



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**Estudio del mecanizado de un molde para  
una carcasa con Inventor CAM.**

**Autor:**

**Herrero Solache, Enrique**

**Tutor(es):**

**Delgado Urrecho, Javier  
CMIM/EGI/ICGF/IPF/IM Área de  
Ingeniería de los procesos de  
Fabricación**

**Valladolid, Julio 2024.**





## RESUMEN

Actualmente, los softwares de fabricación asistida por ordenador (CAM) son imprescindibles en los procesos de fabricación. Los proyectos mecánicos son elaborados y comprobados antes de su fabricación apoyándose en estos, dando lugar a una mejora en la precisión, la eficiencia y la calidad de los productos fabricados, al tiempo que reduce los costos y los tiempos de producción.

Este trabajo de fin de grado tiene como objetivo la realización detallada del proceso de programación utilizando Inventor CAM para mecanizar un molde de aluminio que se utilizará para la obtención en masa de carcasa para compresores. También se profundizará en el software utilizado y las decisiones tomadas en el proceso, así como sus implicaciones.

Para lograrlo, se presentará una introducción a la tecnología CAM y se abordarán las etapas previas y posteriores a la programación del fresado del molde, como la selección del material o crear un presupuesto básico.

## PALABRAS CLAVE

Inventor CAM, CNC, fresado, molde, inyección.



## ABSTRACT

Currently, Computer-Aided Manufacturing (CAM) software is indispensable in manufacturing processes. These tools are used to design and verify mechanical projects before production, leading to enhanced precision, efficiency, and quality of the manufactured products, while also reducing costs and production times.

The objective of this final degree project is to provide a detailed description of the programming process using Inventor CAM for machining an aluminium mold intended for the mass production of compressor housings. Additionally, it will delve into the software utilized and the decisions made during the process, along with their implications.

To achieve this, an introduction to CAM technology will be presented, and the stages preceding and following the mold milling programming will be addressed, including material selection and the creation of a basic budget.

## KEYWORDS

Inventor CAM, CNC, miling, mold, injection.



## ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	11
1.1	Introducción.....	11
1.2	Objetivos. ....	11
2	ESTRUCTURA DEL TRABAJO .....	13
3	DESCRIPCION GENERAL Y EVOLUCION DE FABRICACION ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAM). ....	15
4	PROCESO DE MOLDEO POR INYECCION.....	19
4.1	Introducción a los procesos de moldeo. ....	19
4.1	Proceso de moldeo por inyección. ....	20
4.1.1	Máquina de inyección.....	21
4.1.2	Ciclo de inyección.....	22
5.	SOFTWARE AUTODESK INVENTOR CAM. ....	25
5.1	Interfaz de usuario. ....	25
5.2	Proceso general de mecanizado.....	28
5.2.1	Configuración. ....	29
5.2.2	Biblioteca de herramientas. ....	30
5.2.3	Programación de estrategias de mecanizado.....	31
5.2.4	Simulación y verificación del mecanizado.....	34
5.2.5	Postprocesado.....	37
6.	MECANIZADO DE UN MOLDE DE ALUMINIO PARA MOLDEO DE CARCASAS DE COMPRESOR POR INYECCION.....	39
6.1.	Molde. ....	39
6.1.1	Material del tocho inicial. ....	39
6.1.2	Geometría molde.....	41
6.2	Configuración de una fase.....	42
6.3	Selección de herramientas.....	44
6.4	Estrategia mecanizado cavidad del molde. ....	49
6.4.1	Planeado de la cara de contacto. ....	49
6.4.2	Operaciones de desbaste.....	53
6.4.3	Operaciones de acabado.....	58
6.4.4	Acabado de redondeos.....	63
6.5	Estrategia mecanizado postizo del molde.....	71



6.5.1	Mecanizado contorno exterior.....	71
6.5.1	Mecanizado contorno interior. ....	94
6.6	Verificación del proceso y postproceso. ....	109
6.6.1.	Simulación de las operaciones. ....	109
6.6.2	Generación del código CNC.....	111
7.	PRESUPUESTO DE MECANIZADO.....	115
8.	CONCLUSIONES.....	117
8.1	Conclusiones académicas. ....	117
8.2	Conclusiones personales. ....	117
9.	BIBLIOGRAFIA. ....	119
9.1	Libros, artículos y trabajos.....	119
9.2	Bibliografía web .....	119
ANEXO.	.....	121
I.	DATOS DE LAS HERRAMIENTAS.....	121

Figura 1. Máquina de inyección.....	22
Figura 2. Ciclo de inyección.....	23
Figura 3. Interfaz de inicio de Autodesk Inventor.....	26
Figura 4. Detalle parte superior interfaz de inicio.....	26
Figura 5. Entorno de trabajo Autodesk Inventor.....	27
Figura 6. Pestaña "Boceto".....	27
Figura 7. Interfaz de Autodesk Inventor Cam.....	28
Figura 8. Configuración Cam.....	29
Figura 9. Biblioteca de herramientas.....	30
Figura 10. Introducción nueva herramienta.....	30
Figura 11. Pestaña "Herramienta" en una estrategia de mecanizado.....	31
Figura 12. Pestaña "Geometría" en una estrategia de mecanizado.....	32
Figura 13. Pestaña "Geometría" en una estrategia de mecanizado.....	33
Figura 14. Pestaña "Pasadas" en una estrategia de mecanizado.....	33
Figura 15. Pestaña "Conexión" en una estrategia de mecanizado.....	34
Figura 16. Simulación Inventor Cam.....	34
Figura 17. Reproductor de simulación.....	35
Figura 18. Línea de tiempo de la simulación.....	35
Figura 19. Ficha mostrar de simulación.....	35
Figura 20. Ficha de información de la simulación.....	36
Figura 21. Ficha de estadísticas de la simulación.....	37
Figura 22. Postprocesado.....	37
Figura 23. Cavidad del molde.....	41
Figura 24. Postizo del molde.....	42
Figura 25. Configuración cavidad.....	42
Figura 26. Pestaña "Material" en configuración.....	43
Figura 27. Clasificación de materiales en el catálogo de Izar.....	45
Figura 28. Fresa frontal desbaste extraída del catálogo de Izar.....	46
Figura 29. Pestaña "general" al introducir herramienta.....	47
Figura 30. Pestaña "cortador" al introducir herramienta.....	47
Figura 31. Pestaña "Corte y Caña" en introducción de herramienta.....	48
Figura 32. Pestaña "Avance y velocidad" en la introducción de herramienta.....	48
Figura 33. Pestaña "Herramienta" en la operación de planeado.....	49
Figura 34. Pestaña "Geometría" en la operación de planeado.....	50
Figura 35. Pestaña "Altura" en la operación de planeado.....	50
Figura 36. Pestaña "Pasadas" operación de planeado.....	51
Figura 37. Pestaña "Vinculación" operación de planeado.....	52
Figura 38. Simulación operación de planeado.....	52
Figura 39. Pestaña "Herramienta" operación de desbaste cavidad.....	53
Figura 40. Pestaña "Geometría" de operación de desbaste 1 cavidad.....	54
Figura 41. Pestaña "Alturas" operación de desbaste 1.....	54
Figura 42. Pestaña "Pasadas" en la operación de desbaste 1.....	55
Figura 43. Pestaña "Vinculación" operación de desbaste 1.....	55



