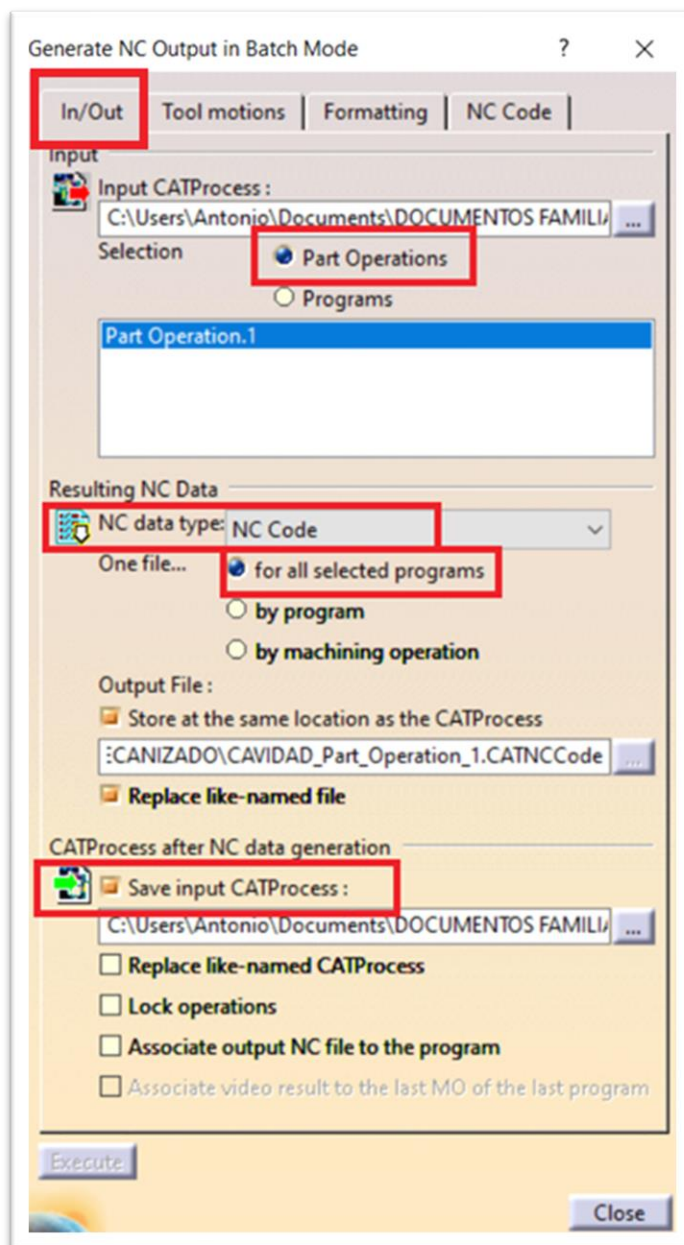


Imagen 97: Parámetros para generar código

Es necesario seleccionar el post procesador que utiliza la máquina del taller, *fagor8055*.

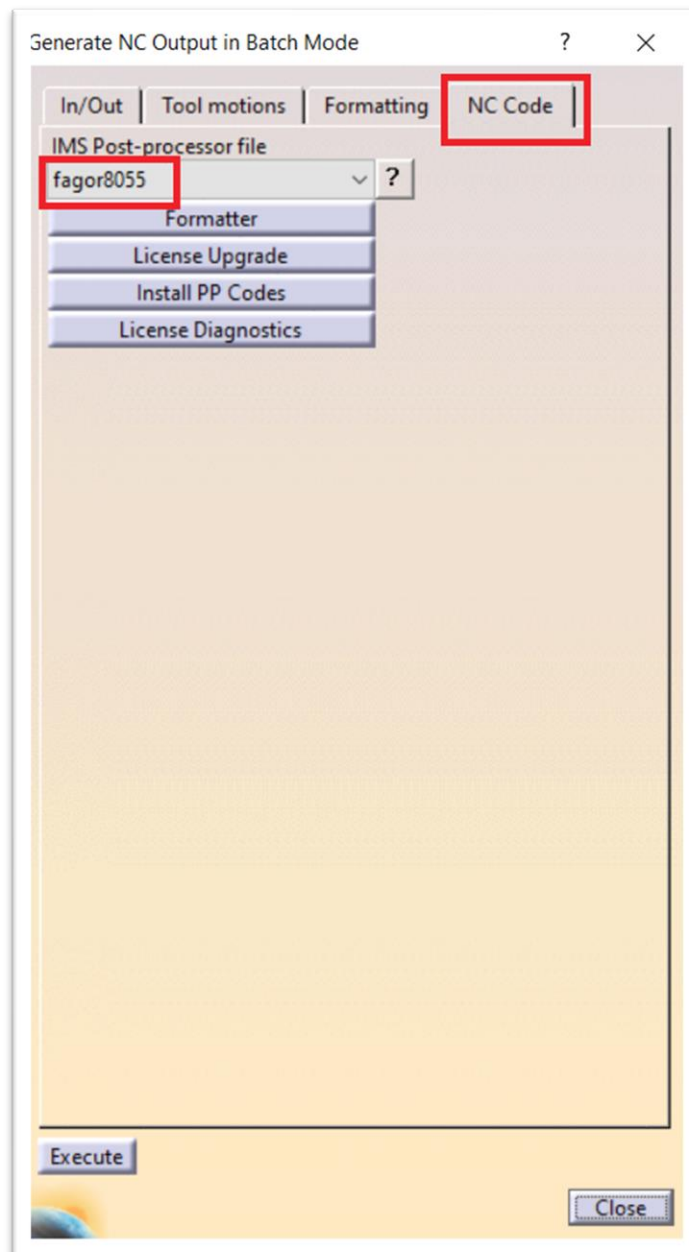


Imagen 98: Selección post procesador

Se ejecuta y se obtiene un archivo en el que se encuentra el código ISO.

## 9. SIMULACION DEL MECANIZADO

El software Catia, aparte de generar el código ISO de mecanizado tiene la posibilidad de realizar una simulación del mecanizado, y configurar los movimientos de la herramienta sean los correctos para no chocar con la pieza a realizar. El objetivo de este apartado es mostrar que el mecanizado está correctamente definido. Como

ya están definidos los programas de mecanizado solo es cuestión de comprobar si está correcto.

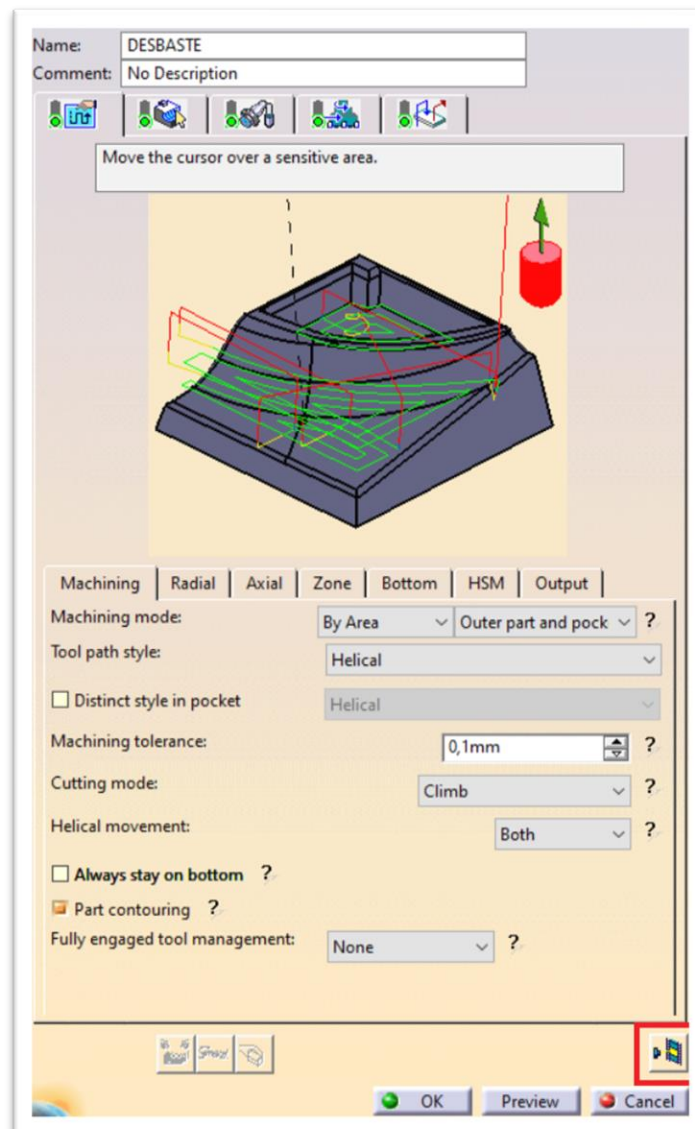
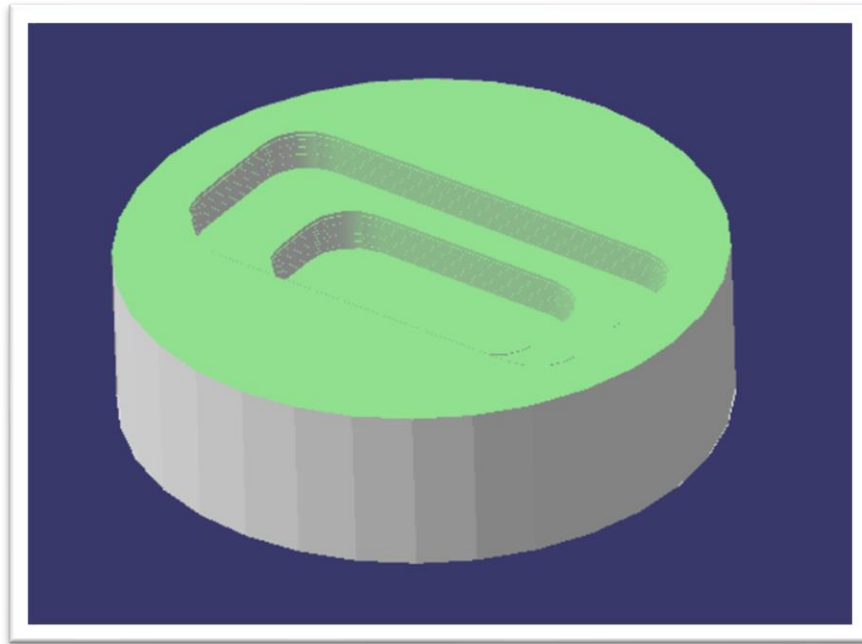
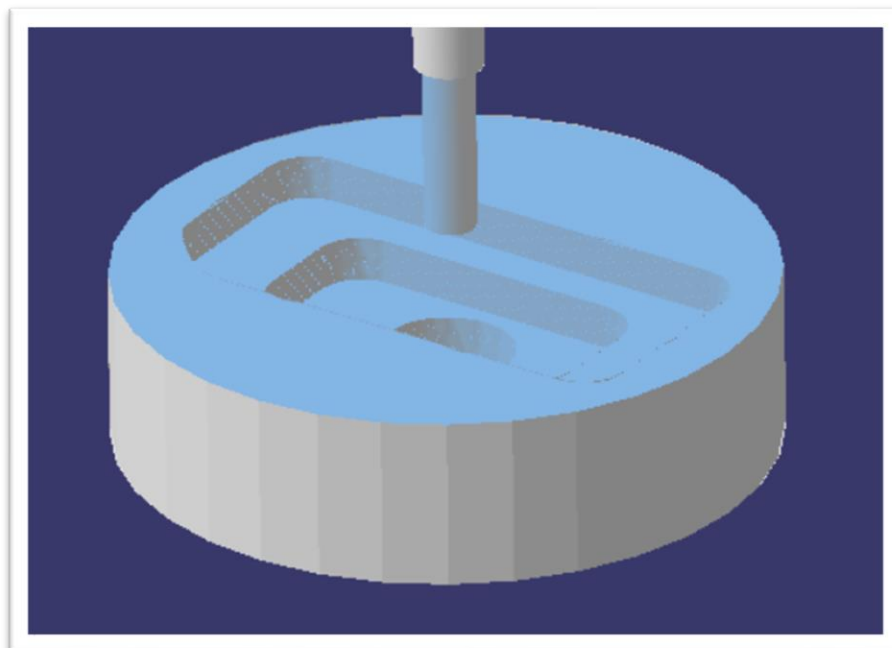


Imagen 99: Simulación del programa

Se muestra los diferentes programas de mecanizado realizados por la fresadora.