Figura 44. Final simulación operación desbaste 1. ....	56
Figura 45. Pestaña "Geometría" operación desbaste 2. ....	56
Figura 46. Pestaña "Vinculación" operación desbaste 2. ....	57
Figura 47. Final simulación de las operaciones de desbaste cavidad. ....	57
Figura 48. Pestaña "Herramienta" operación acabado cavidad. ....	58
Figura 49. Pestaña "Geometría" acabado 1 cavidad. ....	59
Figura 50. Pestaña "Alturas" acabado 1 cavidad. ....	60
Figura 51. Pestaña "Pasadas" acabado 1 cavidad. ....	60
Figura 52. Pestaña "Vinculación" acabado 1 cavidad. ....	61
Figura 53. Simulación acabado 1 cavidad. ....	61
Figura 54. Pestaña "Geometría" acabado 2 cavidad. ....	62
Figura 55. Pestaña "Vinculación" acabado 2 cavidad. ....	63
Figura 56. Simulación acabados cavidad. ....	63
Figura 57. Pestaña "Herramienta" redondeo R5 mm. ....	64
Figura 58. Pestaña "Geometría" redondeo R5 mm. ....	65
Figura 59. Pestaña "Alturas" redondeo R5 mm. ....	65
Figura 60. Pestaña "Pasadas" redondeo R5 mm. ....	66
Figura 61. Simulación redondeo R5 mm. ....	66
Figura 62. Pestaña "Herramienta" redondeos R3mm. ....	67
Figura 63. Pestaña "geometría" 1º redondeo R3 mm. ....	68
Figura 64. Pestaña "Alturas" 1º redondeo R3mm. ....	68
Figura 65. Pestaña "Geometría" 2º redondeo R3 mm. ....	69
Figura 66. Pestaña "Alturas" 2º redondeo R3 mm. ....	69
Figura 67. Pestaña "Pasadas" redondeos R3 mm. ....	70
Figura 68. Simulación final cavidad. ....	70
Figura 69. Pestaña "Geometría" planeado postizo. ....	71
Figura 70. Pestaña "Alturas" planeado postizo. ....	72
Figura 71. Pestaña "Pasadas" planeado postizo. ....	73
Figura 72. Pestaña "Herramienta" desbastes. ....	74
Figura 73. Pestaña "Geometría" 1º desbaste. ....	74
Figura 74. Pestaña "Alturas" 1º desbaste. ....	75
Figura 75. Pestaña "Pasadas" 1º desbaste. ....	75
Figura 76. Pestaña "Vinculación" desbaste contorno exterior. ....	76
Figura 77. Pestaña "Geometría" 2º desbaste. ....	76
Figura 78. Pestaña "Alturas" 2º desbaste. ....	77
Figura 79. Pestaña "Geometría" 3er desbaste. ....	77
Figura 80. Pestaña "Alturas" 3er desbaste. ....	78
Figura 81. Simulación desbaste contorno exterior. ....	79
Figura 82. Pestaña "Herramienta" acabado 1. ....	80
Figura 83. Pestaña "Geometría" acabado 1. ....	80
Figura 84. Pestaña "Pasadas" acabado 1. ....	81
Figura 85. Pestaña "Vinculación" acabado 1. ....	81
Figura 86. Pestaña "Geometría" acabado 2. ....	82





Figura 87. Pestaña "Pasadas" acabado 2.....	82
Figura 88. Pestaña "Geometría" acabado 3. ....	83
Figura 89. Pestaña "Alturas" acabado 3. ....	84
Figura 90. Pestaña "Pasadas" acabado 3.....	84
Figura 91. Pestaña "Herramienta" acabado 4.....	85
Figura 92. Pestaña "Geometría" acabado 4. ....	85
Figura 93. Pestaña "Alturas" acabado 4. ....	86
Figura 94. Pestaña "Pasadas" acabado 4.....	86
Figura 95. Pestaña " Vinculación" acabado 4.....	87
Figura 96. Pestaña "Geometría" acabado 5. ....	87
Figura 97. Pestaña "Alturas" acabado 5. ....	88
Figura 98. Pestaña " Pasadas" acabado 5" .....	88
Figura 99. Pestaña "Herramienta" acabado 6.....	89
Figura 100. Pestaña " Geometría" acabado 6.....	89
Figura 101. Pestaña "Alturas" acabado 6.....	90
Figura 102. Pestaña " Pasadas" acabado 6. ....	90
Figura 103. Pestaña "Geometría" acabado 7.....	91
Figura 104. Pestaña "Herramienta" redondeos R0,75 mm. ....	92
Figura 105. Pestaña "Geometría" redondeo R0,75 mm.....	92
Figura 106. Pestaña "Geometría" redondeo R0,75mm.....	92
Figura 107. Pestaña "Alturas" redondeos R0,75 mm.....	93
Figura 108. Pestaña "Pasadas" redondeos R0,75 mm .....	93
Figura 109. Simulación final contorno exterior. ....	94
Figura 110. Pestaña "Herramienta" desbaste contorno interior.....	95
Figura 111. Pestaña "Geometría" desbaste contorno interior. ....	95
Figura 112. Pestaña "Alturas" desbaste contorno interior. ....	96
Figura 113. Pestaña "Pasadas" desbaste contorno interior. ....	96
Figura 114. Simulación desbaste contorno interior.....	97
Figura 115. Pestaña "Geometría" acabado 2.1.....	98
Figura 116. Pestaña "Alturas" acabado 2.1 .....	99
Figura 117. Pestaña "Herramienta" acabado 2.2. ....	100
Figura 118. Pestaña "Pasadas" acabado 2.2.....	100
Figura 119. Pestaña "Herramienta" acabado 2.3.....	101
Figura 120. Pestaña "Geometría" acabado 2.3.....	101
Figura 121. Pestaña "Pasadas" acabado 2.3.....	102
Figura 122. Pestaña "Vinculación" acabado 2.2.....	102
Figura 123. Pestaña "Herramienta" acabado 2.4 y 2.5.....	103
Figura 124. Pestaña "Geometría" acabado 2.4.....	103
Figura 125. Pestaña "Geometría" acabado 2.5.....	104
Figura 126. Pestaña "Pasadas" acabados 2.4 y 2.5.....	104
Figura 127. Pestaña "Vinculación" acabados 2.4 y 2.5.....	105
Figura 128. Pestaña "Herramienta" redondeo R2,5 mm. ....	105
Figura 129. Pestaña "Geometría" redondeo R2,5 mm.....	106