**Imagen 100: Simulación del desbaste en cavidad**



**Imagen 101: Simulación del acabado en punzón**

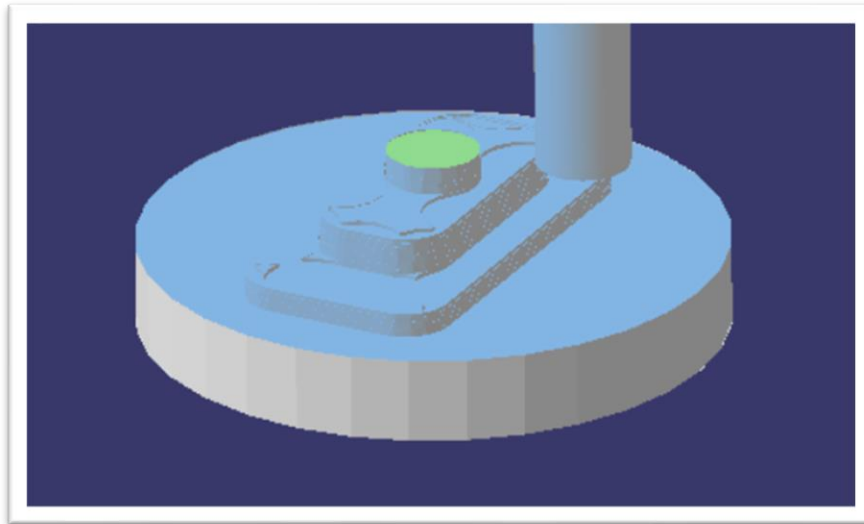


Imagen 102: Simulación del desbaste en punzón

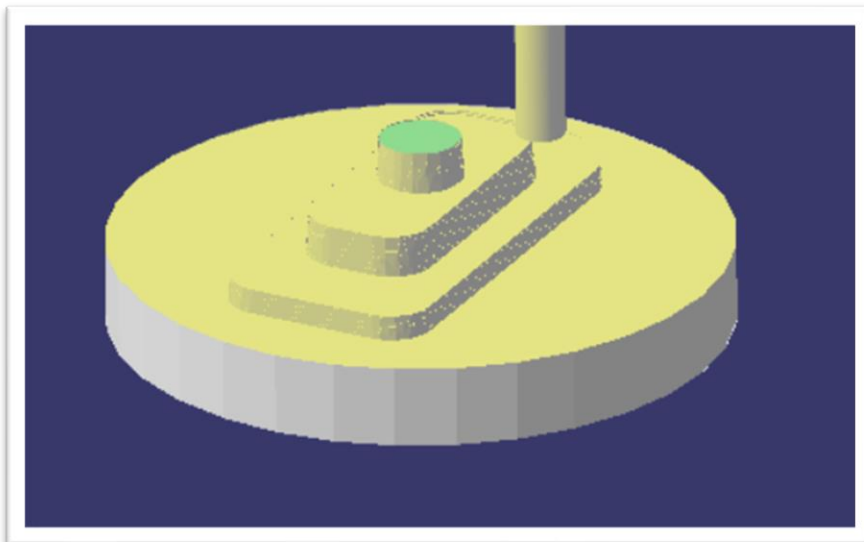


Imagen 103: Simulación del acabado en punzón

## 10. EJECUCIÓN DEL PROCESO DE INYECCIÓN

En este apartado se redactarán las pautas que habría que seguir para realizar la inyección en un molde de aluminio, ya que previamente se ha estudiado la viabilidad de la pieza de plástico y la fabricabilidad del molde.

## 10.1. Fabricación de molde

Antes de realizar el mecanizado, se necesitaría realizar unas operaciones previas al taco de aluminio, serán unas operaciones con un torno manual para limpiar las caras y la superficie cilíndrica.



Imagen 104: Torno manual [5]

Se utilizarán las herramientas recomendadas por el fabricante *SANDVICK*, que ajustará todos los parámetros de corte con la herramienta óptima dependiendo la operación a realizar. Se adjunta ANEXO II (1. TORNEADO) donde aparece la hoja de procesos para el torno donde se explica en detalle el proceso que habría que seguir.

El código ISO obtenido permite fabricar el molde en un centro de mecanizado.



Imagen 105: Centro de mecanizado [6]

De la misma manera que las operaciones de torno, para las operaciones de mecanizado se adjunta el ANEXO II (2. CAVIDAD) y ANEXO II (3. PUNZÓN) perteneciente a las hojas de procesos de la cavidad y del punzón.

## 10.2. Pruebas de inyección

Después del proceso de mecanizado habría que comprobar que las dimensiones del molde fueran las correctas y modificar algunos defectos del molde en una fresadora manual para adaptarlo completamente al inyector.

La necesidad de una nueva operación de refrentado para realizar una ranura de 54 mm de diámetro al punzón ya mecanizado y mejorar la fase de la inyección. Esta operación esta detallada en los ANEXO II (1. TORNEADO) dentro de la hoja de procesos de torno.

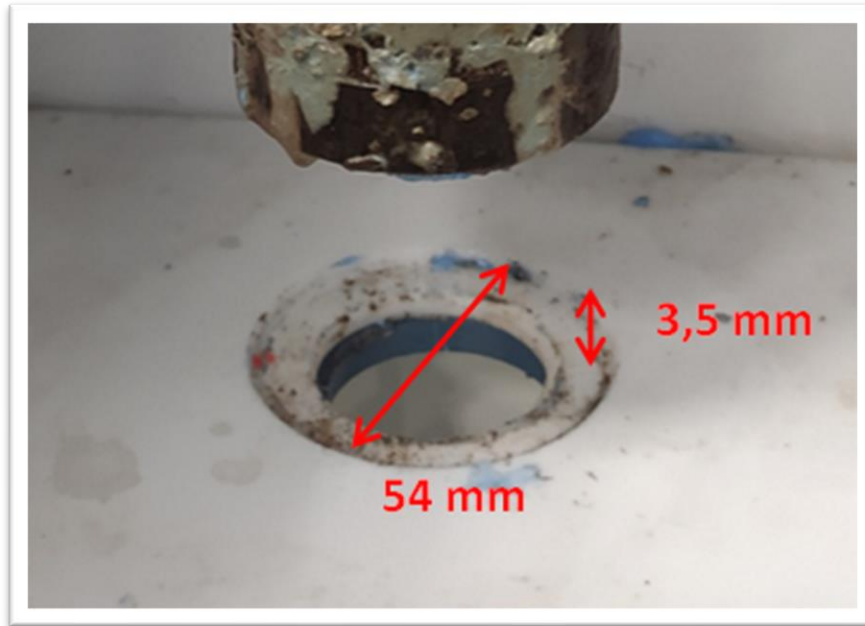


Imagen 106: Ranurado de inyectora

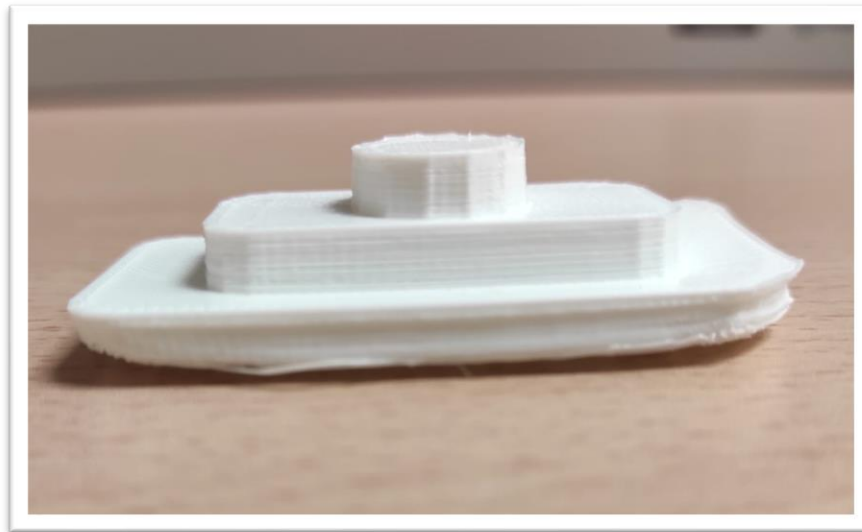


Imagen 107: Inyectora del taller

### 10.3. Valoración de resultados

Una vez fabricada la pieza mediante el proceso de inyección habría que volver a comprobar que las dimensiones coinciden con las del diseño inicial, también se podría hacer una comparación de aspecto con el prototipo realizado con la impresión 3D.

La fabricación aditiva tiene un problema y es cuando la base de la pieza empieza a curvarse hacia arriba, y se produce cuando hay mucha diferencia de temperatura entre cada capa, conocido como efecto *warping*.



**Imagen 108: Efecto *warping***

Por lo tanto, para la fabricación de un prototipo es muy útil la tecnología de impresión 3D pero cuando se quieren un cierto volumen de piezas, la inyección es la manera más efectiva y rápida.

## **11. CONCLUSIONES**

El proceso para diseñar y fabricar un molde para la fabricación de una pieza de plástico por inyección es un proceso laborioso que conlleva mucho tiempo de análisis para el diseño y configuración de varios procesos de fabricación como es la fabricación aditiva, el mecanizado y la propia inyección.

Los softwares CAD/CAM utilizados en este TFG son adecuados para el diseño, configuración y simulación de procesos. El módulo de diseño de CATIA para el diseño geométrico de la pieza y molde, el software MoldFlow para la inyección, el software

CURA para la fabricación aditiva por FDM, y el módulo de mecanizado de CATIA para el proceso de mecanizado del molde.

El uso de software CAD/CAM permite configurar y simular los procesos de fabricación antes de ejecutarlos, por lo que permite corregir errores de diseño sin coste alguno en la fase de diseño.

La fabricación aditiva es un proceso de fabricación idónea para la generación de prototipos físicos no funcionales que permiten la comprobación de la geometría de las piezas antes de realizar la costosa inversión de que supone la fabricación del molde.

Realizar un estudio de coste relativo de un molde ayuda a establecer una relación entre la complejidad de la pieza y el coste del molde, pudiendo ser buena herramienta para simplificar diseños complejos.

Uno de los propósitos de este TFG era fabricar físicamente el molde, el cual actualmente se encuentra en proceso de fabricación. Pero por diversos problemas ajenos a mi voluntad no se ha podido culminar en la fecha de terminación de este TFG.