Figura 130. Pestaña "Alturas" redondeo R2,5 mm.....	106
Figura 131. Pestaña "Pasadas" redondeo R2,5 mm. ....	107
Figura 132. Pestaña "Geometría" redondeo R0,75 mm.....	107
Figura 133. Pestaña " Alturas" redondeo R0,75 mm.....	108
Figura 134. Pestaña "Pasadas" redondeo R0,75 mm.....	108
Figura 135.Simulacion final postizo.....	109
Figura 136. Estadísticas simulación, cavidad(izq.) y postizo(dcha.).....	110
Figura 137. Comparación de la simulación de la cavidad con pieza 3D de referencia. ....	110
Figura 138.Comparación de la simulación del postizo con pieza 3D de referencia. ....	111
Figura 139. Ventana "Post procesar" .....	112
Figura 140. Extracto de código CNC generado. ....	113
Figura 141. Portaherramientas de la fresa planeadora .....	121
Figura 142. Plaquitas fresa planeadora. ....	122
Figura 143. Fresa frontal desbaste 16 mm.....	123
Figura 144. Fresa frontal acabado 14 mm.....	124
Figura 145. Fresa de bola de 10 mm.....	125
Figura 146. Fresa de bola 6 mm. ....	126
Figura 147. Fresa frontal desbaste de 16 mm.....	127
Figura 148. Fresa frontal acabado de 10 mm .....	128
Figura 149. Fresa frontal acabado de 4 mm.....	129
Figura 150. Fresa frontal desbaste de 6 mm.....	130
Figura 151. Fresa metal duro uso general de 1,5 mm.....	131
Figura 152. Fresa frontal acabado de 2,5 mm .....	132
Figura 153. Fresa aluminio pulido espejo de 3 mm .....	133
Figura 154. Fresa aluminio pulido de 2 mm.....	134
Figura 155. Fresa de bola de 5 mm .....	135
Figura 156. Fresa de bola de 1,5 mm.....	136



# 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.

## 1.1 Introducción.

En la industria actual, el software de fabricación asistida por ordenador también por las siglas en inglés CAM (computer-aided manufacturing) es crucial en los procesos de producción modernos. Estos programas permiten desarrollar y evaluar proyectos mecánicos antes de su fabricación, mejorando notablemente la precisión, eficiencia y calidad de los productos, a la vez que se reducen costos y tiempos de producción. Este Trabajo de Fin de Grado (TFG) busca explicar en detalle el proceso de programación usando Inventor CAM para mecanizar un molde de aluminio destinado a la producción en serie de carcasas para compresores.

Para lograr este propósito, se ofrece una introducción a la tecnología CAM y se examinan las fases previas y posteriores a la programación del fresado del molde, incluyendo la elección del material y la elaboración de un presupuesto básico. Además, se profundiza en el manejo del software Inventor CAM y las elecciones realizadas durante el proceso, examinando sus consecuencias y resultados.

## 1.2 Objetivos.

El objetivo principal consiste en realizar una estrategia de mecanizado óptimo para un molde de aluminio en dos partes (cavidad y postizo) empleado en la producción de carcasas por inyección de plástico utilizando una fresadora de 3 ejes. Así como, un presupuesto de taller del coste aproximado, desde un punto de vista académico.

Para ello, se hace uso de Autodesk Inventor CAM, que es el software habitual en la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid, y que ha sido empleado en asignaturas previas del área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación. Analizando sus funciones, configuraciones y su interfaz de trabajo .

En el proceso se tratará la selección de las herramientas y estrategias de mecanizado más adecuadas optimizando recursos y tiempo de fabricación.



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**



## 2 ESTRUCTURA DEL TRABAJO

La estructura de este trabajo constara de 5 capítulos principales adicionales a la introducción previamente desarrollada, además del actual apartado de objetivos y añadiendo la bibliografía consultada y un anexo.

El primer capítulo describe el desarrollo de la tecnología CAM desde su aparición y la importancia que ha adquirido este tipo de software en la actualidad en la industria.

El segundo capítulo se centra en el proceso de moldeo para el cual ha sido diseñado el molde, moldeo por inyección.

En la tercera parte desarrollaremos una introducción básica y una visión general del programa Cam utilizado en el desarrollo de este trabajo, el mencionado Autodesk Inventor Cam.

En el cuarto, parte principal del trabajo, se desarrollarán los pasos seguidos desde la recepción de los modelos 3D de la pieza a mecanizar, pasando por la creación de una fase, la selección de herramientas y operaciones de mecanizado, y esclareciendo aspectos interesantes y sus consecuencias derivadas. Ultimando el capítulo se verificará el proceso y el resultado mediante la generación del código CNC y un presupuesto adscrito al trabajo realizado.

Para finalizar se relatarán unas conclusiones tanto académicas como personales obtenidos durante la realización del presente trabajo de fin de grado.



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

### 3 DESCRIPCION GENERAL Y EVOLUCION DE FABRICACION ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAM).

La fabricación asistida por ordenador, estrechamente relacionado con CAD (Computer-Aided Design) significando diseño asistido por ordenador. (Ferré Masip, R. (2009). *Fabricación asistida por computador-CAM* (1ª ed.). Marcombo.)

La tecnología CAM combina el diseño asistido por computadora (CAD) con el lenguaje de programación de herramientas y máquinas con una intervención mínima del operario. Se suele usar en combinación al permitir la transferencia de información entre la etapa de diseño y a la etapa de fabricación de un producto sin necesidad de capturar manualmente los datos geométricos de la pieza. El CAM procesa la base de datos creada en CAD.

A continuación, se repasará brevemente la historia de la fabricación asistida por ordenador.

La historia está ligada al desarrollo de la tecnología informática y su integración en los procesos industriales. El concepto de CAM se introdujo por primera vez en la década de 1950, tras el desarrollo de máquinas de control numérico (CN) que utilizaban cinta perforada para controlar las operaciones de la máquina.

A medida que avanza la tecnología informática, estas máquinas CN son reemplazadas por máquinas de control numérico (CNC), que utilizan programación informática para controlar las máquinas herramienta. Esto marcó el comienzo de la era CAM, que desde entonces ha crecido hasta convertirse en una parte integral del proceso de fabricación moderno.

Detrás del desarrollo inicial de CAM estaba la necesidad de aumentar la precisión y eficiencia de los procesos de fabricación. La introducción de las máquinas NC fue un paso importante para lograr este objetivo, porque permitió automatizar el trabajo de las máquinas herramienta.

Sin embargo, usar cinta perforada para controlar estas máquinas fue un inconveniente y un error. Esto llevó al desarrollo de máquinas CNC que utilizaban programación informática para controlar las máquinas herramienta.

Este fue un avance significativo en la industria CAM, ya que permitió una mayor precisión y eficiencia en los procesos de fabricación.

La era moderna comenzó con el desarrollo del diseño integrado asistido por computadora (CAD) y sistemas CAM. Estos sistemas permitieron la integración perfecta de los procesos de diseño y fabricación, mejorando enormemente la eficiencia y precisión de las operaciones de producción.

Hoy en día, los sistemas CAM se utilizan en muchas industrias diferentes, como la automoción, la aeroespacial y la electrónica. Son una parte integral de la producción de piezas y componentes complejos y desempeñan un papel importante para garantizar la calidad y precisión de los productos fabricados.

Como toda tecnología, tiene una serie de características ventajosas e inconvenientes que expondremos a continuación.