## Bibliografía

- [1]: Inyectora: [arburg.com](http://arburg.com) (abril 2022)
- [2]: Partes de una máquina de impresión: <https://acortar.link/znOfHD> (marzo 2022)
- [3]: Recomendaciones de diseño: <https://acortar.link/5jLPyx> (marzo 2022)
- [4]: Defecto de inyección: <https://acortar.link/zg4lwF> (marzo 2022)
- [5]: Torno manual: <https://acortar.link/0hXjfZ> (julio 2022)
- [6]: Centro de mecanizado: <https://acortar.link/G6FrC2> (julio 2022)
- [7]: Guías de diseño para la fabricación: Tema 2 de la asignatura técnicas aplicadas a la ingeniería
- [8] Impresión 3D: <https://acortar.link/mO5m0S> (diciembre 2021)
- [9] Ventajas impresión 3D: <https://acortar.link/GXPgSu> (diciembre 2021)
- [10] Definición impresión 3D: <https://acortar.link/pwC2WU> (diciembre 2021)
- [11] Recomendaciones de diseño para inyección de piezas de plástico: <https://acortar.link/5jLPyx> (marzo 2022)
- [12] Reducción de costes de un molde: <https://acortar.link/JNsyYQ> (marzo 2022)
- [13] Información sobre el proceso de inyección: <https://acortar.link/Ut3Quu> (abril 2022)
- [14] Recomendaciones para el diseño de moldes: <https://acortar.link/X9HhvM> (marzo 2022)
- [15] Información sobre moldes: <https://acortar.link/9GWi5z> (diciembre 2021)
- [16] Partes de una máquina de inyección: <https://acortar.link/znOfHD> (diciembre 2021)
- [17] Información general: <https://acortar.link/rnw51w> (noviembre 2021)

[18] Guía de selección de herramientas para torno CoroPlus Tool Guide:  
<https://acortar.link/eSy6ln> (abril 2022)

[19] Problemas de impresión 3D: <https://acortar.link/3Qypez> (abril 2022)



# ANEXO I: PLANOS

## 1. PIEZA

D

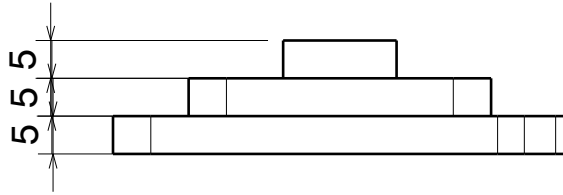
C

B

A

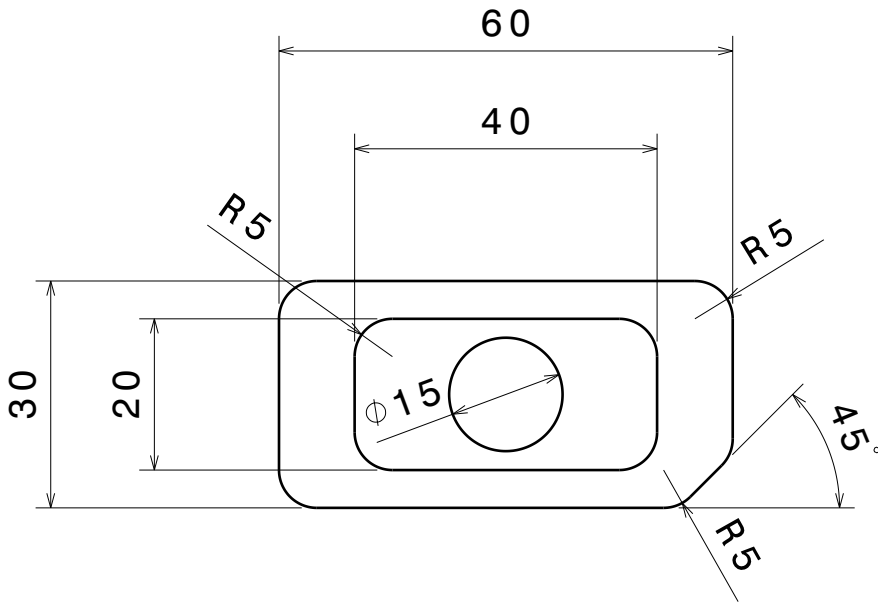
4

4



3

3



2

2

1

1

DISEÑADO POR: <b>Antonio Fernández</b>		Nombre	Pieza inyección	Firma
FECHA: <b>16/04/2022</b>		Material	Plástico	
REVISADO POR: <b>Antonio Fernández</b>		Proyecto	Diseño y fabricación de molde de aluminio para inyección de plástico	
FECHA: <b>16/04/2022</b>				
TAMANO <b>A4</b>		Nº Plano	1/1	
ESCALA <b>1:1</b>		Universidad de Jaén		

D

A



# ANEXO I: PLANOS

## 2. CAVIDAD

D

C

B

A

4

4

3

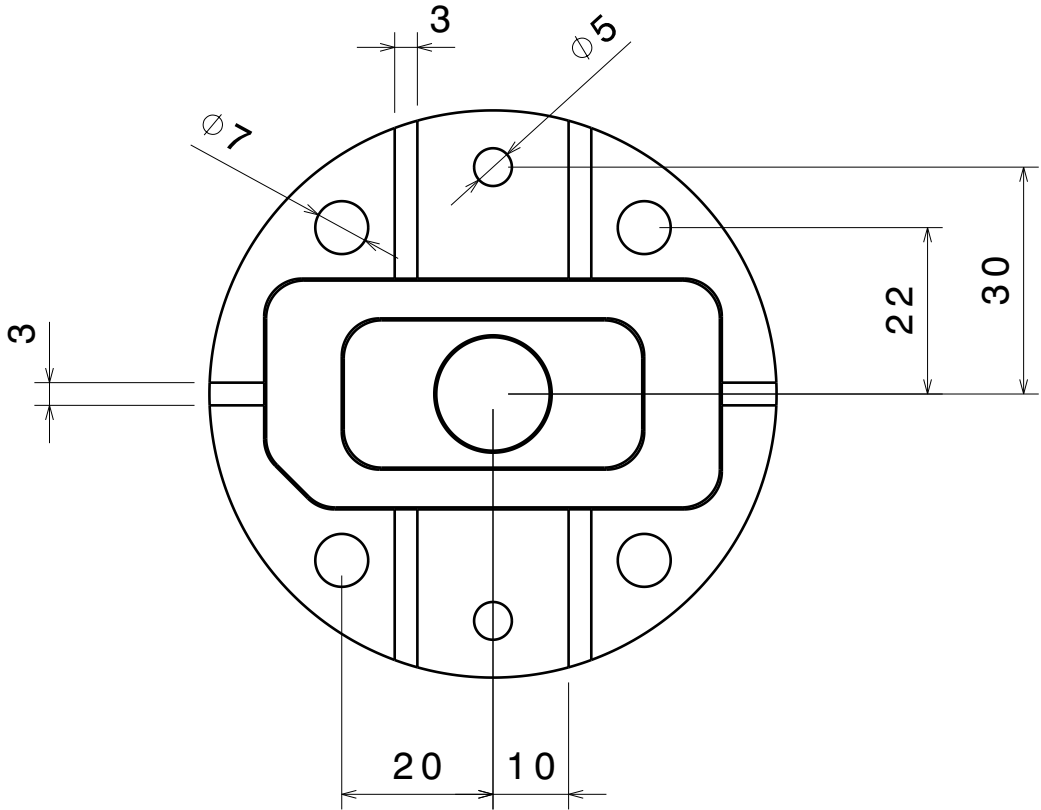
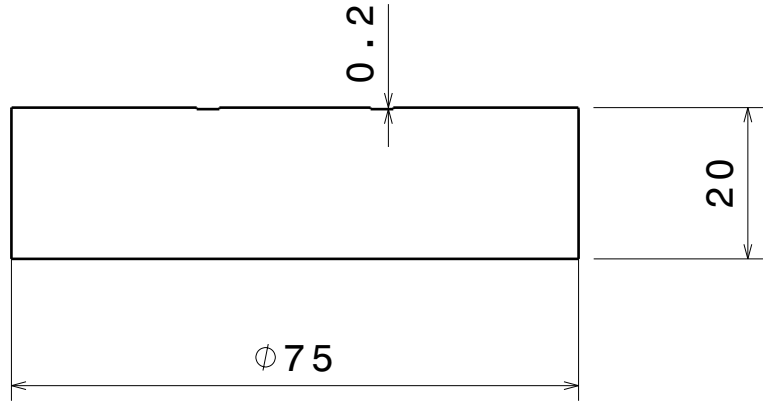
3

2

2

1

1



DISEÑADO POR: <b>Antonio Fernández</b>		Nombre	Cavidad	Firma
FECHA: <b>16/04/2022</b>		Material	Aluminio	
REVISADO POR: <b>Antonio Fernández</b>		Proyecto	Diseño y fabricación de molde de aluminio para inyección de plástico	
FECHA: <b>16/04/2022</b>				
TAMANO <b>A4</b>		Nº Plano	1/1	
ESCALA <b>1:1</b>		Universidad de Jaén		

D

A

D

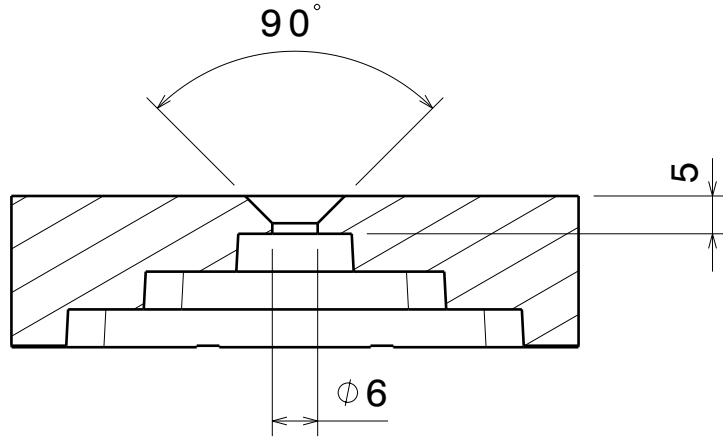
C

B

A

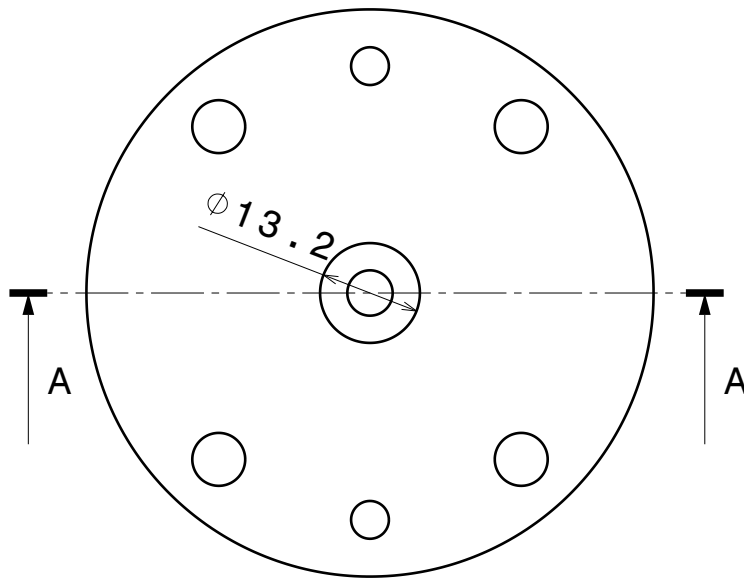
4

4



3

3



2

2

Front view  
Scale: 1:1

1

1

DISEÑADO POR: <b>Antonio Fernández</b>		Nombre	Cavidad Inyección	Firma
FECHA: <b>16/04/2022</b>		Material	Aluminio	
REVISADO POR: <b>Antonio Fernández</b>		Proyecto	Diseño y fabricación de molde de aluminio para inyección de plástico	
FECHA: <b>16/04/2022</b>				
TAMANO <b>A4</b>		Nº Plano	1/1	
ESCALA <b>1:1</b>		Universidad de Jaén		

D

A



# ANEXO I: PLANOS

## 3. PUNZÓN

D

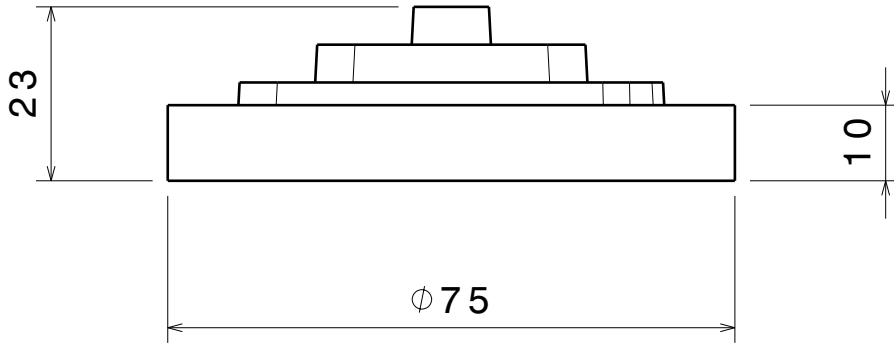
C

B

A

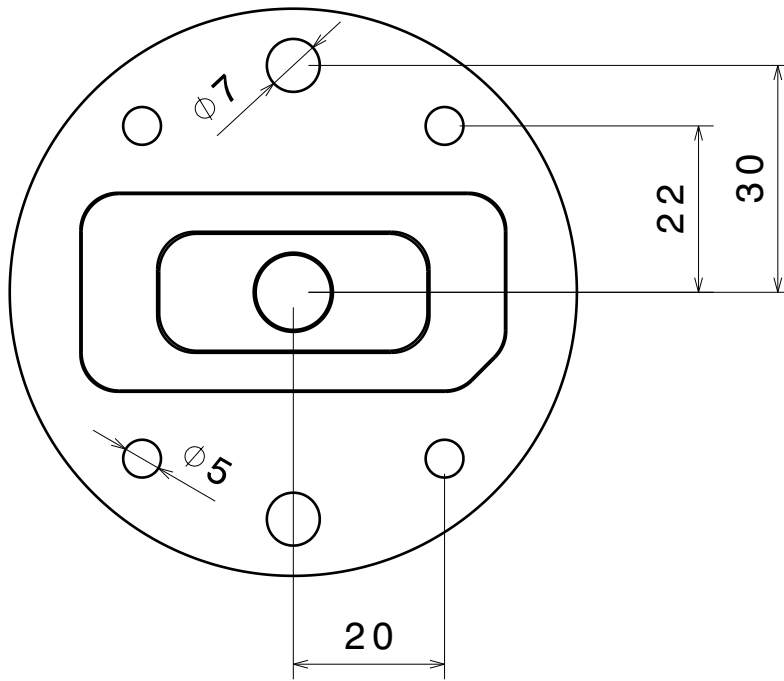
4

4



3

3



2

2

1

1

DISEÑADO POR: <b>Antonio Fernández</b>		Nombre	Punzón	Firma
FECHA: <b>16/04/2022</b>		Material	Aluminio	
REVISADO POR: <b>Antonio Fernández</b>		Proyecto	Diseño y fabricación de molde de aluminio para inyección de plástico	
FECHA: <b>16/04/2022</b>				
TAMANO <b>A4</b>		Nº Plano	1/1	
ESCALA <b>1:1</b>		Universidad de Jaén		

D

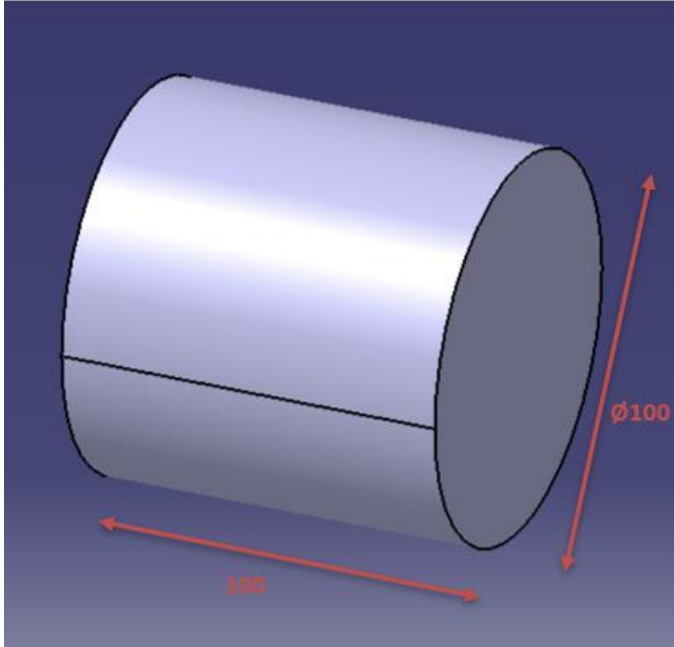
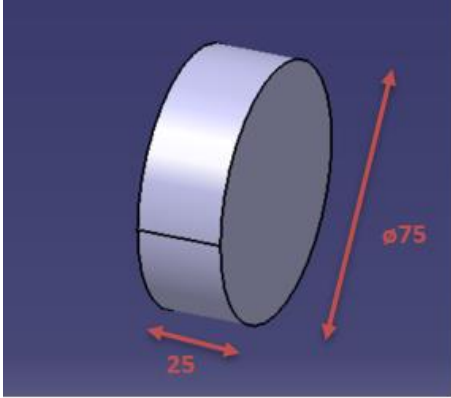
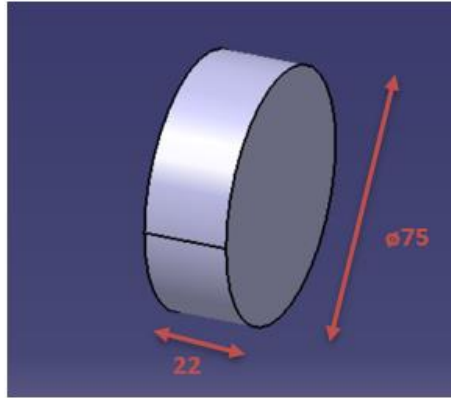
A



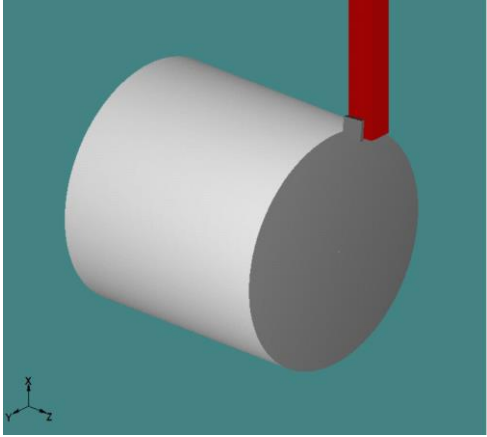
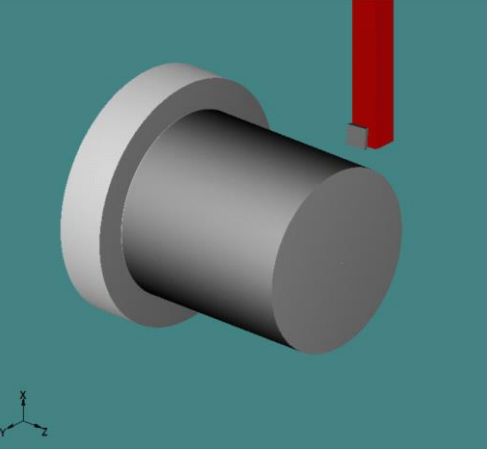
# ANEXO II: HOJA DE PROCESOS

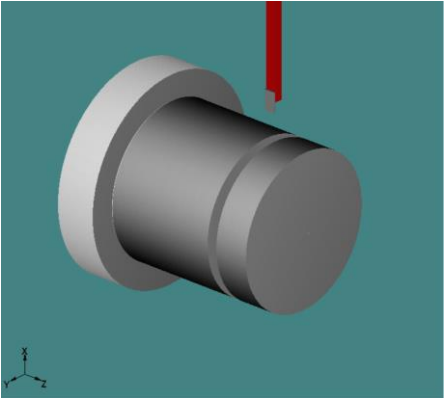
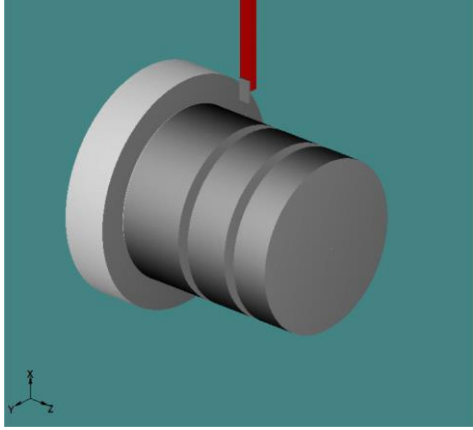
## 1. TORNEADO

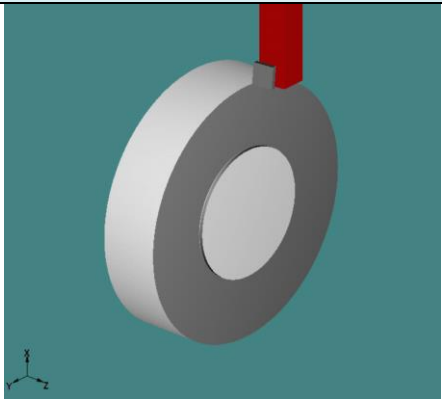
**1. Datos de partida**

<p><b>Pieza en bruto:</b> Diámetro: 100 mm    Altura: 100 mm <b>Material a mecanizar:</b> Aleación de aluminio AA2024</p>		<p><b>PIEZA 3D</b></p> 
<p><b>PUNZÓN</b></p>		
<p><b>CAVIDAD</b></p>		

2. Hoja de Procesos

HOJA DE PROCESOS						
OP Nº	DENOMINACIÓN	Parámetros de corte		HTA	Observaciones	Croquis de pieza mecanizada
1	REFRENTADO	Desbaste		Plaquita D12 mm ref: RCGX 12 04 M0-AL H10	Se realiza dos pasadas de 1.5 mm de profundidad cada una para limpiar una de las caras del taco.	
		n [rpm]				
		a [mm/min]	0,632			
		p [mm]	3			
		v [m/min]	1210			
2	PERFILADO	Desbaste		Plaquita D12 mm ref: RCGX 12 04 M0-AL H10	<p>Se realiza un perfilado para limpiar la superficie, con la misma herramienta de desbaste.</p> <p>Se realizan siete pasadas de 1,79 mm.</p> <p>Solo se limpiará 80 mm de longitud porque se necesitan 20 mm para la sujeción en el plato de garras.</p>	
		n [rpm]				
		a [mm/min]	0,632			
		p [mm]	12,5			
		v [m/min]	1210			