Ventajas:

- Precisión y repetibilidad. Permite producir piezas con alta precisión y consistencia, reduciendo el margen de error en comparación con los métodos manuales. Las máquinas CNC pueden reproducir el mismo diseño varias veces sin cambios
- Eficiencia: Las herramientas CAM mejoran la eficiencia del proceso productivo al optimizar el uso de materiales, el tiempo de fabricación e influir preventivamente en la etapa de diseño para validar diseños antes de su puesta en producción. Los cambios de herramientas de alta velocidad pueden reducir los tiempos de ciclo significativamente.
- Facilidad en la realización de cambios. Accedes a la realización de cambios y personalización de los diseños en función de las necesidades del cliente.
- Reducción de Costos a Largo Plazo. La eficiencia y precisión logradas pueden reducir costos operativos a largo plazo, minimizando el desperdicio de material y optimizando el uso de recursos.
- Colaboración y comunicación eficientes: los diferentes equipos involucrados en el proceso de diseño y producción pueden trabajar juntos y comunicarse eficientemente gracias a la tecnología CAD/CAM. Los diseños se pueden compartir y discutir en tiempo real, lo que facilita la colaboración remota y la toma de decisiones.





Inconvenientes:

- Alta inversión inicial. Los sistemas y máquinas CAM requieren una inversión inicial significativa, adicionando las licencias necesarias de software CAM y CAD (necesario para la etapa de diseño).
- Complejidad en la implementación: Integrar sistemas CAM en un entorno de fabricación existente puede ser difícil y requerir una reorganización significativa del flujo de trabajo y la capacitación del personal.
- Desafíos de mantenimiento: las máquinas CNC y el software CAM requieren un mantenimiento regular y su reparación puede ser costosa. Además, la tecnología se desarrolla rápidamente, lo que puede hacer que los dispositivos se vuelvan obsoletos.



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

## 4 PROCESO DE MOLDEO POR INYECCION.

En el presente apartado se introducirá los aspectos importantes del proceso de moldeo de plásticos, haciéndose énfasis en el proceso de moldeo por inyección al ser el designado para el molde tratado en este trabajo de fin de grado.

### 4.1 Introducción a los procesos de moldeo.

Los diferentes tipos de moldeo que existentes se adaptan a variadas necesidades presentes en las industrias, cada cual con sus características diferenciadoras y beneficios. A continuación, se presenta y describe brevemente los más comunes (Morton-Jones, D. H. (2003). *Procesamiento de plásticos: inyección, moldeo, hule, PVC*. Limusa):

- Moldeo por soplado. Es el proceso mediante el cual se producen piezas de plástico huecas y paredes finas. Este método de moldeo suele ser beneficioso cuando la forma del producto es importante y se necesita un grosor de pared uniforme. Consiste en calentar el plástico y agregar aire hasta que se expanda, luego llenar el molde y dar la forma deseada. Luego, el molde se enfría y endurece, después de lo cual la máquina retira la pieza. Es un proceso rápido, lo que permite tener un volumen alto de piezas diario.
- Moldeo por extrusión. Los objetos de plástico largos y cilíndricos se producen mediante el moldeo por extrusión. Este método se diferencia porque crea un producto utilizando una matriz en lugar de un molde. El proceso implica exprimir el plástico crudo caliente a través de una matriz diseñada para dar la forma que se desea. Un tornillo en la máquina de extrusión alimenta la resina plástica al alimentador y se crea una forma alargada y consistente al pasar por la matriz.
- Termo-conformado. El termoformado es un proceso de fabricación que se utiliza para crear una variedad de productos, como envases de alimentos, vasos desechables y envases tipo blíster, calentando una lámina de material plástico hasta que se vuelve flexible y luego dándole forma sobre un molde usando presión de vacío o presión de aire.
- Moldeo por compresión. Es un método para crear piezas que implica introducir un polímero, en polvo o masilla, en un molde abierto y

caliente y luego aplicar presión para que el material tome la forma del molde y cure con el calor.

- Moldeo Rotacional. Utilizado para fabricar componentes grandes y huecos. El material en polvo se coloca en un molde que se calienta y se rota en varios ejes para que se distribuya uniformemente y tome la forma del molde a medida que se solidifica.

## 4.1 Proceso de moldeo por inyección.

En el actual apartado nos centraremos en el moldeo por inyección al ser el proceso para el cual el molde a mecanizar tiene su finalidad industrial, siendo este la realización de carcasas de compresor. El moldeo por inyección de plástico es el proceso más utilizado para crear piezas de polímeros termoestables debido a su amplia gama de formas posibles, la rapidez de fabricación, la facilidad de prototipar, la capacidad de obtener productos acabados directamente del molde y la precisión con la que se trabaja. (Hernández Castellano, P. M., Taboada Pirotte, S., & Suárez García, L. A. (2015). *Desarrollo de un producto en material plástico por inyección (I)* (ed.). Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica)

Seguidamente se dará un conciso reconocimiento de los antecedentes históricos del anteriormente mencionado proceso.

En 1872 John Hyatt presentó la primera patente para una máquina de moldeo por inyección que constaba de un pistón que contenía un derivado de celulosa fundido en una cámara. Sin embargo, la empresa alemana Cellon-Werkw es considerada la pionera en máquinas de moldeo por inyección modernas. La empresa presentó una patente que describe la nitrocelulosa en 1928. En 1932 se presentó la primera máquina para inyección operada con sistemas eléctricos, habido sido desarrollada por la compañía Eckert & Ziegler. Años después, en Estados Unidos en la década de los 50, se desarrolló la primera máquina de inyección con un husillo, siendo esta una de las aportaciones más importantes en su historia. Después las mejoras se han enfocado en el diseño, flujo del polímero, uso de software CAD, robots para la extracción de piezas, inyección asistida por computadora y control de calidad del producto.

Seguido de los antecedentes históricos se confecciona una lista de características tanto positivas como negativas propias del este proceso. Entre

las ventajas más destacadas que ofrece para la fabricación de piezas sobre otros métodos destacan:

- Precisión. Ideal para producir piezas con geometrías complejas e intrincadas. En comparación con otros métodos, el moldeo por inyección permite conseguir unas tolerancias extremadamente pequeñas.
- Eficiencia en la producción. Permite la fabricación de grandes volúmenes de manera rápida y continua reduciendo los costes unitarios.
- Acabados superficiales. Permite crear piezas con diversos excelentes acabados especiales. Además, las piezas pueden grabarse con texto o logotipos.
- Mínimos residuos de plástico. Produce muy pocos residuos y los sobrantes pueden ser reutilizados.

Por otra parte, La inyección de plásticos también refleja una serie de desventajas:

- Alto coste inicial. Requiere una elevada inversión en equipos y moldes, que pueden no ser rentables para volúmenes bajos de producción.
- Tiempo inicial de preparación. Hay que emplear un extenso tiempo en el diseño y fabricación del molde, ya en gran medida la calidad de la pieza dependerá de la calidad de este.
- Poca flexibilidad en cambios. Cambiar el diseño o el material del producto puede requerir ajustes significativos en el proceso y en el molde.

#### 4.1.1 Máquina de inyección

Próximamente se describirá las partes fundamentales de las máquinas utilizadas para la inyección.