HOJA DE PROCESOS						
OP Nº	DENOMINACIÓN	Parámetros de corte		HTA	Observaciones	Croquis de pieza mecanizada
3	TRONZADO	Acabado		Herramienta Ancho 3 mm con ref: QD-NG-0300-0002-CM 1125	<p>Se realiza un tronzado para generar la cavidad con un ancho de 22mm y un diámetro de 75 mm. Que estará listo para introducirlo en la fresadora.</p> <p>Se utilizará la herramienta disponible en el taller.</p>	
		n [rpm]				
		a [mm/rev]	0,1			
		p [mm]				
		v [m/min]	1510			
4	TRONZADO	Acabado		Herramienta Ancho 3 mm con ref: QD-NG-0300-0002-CM 1125	<p>Se realiza un segundo tronzado para generar el punzón con un ancho de 25 mm y un diámetro de 75 mm. Que estará listo para introducirlo en la fresadora.</p> <p>Se utilizará la herramienta disponible en el taller.</p>	
		n [rpm]				
		a [mm/min]	0,1			
		p [mm]				
		v [m/min]	1510			
HOJA DE PROCESOS						

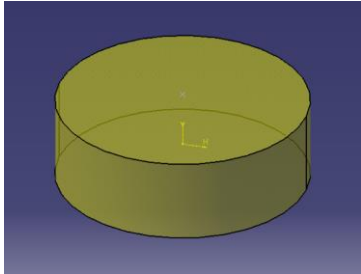
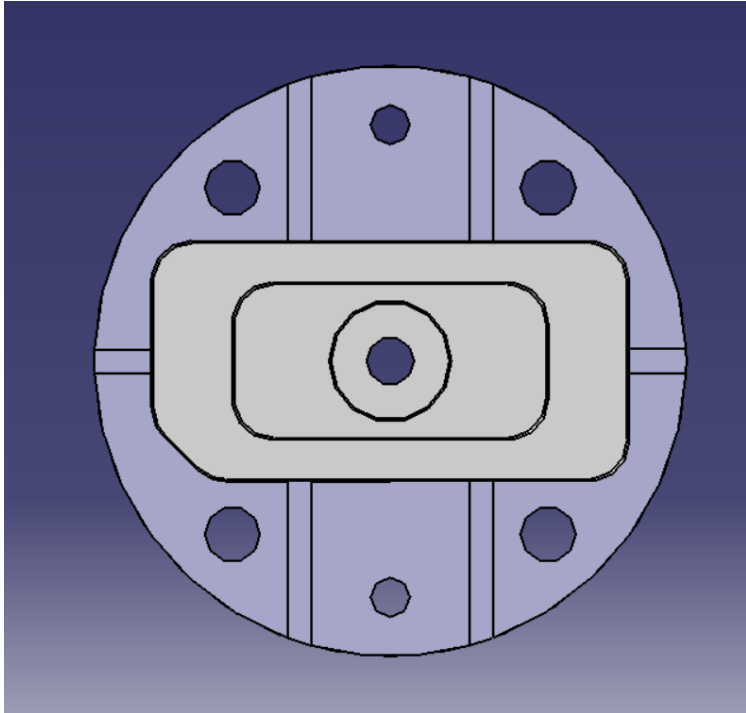
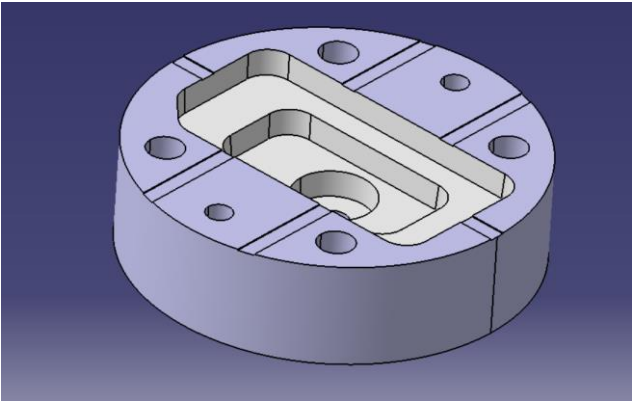
OP Nº	DENOMINACIÓN	Parámetros de corte		HTA	Observaciones	Croquis de pieza mecanizada
5	REFRENTADO EN PUNZÓN	Desbaste		Plaquita D12 mm ref: RCGX 12 04 M0-AL H10	<p><b>UNA VEZ MECANIZADO EL PUNZÓN (OPCIONAL)</b></p> <p>Se realiza una pasada de 1,5 mm de profundidad para realizarle una endidura y que pueda apoyarse en la inyectora.</p> <p>Diámetro de cogida es de 54mm.</p>	
		n [rpm]				
		a [mm/min]	0,632			
		p [mm]	3			
		v [m/min]	1210			



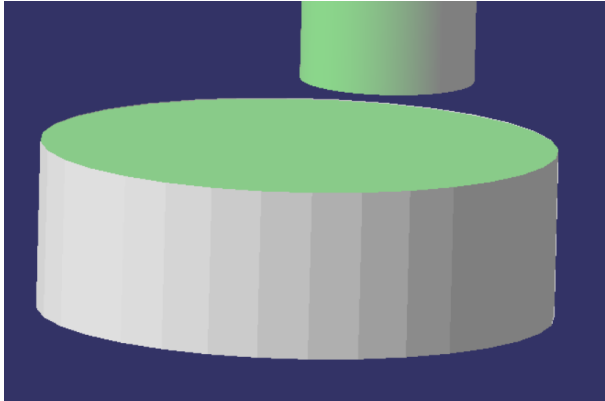
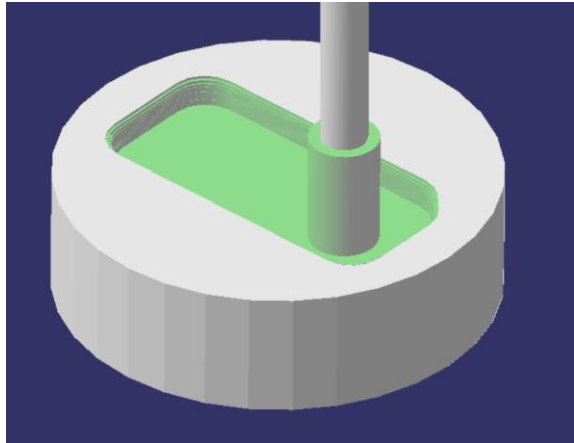
# ANEXO II: HOJA DE PROCESOS

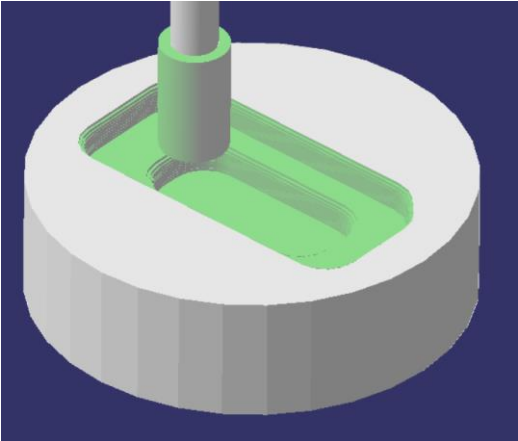
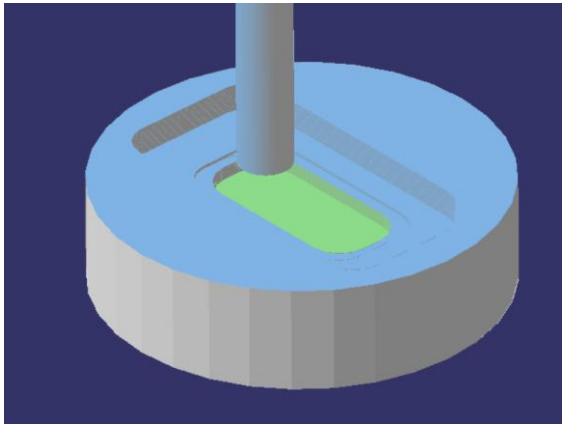
2. CAVIDAD

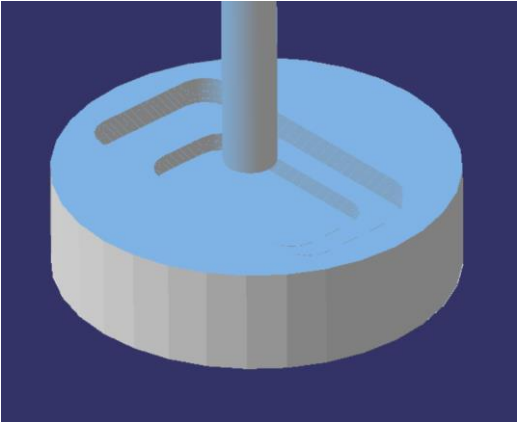
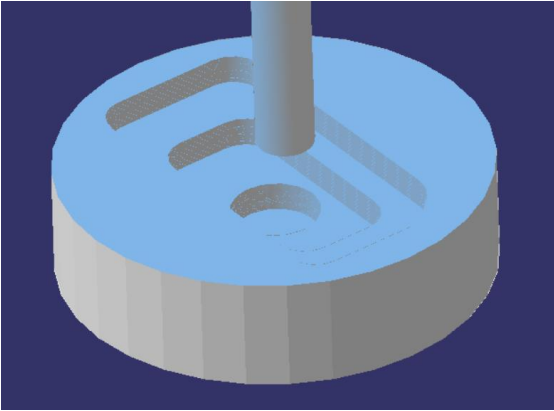
**1. Datos de partida**

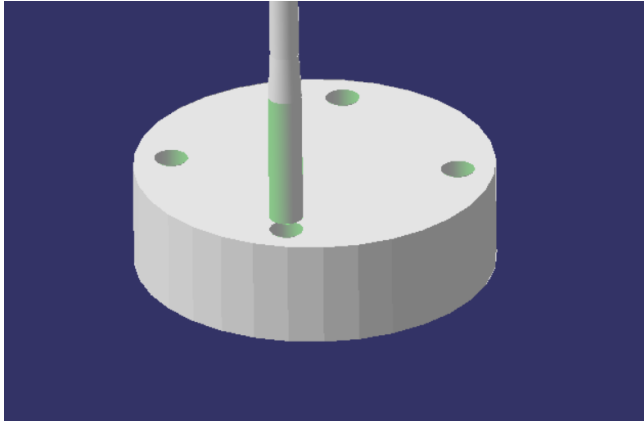
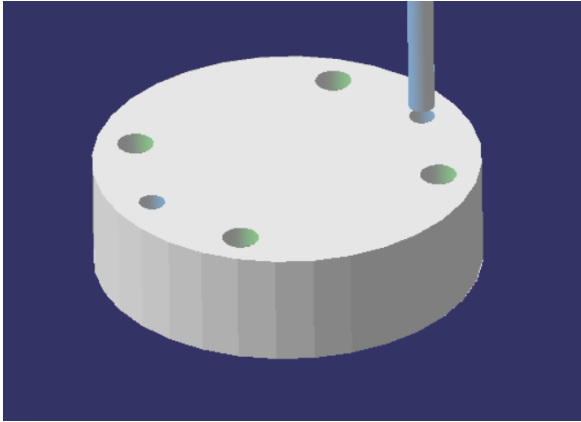
<p><b>Pieza en bruto:</b> Diámetro: 75 mm    Altura: 22 mm</p> <p><b>Material a mecanizar:</b> Aleación de aluminio AA2024</p>	<p style="text-align: center;"><b>NOTA:</b></p> <p>Las paredes mecanizadas son perfiles que tienen un desmoldeo de 3º, por tanto, hay que tener en cuenta esto a la hora de mecanizar. Excepto los taladros</p>
	
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"><b>Pieza 3D</b></p> 	

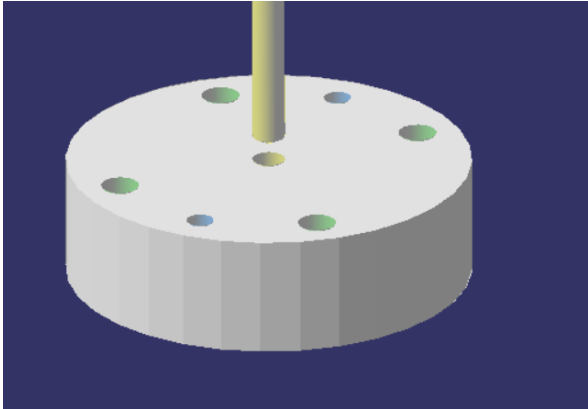
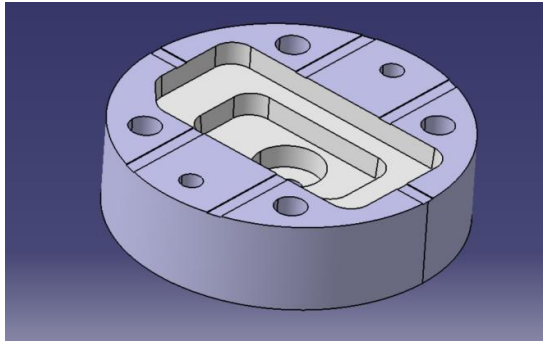
2. Hoja de Procesos

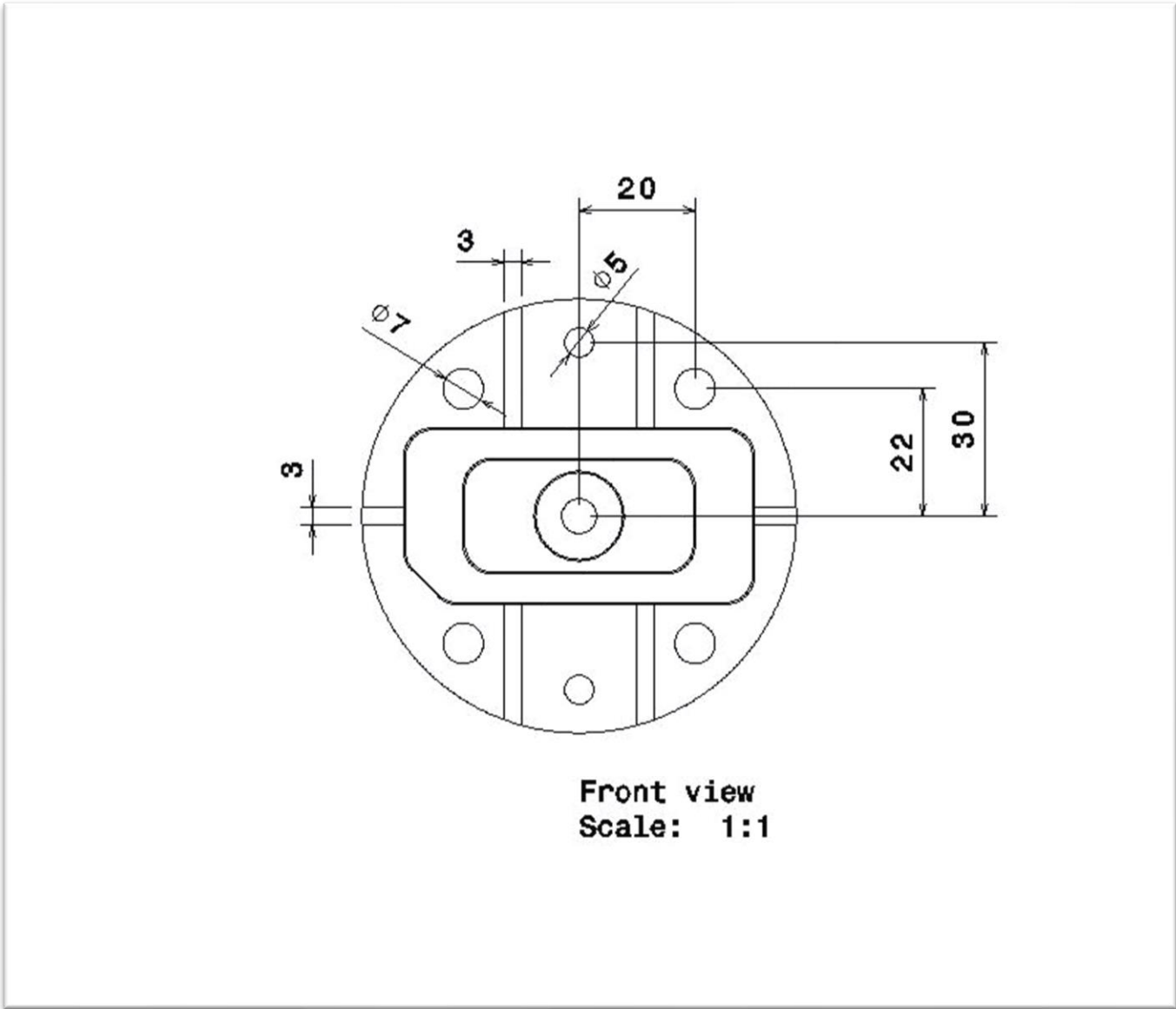
HOJA DE PROCESOS						
OP Nº	DENOMINACIÓN	Parámetros de corte		HTA	Observaciones	Croquis de pieza mecanizada
1	PLANEADO	Desbaste		Plato plano <b>D50 mm</b> con 5 insertos ref: 51081120	Se realiza dos planeados de 1 mm de profundidad cada uno, de fuera hacia el centro	
		n [rpm]	1550			
		a <sub>d</sub> [mm/min]	0,15			
		p [mm]	1			
		v [m/min]	122			
2	CAJEADO CON PERFIL	Desbaste		Fresa entera de desbaste <b>D12 mm</b> con ref.: 54 015 12200	Se realiza un cajeado que tiene un perfil de 3º, se van realizando pasadas de 0,5 mm de profundidad, hasta mecanizar 5 mm  <b>EN TODOS LOS PERFILEADOS DE DESBASTE SE DEJA UN OFFSET DE 1 MM EN LA PARED Y DE 1 MM EN LA BASE, PARA TERMINARLO EN EL ACABADO</b>	
		n [rpm]	3450			
		a <sub>d</sub> [mm/min]				
		p [mm]	0,5			
		v [m/min]	130			

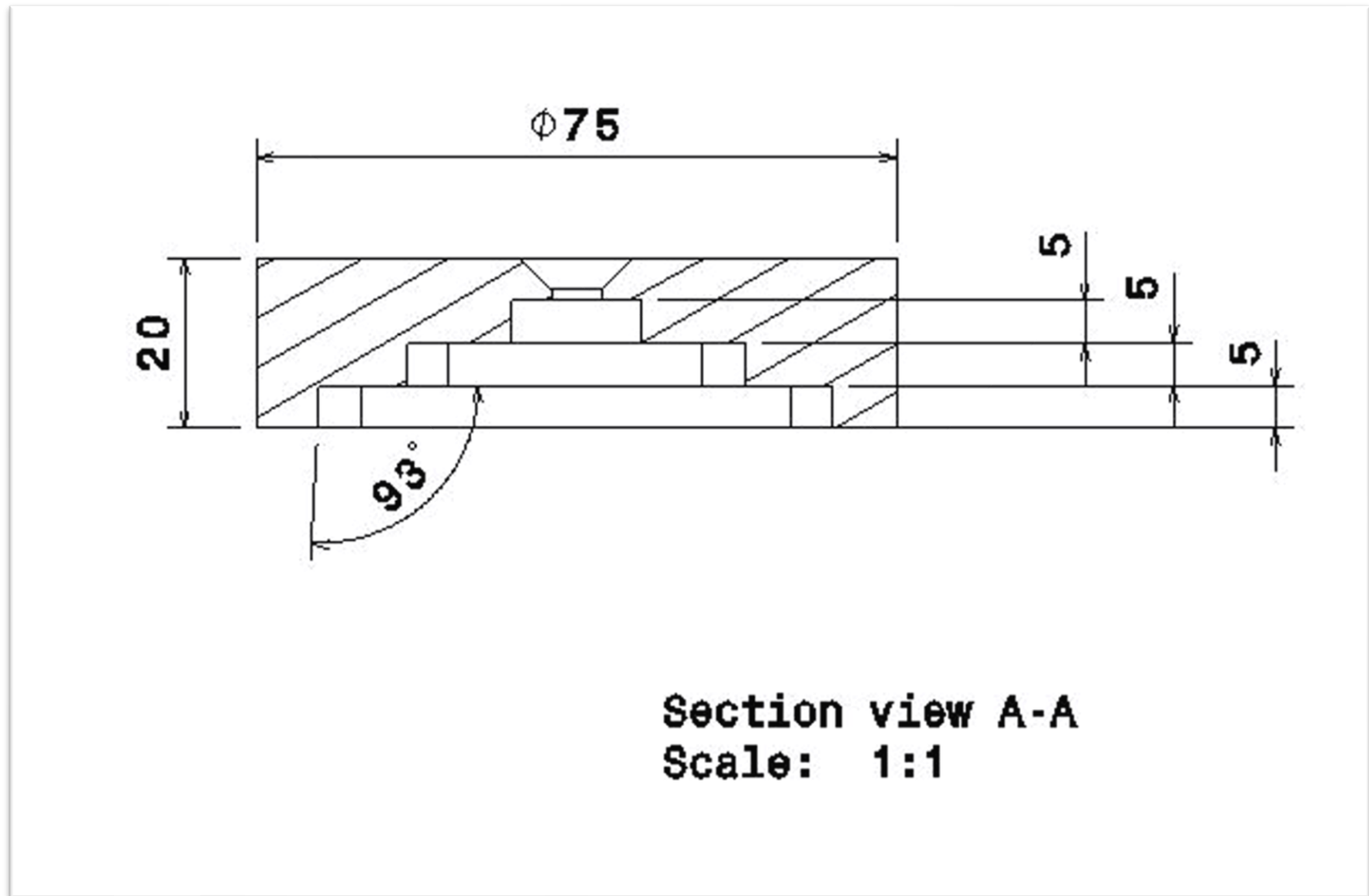
HOJA DE PROCESOS						
OP Nº	DENOMINACIÓN	Parámetros de corte		HTA	Observaciones	Croquis de pieza mecanizada
3	CAJEADO CON PERFIL	Desbaste		Fresa enteriza de desbaste <b>D12 mm</b> con ref: 54 015 12200	Se realiza un cajeadado que tiene un perfil de 3º, se van realizando pasadas de 0,5 mm de profundidad, hasta mecanizar 5 mm  EN TODOS LOS PERFILADOS DE DESBASTE SE DEJA UN OFFSET DE 1 MM EN LA PARED Y DE 1 MM EN LA BASE, PARA TERMINARLO EN EL ACABADO	
		n [rpm]	3450			
		a <sub>d</sub> [mm/min]				
		p [mm]	0,5			
		v [m/min]	130			
4	CAJEADO CON PERFIL	Acabado		Fresa enteriza de acabado <b>D6 mm</b> con ref: 54 015 06200	Se realiza un cajeadado que tiene un perfil de 3º, se van realizando pasadas de 0,1 mm de profundidad, hasta mecanizar 7 mm	
		n [rpm]	6000			
		a [mm/min]				
		p [mm]	0,1			
		v [m/min]	113			