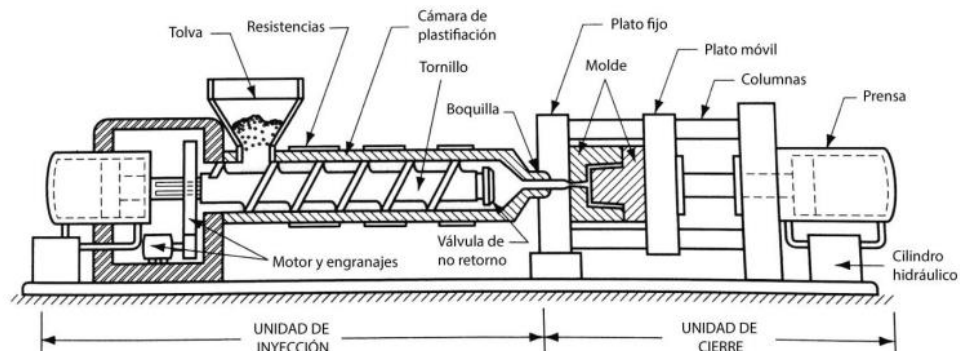


Figura 1. Máquina de inyección.

- **Tolva de alimentación.** Deposito donde se almacena el material plástico a la espera de su introducción en la unidad de inyección, asegurando un flujo constante y controlado del material hacia el husillo.
- **Unidad de inyección.** Se encarga de la fusión del material y de inyectarlo en el molde. Esta unidad consiste en un husillo que gira dentro de un cilindro calentado, fundiendo y mezclando uniformemente el plástico a medida que avanza hacia la boquilla inyectora. Las resistencias complementan al husillo proporcionando el calor adicional necesario.
- **Unidad de cierre.** Consiste en un plato móvil y uno fijo que sujetan el molde de forma segura durante la inyección. Incluye también los mecanismos de apertura y cierre del molde.
- **Molde.** Es el componente que da forma a la pieza según el diseño deseado. Está compuesto por dos mitades, cavidad y postizo, que se ajustan y se mantienen cerradas durante la inyección.

#### 4.1.2 Ciclo de inyección.

El moldeo de plástico por inyección sigue un orden determinado y cíclico. Este orden, se puede dividir en las siguientes etapas:

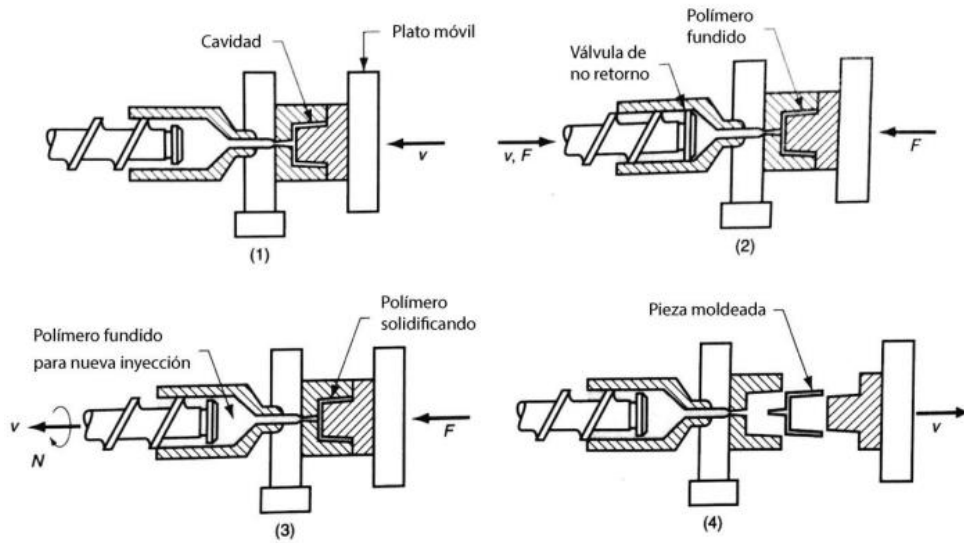


Figura 2. Ciclo de inyección.

1. **Cierre del molde.** Con el cierre inicia el ciclo, preparando el molde para la inyección del material fundido.
2. **Inyección.** Se divide en dos fases: llenado y mantenimiento. Durante la fase de llenado el husillo inyector inyecta el material fundido al molde mediante la boquilla, dando lugar a la fase de mantenimiento, que consiste en sostener la presión para conseguir que la pieza consiga las dimensiones deseadas.
3. **Enfriamiento.** El tornillo puede retroceder una vez que se ha solidificado el punto de inyección de cavidades. El proceso de enfriamiento consta de dos fases: el tiempo de carga o dosificación, durante el cual el tornillo extrae más material de la tolva para prepararlo; y el tiempo adicional, también conocido como tiempo de seguridad, durante el cual se asegura de que el material esté lo suficientemente solidificado para abrir el molde.
4. **Expulsión.** Apertura del molde y salida de la pieza mediante acción mecánica o aire comprimido.



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**





## 5. SOFTWARE AUTODESK INVENTOR CAM.

Inventor CAM es una solución de fabricación asistida por ordenador (CAM) integrada dentro del software Autodesk Inventor. Diseñado para optimizar y automatizar el proceso de fabricación, que permite a los ingenieros y diseñadores transformar sus modelos 3D en instrucciones precisas para máquinas CNC (Control Numérico Computarizado).

Las operaciones disponibles en el mencionado software abarcan la mayoría de las necesidades industriales:

- - Taladrado
- - Fresado en 2.5 ejes
- - Fresado en 3 ejes
- - Fresado en 5 ejes simultáneos y en 3+2 ejes
- - Torneado
- - Corte bidimensional por chorro de agua, corte laser y por plasma

### 5.1 Interfaz de usuario.

Procederemos a describir el entorno del programa Autodesk Inventor, en el cual está integrado el módulo Cam necesario para la realización de este trabajo de fin de grado, mencionando las funciones principales y habitualmente utilizadas durante su uso.

Comenzaremos por el inicio del programa lo que nos lleva a lo ilustrado por la figura 3 cuya finalidad es crear archivos, abrir archivos y cambiar entre proyectos.