HOJA DE PROCESOS						
OP Nº	DENOMINACIÓN	Parámetros de corte		HTA	Observaciones	Croquis de pieza mecanizada
5	CAJEADO CON PERFIL	Acabado		Fresa entera de acabado D6 mm con ref: 54 015 06200	Se realiza un cajeadado que tiene un perfil de 3º, se van realizando pasadas de 0,1 mm de profundidad, hasta mecanizar 7 mm	
		n [rpm]	6000			
		a <sub>d</sub> [mm/min]				
		p [mm]	0,1			
		v [m/min]	113			
6	CAJEADO CON PERFIL	Desbaste		Fresa entera de acabado D6 mm con ref: 54 015 06200	Se realiza un cajeadado que tiene un perfil de 3º, se van realizando pasadas de 0,1 mm de profundidad, hasta mecanizar 7 mm	
		n [rpm]	6000			
		a [mm/min]				
		p [mm]	0,1			
		v [m/min]	113			

HOJA DE PROCESOS						
OP Nº	DENOMINACIÓN	Parámetros de corte		HTA	Observaciones	Croquis de pieza mecanizada
7	TALADRADO	Acabado		Broca genérica HSS sin recubrimiento D7 mm	Se realiza 4 taladros pasantes simétricos, las cotas se adjunta al final del documento, con una broca de D7 mm, hay que tener precaución al pasar la broca para no dañar la mesa de la fresadora.  El tocho a taladrar es de 20 mm, se añaden 3 mm para asegurar que sea pasante	
		n [rpm]	500			
		ad [mm/min]				
		p [mm]	23			
		v [m/min]	11			
8	TALADRADO	Acabado		Broca genérica HSS sin recubrimiento D5 mm	Se realiza 2 taladros pasantes simétricos, las cotas se adjunta al final del documento, con una broca de D5 mm, hay que tener precaución al pasar la broca para no dañar la mesa de la fresadora.  El tocho a taladrar es de 20 mm, se añaden 3 mm para asegurar que sea pasante	
		n [rpm]	500			
		a [mm/min]				
		p [mm]	23			
		v [m/min]	7,85			

HOJA DE PROCESOS						
OP Nº	DENOMINACIÓN	Parámetros de corte		HTA	Observaciones	Croquis de pieza mecanizada
9	TALADRADO	Acabado		Broca genérica HSS sin recubrimiento <b>D6 mm</b>	<p>Se realiza 1 taladro pasante, las cotas se adjunta al final del documento, con una broca de D6 mm, hay que tener precaución al pasar la broca para no dañar la mesa de la fresadora.</p> <p>El tocho a taladrar es de 20 mm, se añaden 3 mm para asegurar que sea pasante.</p> <p><b>ESTE TALADRO SERA EL PUNTO DE INYECCION</b></p>	
		n [rpm]	500			
		ad [mm/min]				
		p [mm]	23			
		v [m/min]	9,42			
10	CAJEADO	Acabado		Fresa entera de acabado <b>D3 mm</b> con ref: 54 015 03200	<p>Se realiza un cajeado de 0,1 mm de profundidad para eliminar todo el aire que pueda quedar dentro del molde con una broca de D3 mm. Las cotas se adjuntan al final del documento.</p>	
		n [rpm]	6000			
		a [mm/min]				
		p [mm]	0,1			
		v [m/min]	56,5			



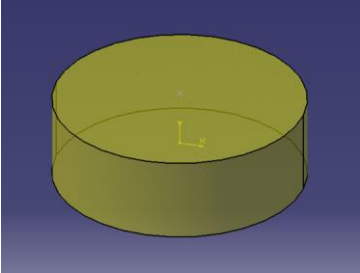
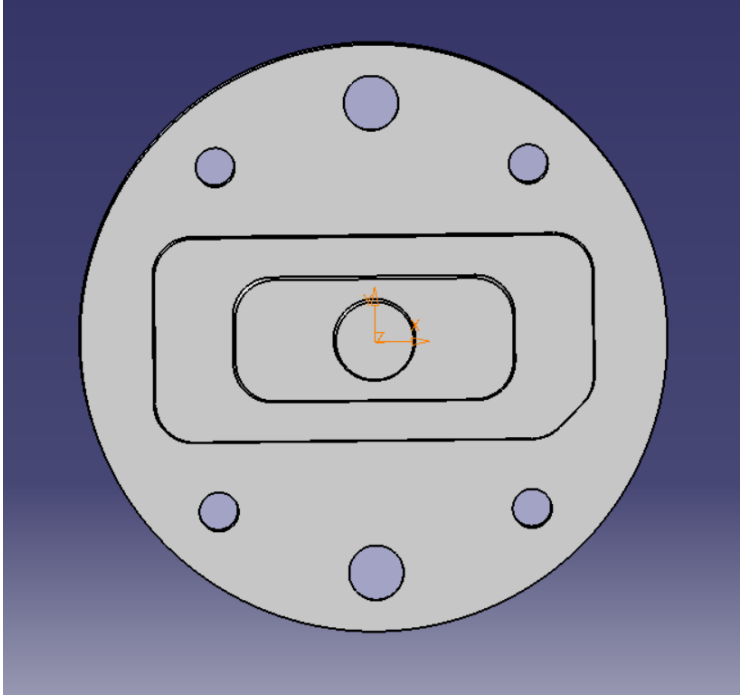
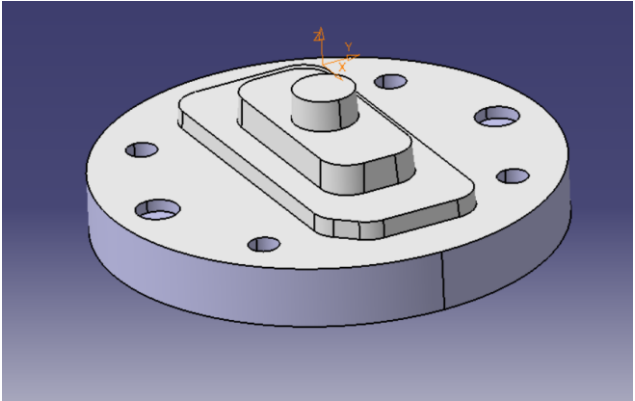




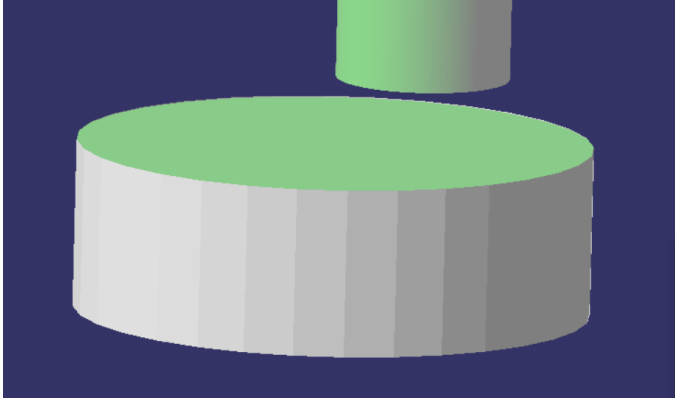
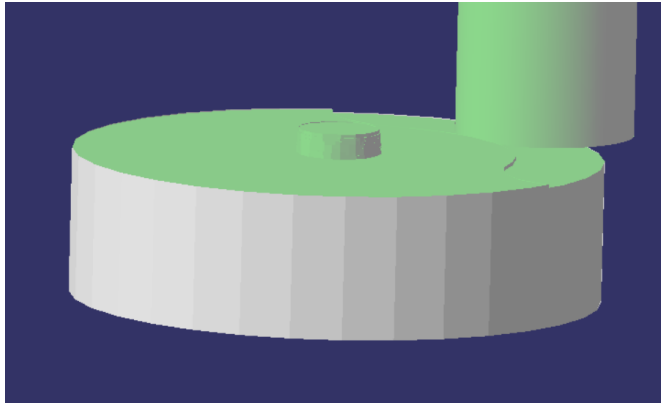
# ANEXO II: HOJA DE PROCESOS

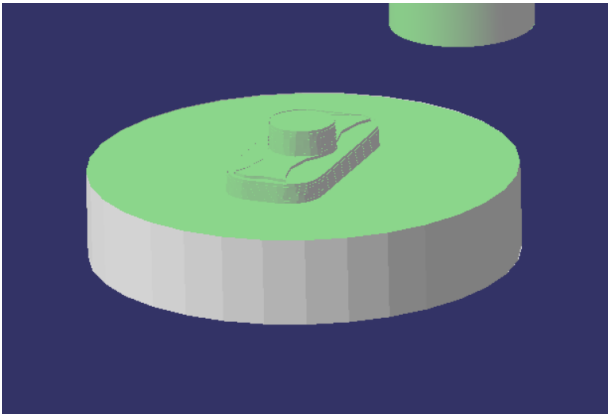
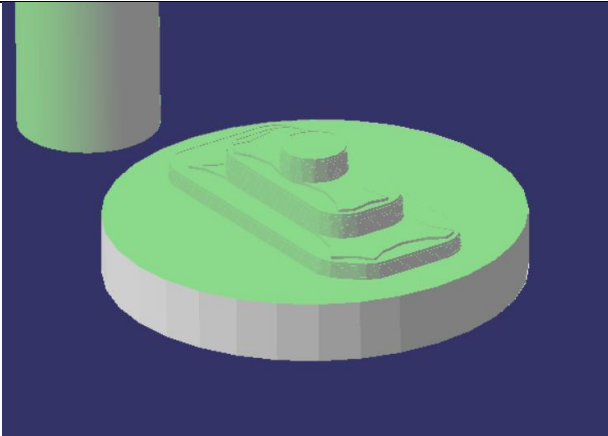
3. PUNZÓN

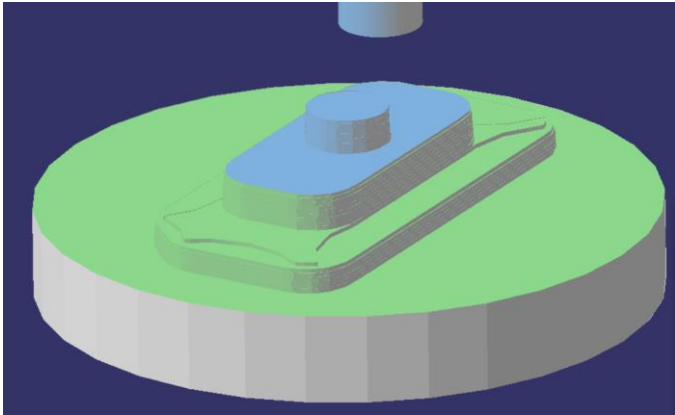
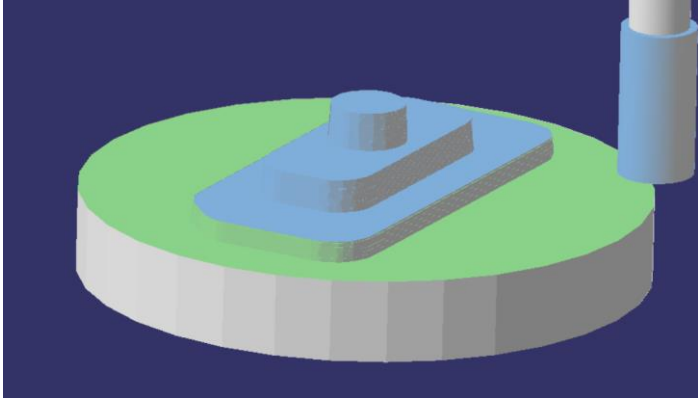
### 1. Datos de partida

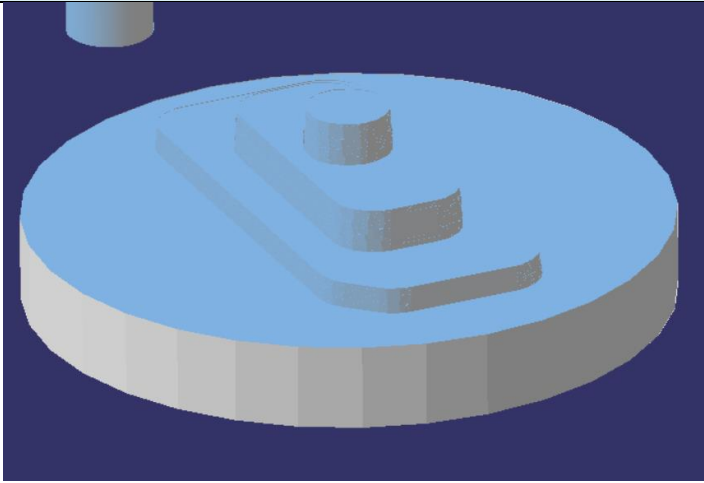
<p><b>Pieza en bruto:</b> Diámetro: 75 mm    Altura: 25 mm</p> <p><b>Material a mecanizar:</b> Aleación de aluminio AA2024</p>	<p style="text-align: center;"><b>NOTA:</b></p> <p>Las paredes mecanizadas son perfiles que tienen un desmoldeo de 3º, por tanto, hay que tener en cuenta esto a la hora de mecanizar, excepto los taladros</p>
	
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"><b>Pieza 3D</b></p> 	

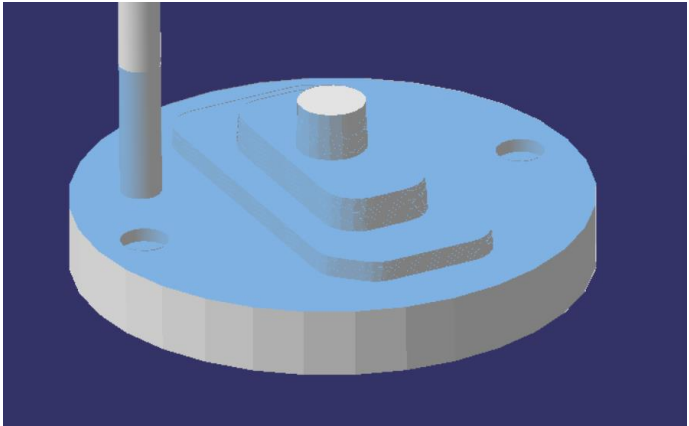
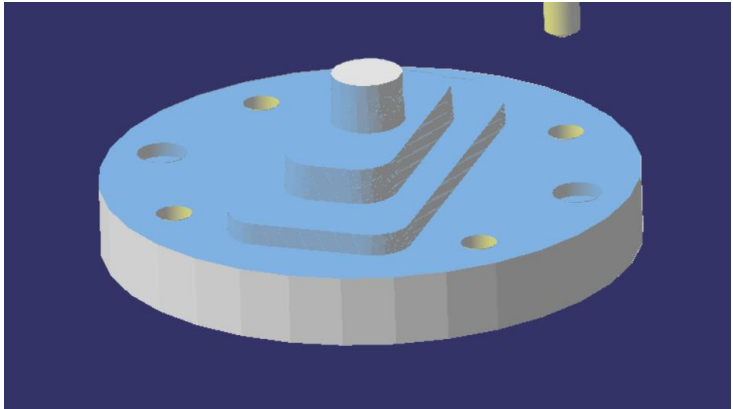
2. Hoja de Procesos

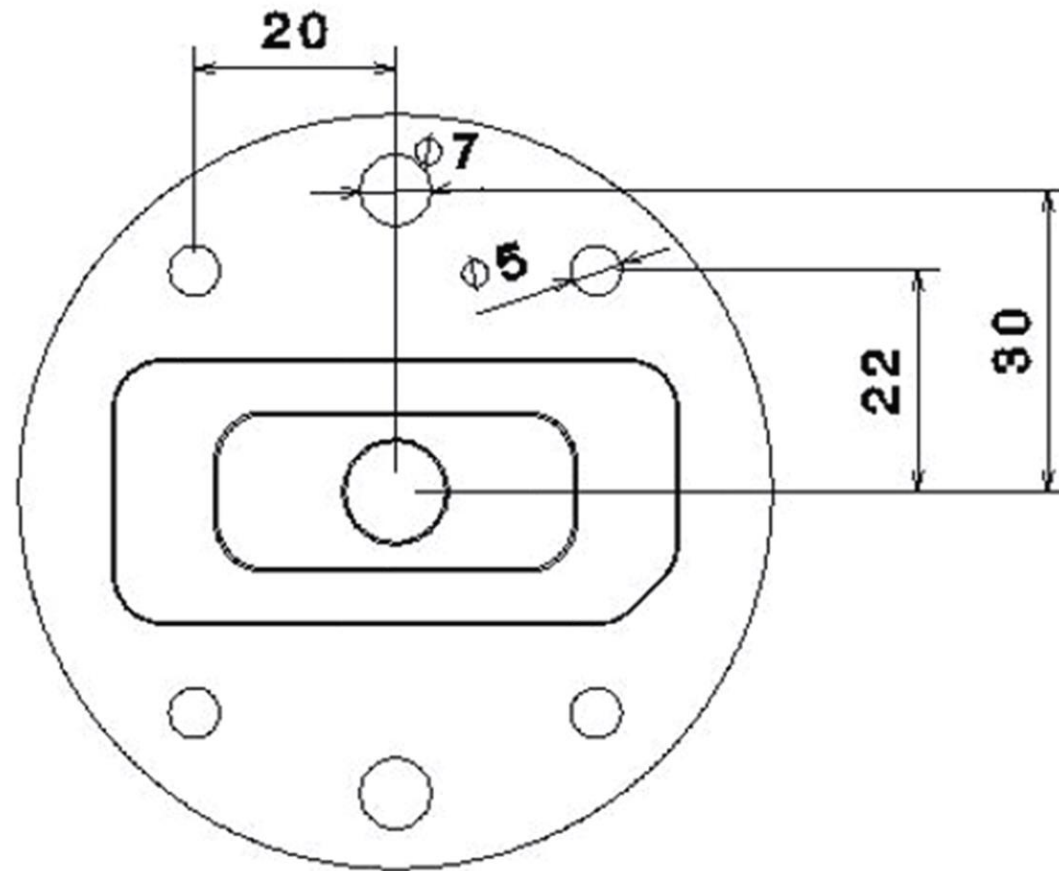
HOJA DE PROCESOS						
OP Nº	DENOMINACIÓN	Parámetros de corte		HTA	Observaciones	Croquis de pieza mecanizada
1	PLANEADO	Desbaste		Plato plano D50 mm con 5 insertos ref: 51081120	Se realiza dos planeados de 1 mm de profundidad cada uno, de fuera hacia el centro	
		n [rpm]	3450			
		$a_d$ [mm/min]				
		p [mm]	0,5			
		v [m/min]	130			
2	PERFILADO	Desbaste		Fresa entera de desbaste D12 mm ref: 54 015 12200	Se realiza un perfilado, en el que se dejará una isleta en el centro, se van realizando pasadas de 0,5 mm de profundidad, hasta mecanizar 5 mm  <b>EN TODOS LOS PERFILADOS DE DESBASTE SE DEJA UN OFFSET DE 1 MM EN LA PARED Y DE 1 MM EN LA BASE, PARA TERMINARLO EN EL ACABADO</b>	
		n [rpm]	3450			
		$a_d$ [mm/min]				
		p [mm]	0,5			
		v [m/min]	130			

HOJA DE PROCESOS						
OP Nº	DENOMINACIÓN	Parámetros de corte		HTA	Observaciones	Croquis de pieza mecanizada
3	PERFILADO	Desbaste		Fresa entera de desbaste <b>D12 mm</b> con ref: 54 015 12200	Se realiza un perfilado, en el que se dejará una nueva isleta, realizando pasadas de 0,5 mm de profundidad hasta mecanizar 5 mm  <b>EN TODOS LOS PERFILADOS DE DESBASTE SE DEJA UN OFFSET DE 1 MM EN LA PARED Y DE 1 MM EN LA BASE, PARA TERMINARLO EN EL ACABADO</b>	
		n [rpm]	3450			
		a <sub>d</sub> [mm/min]				
		p [mm]	0,5			
		v [m/min]	130			
4	PERFILADO	Desbaste		Fresa entera de desbaste <b>D12 mm</b> con ref: 54 015 12200	Se realiza un perfilado, en el que se dejará una isleta en el centro, se van realizando pasadas de 0,5 mm de profundidad, hasta mecanizar 3 mm  <b>EN TODOS LOS PERFILADOS DE DESBASTE SE DEJA UN OFFSET DE 1 MM EN LA PARED Y DE 1 MM EN LA BASE, PARA TERMINARLO EN EL ACABADO</b>	
		n [rpm]	3450			
		a [mm/min]				
		p [mm]	0,5			
		v [m/min]	130			

HOJA DE PROCESOS						
OP Nº	DENOMINACIÓN	Parámetros de corte		HTA	Observaciones	Croquis de pieza mecanizada
5	PERFILADO	Acabado		Fresa entera de acabado <b>D6 mm</b> con ref: 54 015 06200	Se realiza un perfilado de acabado con nueva herramienta, en el que se reparará la primera isleta, realizando pasadas de 0,1 mm de profundidad hasta mecanizar 6 mm  La primera isleta ya estaría con las dimensiones deseadas	
		n [rpm]	6000			
		$a_d$ [mm/min]				
		p [mm]	0,1			
		v [m/min]	113			
6	PERFILADO	Desbaste		Fresa entera de acabado <b>D6 mm</b> con ref: 54 015 06200	Se realiza un perfilado de acabado con la misma herramienta, en el que se reparará la segunda isleta, realizando pasadas de 0,1 mm de profundidad hasta mecanizar 6 mm  La segunda isleta ya estaría con las dimensiones deseadas	
		n [rpm]	6000			
		a [mm/min]				
		p [mm]	1			
		v [m/min]	113			

HOJA DE PROCESOS							
OP Nº	DENOMINACIÓN	Parámetros de corte		HTA	Observaciones	Croquis de pieza mecanizada	
7	PERFILADO	Desbaste		Fresa entera de acabado D6 mm con ref: 54 015 06200	Se realiza un perfilado de acabado con la misma herramienta, en el que se reparará la tercera isleta, realizando pasadas de 0,1 mm de profundidad hasta mecanizar 4 mm		
		n [rpm]	6000				La tercera isleta ya estaría con las dimensiones deseadas
		a <sub>d</sub> [mm/min]					
		p [mm]	0,1				
		v [m/min]	113				

HOJA DE PROCESOS						
OP Nº	DENOMINACIÓN	Parámetros de corte		HTA	Observaciones	Croquis de pieza mecanizada
8	POCKET	Acabado		Fresa entera de desbaste D6 mm con ref: 54 015 06200	Se realizan dos pocket de 2 mm de profundidad y un diámetro de 7 mm. Las cotas se adjuntan al final del documento.	
		n [rpm]	6000			
		a <sub>d</sub> [mm/min]				
		p [mm]	2			
		v [m/min]	113			
9	TALADRO	Desbaste		Fresa entera de desbaste D12 mm con ref: 54 015 12200	Se realiza 4 taladros ciegos simétricos, las cotas se adjunta al final del documento, con una broca de D5 mm.  Profundidad del taladro es de 8 mm.	
		n [rpm]	500			
		a [mm/min]				
		p [mm]	8			
		v [m/min]	11			



Front view  
Scale: 1:1