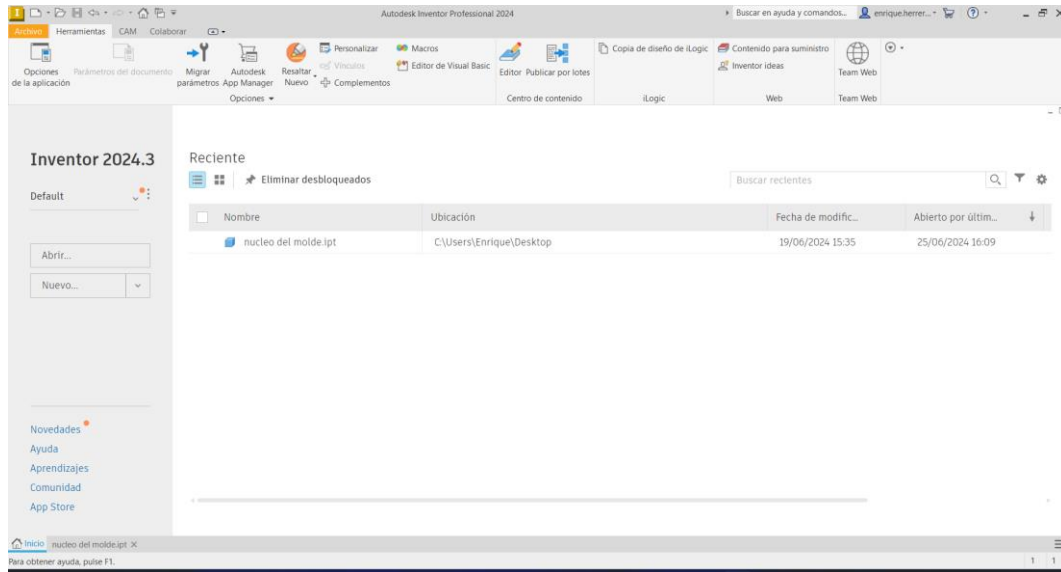


Figura 3. Interfaz de inicio de Autodesk Inventor.

En la sección izquierda central encontramos las opciones de abrir un archivo preexistente, de diversos tipos de archivo además del propio de inventor como STP, o uno nuevo para lo cual existe un desplegable donde nos da la opción de default, referencia para diseño mecánico, o de un proyecto eléctrico. La central está reservada para los archivos recientemente abiertos como atajos para optimizar el tiempo de apertura de archivos existentes y frecuentes.

En la parte superior están fijadas las siguientes opciones:

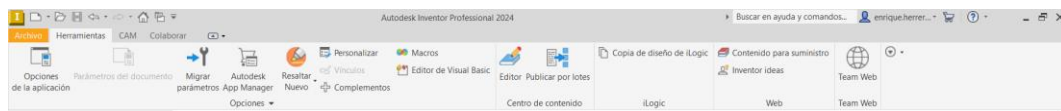


Figura 4. Detalle parte superior interfaz de inicio.

- Herramientas: se accede a las de opciones y configuraciones de Inventor.
- Cam: Reaparece las opciones de abrir y crear nuevos archivos, adición de opciones propias del cam como acceso opciones específicas y la biblioteca de herramientas utilizadas y además de apartados de ayuda y de comunidad.
- Colaborar: Dispone de las funciones necesarias para trabajar con otros usuarios conjuntamente.

Una vez nos encontramos trabajo en un proyecto ya sea de nueva creación o realizado anteriormente nos encontramos con opciones tanto de diseño mecánico (CAD) y de fabricación por ordenador (CAM) con lo que podemos ver en la Figura 5:

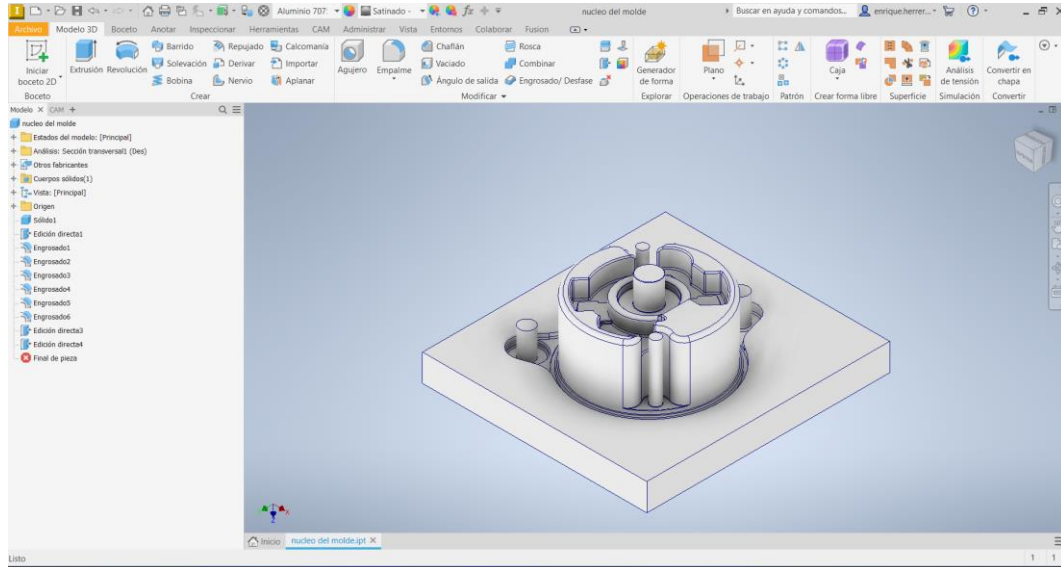


Figura 5. Entorno de trabajo Autodesk Inventor.

En la parte lateral de la anterior figura se el árbol de navegación de operaciones, donde están reflejadas las operaciones y modificaciones realizadas. En cambio, en la superior encontramos una cinta de opciones en la que esta seleccionada “Modelo 3D”, bajo están agrupadas todas las diferentes operaciones que se pueden aplicar sobre un boceto 2D, concentrados en el panel “Crear”, y sobre cuerpos 3D preexistentes bajo el panel “Modificar”.



Figura 6. Pestaña "Boceto".

Se puede apreciar en la Figura 6 las diferentes opciones de diseño de geometría para la creación de bocetos.

No obstante, el módulo usado en cuestión para la realización de este trabajo de fin de grado es “CAM”:

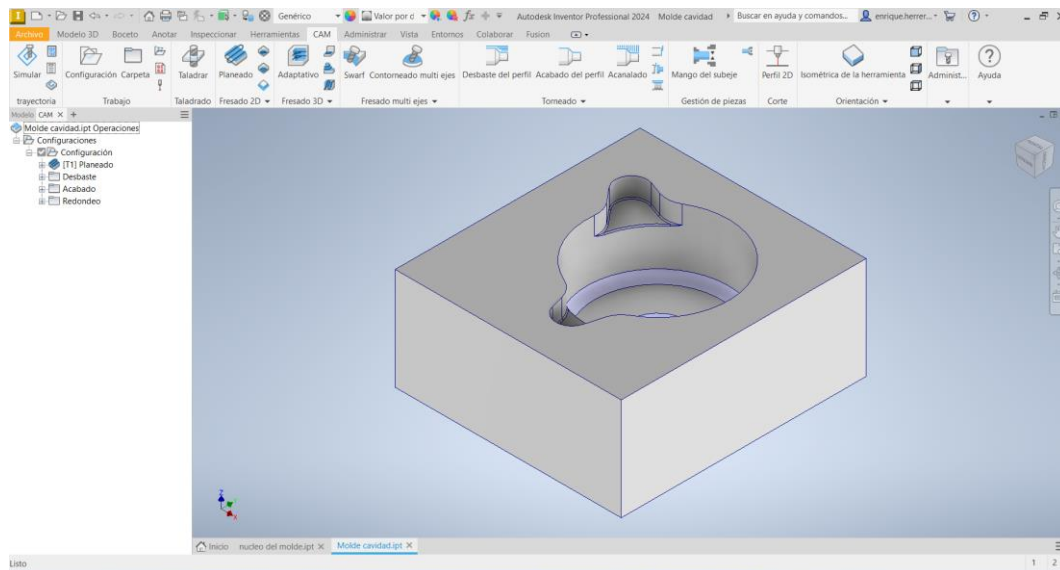


Figura 7. Interfaz de Autodesk Inventor Cam

En el presente modulo se encuentran las opciones, operaciones y menús utilizados para el mecanizado del molde para obtención de una carcasa de compresor.

En la parte lateral se observa el árbol de operaciones, que indica las operaciones y su orden. En la superior aparecen las diversas operaciones disponibles además de otras opciones que serán mencionadas más extensamente en apartados posteriores.

## 5.2 Proceso general de mecanizado.

A continuación, presentaremos los procesos generales para la realización de cualquier mecanizado:

1. Crear una configuración. Se define el origen de coordenadas, la orientación de la pieza y las dimensiones del material de partida, así como el tipo de operación a realizar (torneado, fresado..., etc.)
2. Bibliotecas de herramientas. Seleccionar o introducir las herramientas de corte necesarias y ajustar sus parámetros.
3. Operaciones. Se eligen las operaciones adecuadas y sus parámetros, así como las herramientas a utilizar y sus datos de corte.

4. Simular las operaciones y verificar errores y colisiones y rectificarlos variando los diferentes parámetros de las operaciones.
5. Postprocesado. Generar el código CNC en el formato adecuado.

### 5.2.1 Configuración.

Accediendo mediante el icono de configuración dentro del apartado de trabajo, visible en la parte superior izquierda en la Figura 7. Nos encontramos con tres menús diferentes.

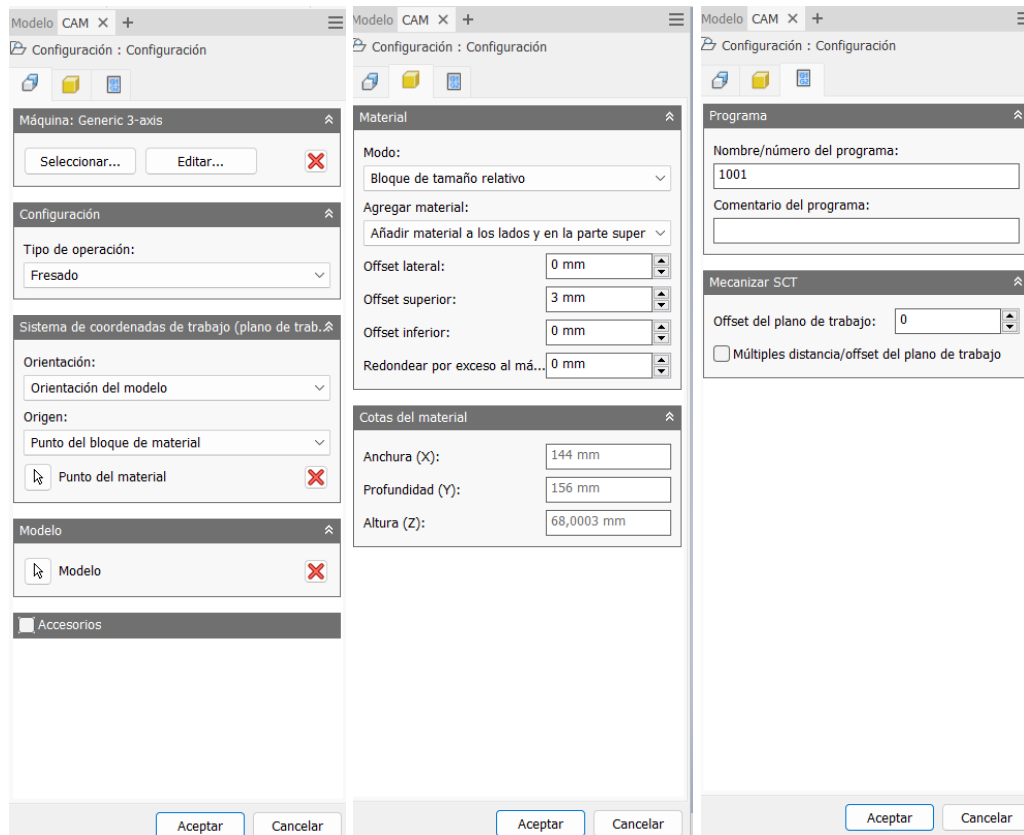


Figura 8. Configuración Cam.

- Configuración: Se elige la máquina que se va a utilizar, así como el tipo de operación. Además, se establece la orientación del modelo y el sistema de coordenadas del trabajo.
- Material: se introduce las dimensiones del material de partida, pudiendo elegir si se introducen los valores fijos o relativos al modelo importado.
- Programa: se especifica la información del programa CN.

### 5.2.2 Biblioteca de herramientas.

Accediendo a esta ventana desde el desplegable de administrar y biblioteca de herramientas.

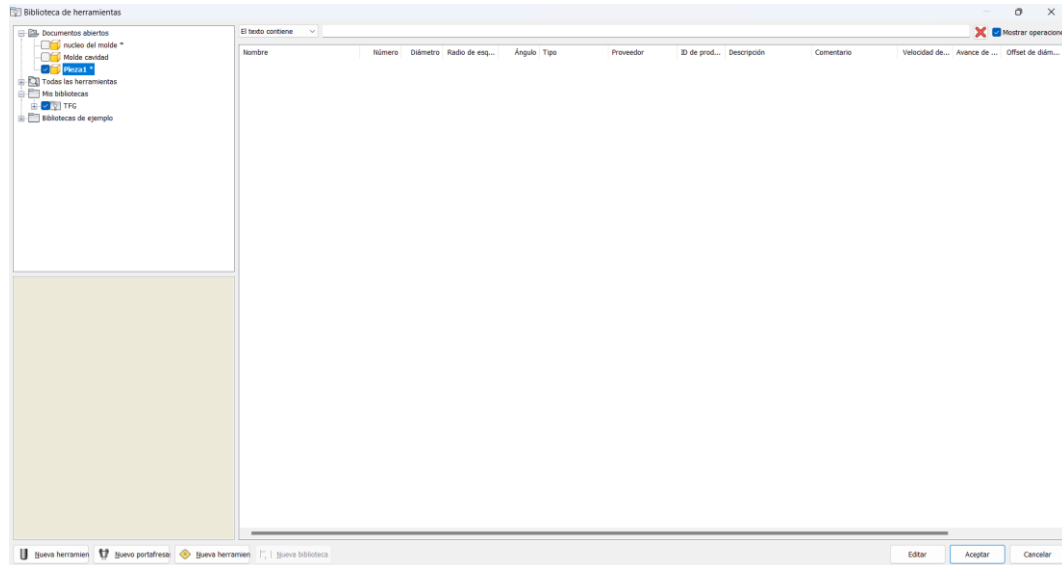


Figura 9. Biblioteca de herramientas.

Una forma recomendable de trabajar es la creación de una biblioteca propia para añadir las herramientas, seleccionando en el índice lateral “Mis bibliotecas” se habilita la opción de nueva biblioteca. En el caso de no realizar este paso inventor nos creara un apartado donde nos agrupara las herramientas que introduzcamos por documento abierto (como se puede ver en la esquina superior).

Una vez realizado en paso anterior procedemos a la introducción de una nueva herramienta. Siendo la primera ventana presentada en la Figura 10:

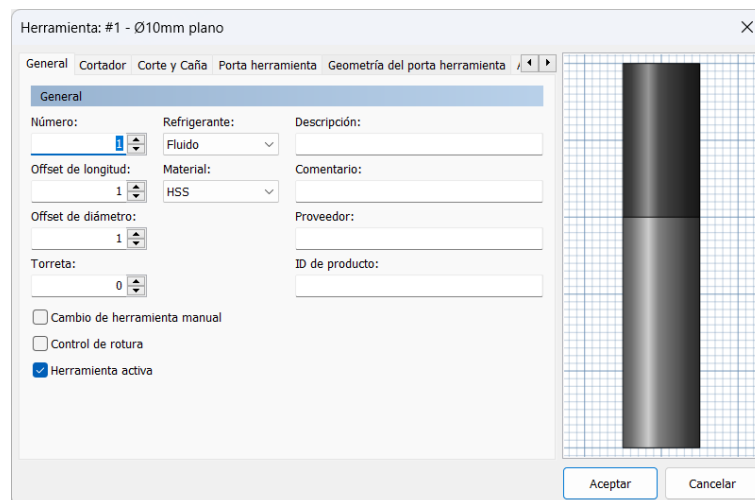


Figura 10. Introducción nueva herramienta.

Esta primera ventana sirve para introducir información general de la herramienta. En posteriores apartados se desarrollará en profundidad un ejemplo práctico de la introducción de una herramienta.

### 5.2.3 Programación de estrategias de mecanizado.

Una vez realizado los pasos anteriores, configuración y de biblioteca de herramientas, se procede a la programación de las estrategias de mecanizado elegidas para la obtención de la geometría final requerida

En Inventor Cam tenemos acceso a múltiples operaciones de mecanizado, como se puede observar en la anterior Figura 7, los parámetros a introducir cambiarán según la operación, pero mantienen la misma estructura de 5 pestañas y algunos rasgos comunes.

- Herramienta. En esta primera pestaña se selecciona la herramienta a utilizar en la operación, los datos de corte se importan automáticamente y son los introducidos en la creación de la herramienta pudiendo ser estos modificados desde esta pestaña también. Se puede observar su disposición en la siguiente figura:

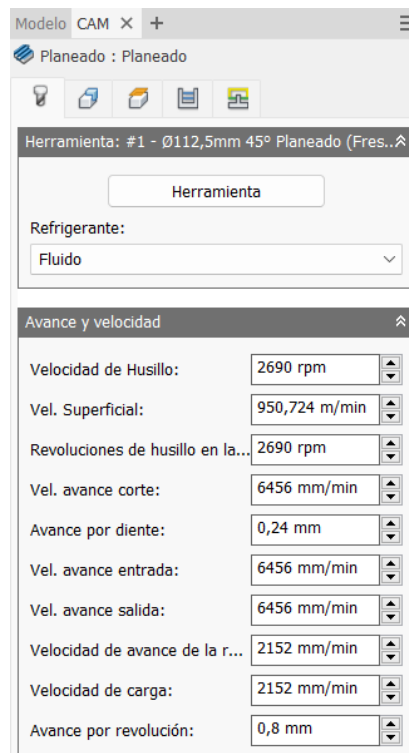


Figura 11. Pestaña "Herramienta" en una estrategia de mecanizado.

- Geometría. Se determina y selecciona aristas y superficies para determinar los contornos a mecanizar, esta selección varía según la operación a utilizar.

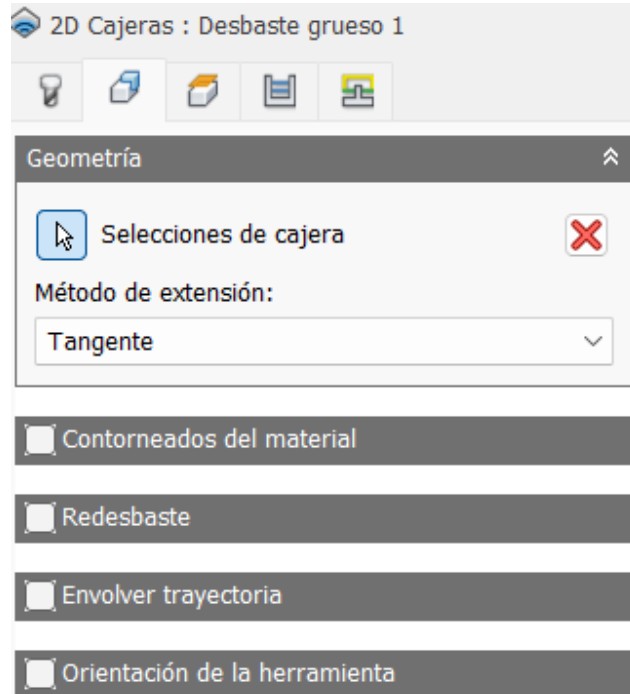


Figura 12. Pestaña "Geometría" en una estrategia de mecanizado.

Además, hay otras opciones que se pueden utilizar como se puede examinar en la Figura 12. Como el redesbaste que limita la operación para eliminar solo el material que una herramienta u operación anterior no ha podido eliminar.

- Alturas. Se configuran los valores de las diferentes alturas necesarias para la operación.
  - La altura del espacio libre es la primera altura a la que herramienta se desplaza en su camino hacia el principio de la ruta de herramienta.
  - La Altura de retracción define la altura a la que la herramienta se desplaza antes de la siguiente pasada de corte.
  - La altura de avance define la altura a la que se dirige la herramienta antes de cambiar a la velocidad de avance/penetración para introducir la pieza.
  - La Altura superior define la altura que describe la parte superior del corte.
  - La Altura inferior determina la altura/profundidad del mecanizado final y la menor profundidad a la que la herramienta desciende en el material



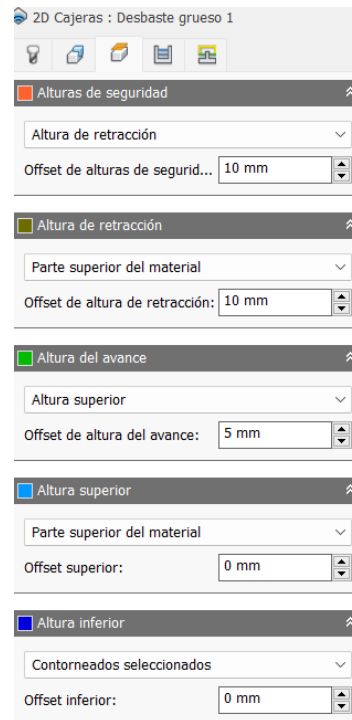


Figura 13. Pestaña "Geometría" en una estrategia de mecanizado.

- Pasadas. Se introduce la configuración de la trayectoria de la herramienta a utilizar, así como el material sobrante a dejar para futuras pasadas de acabado y la profundidad de las pasadas.

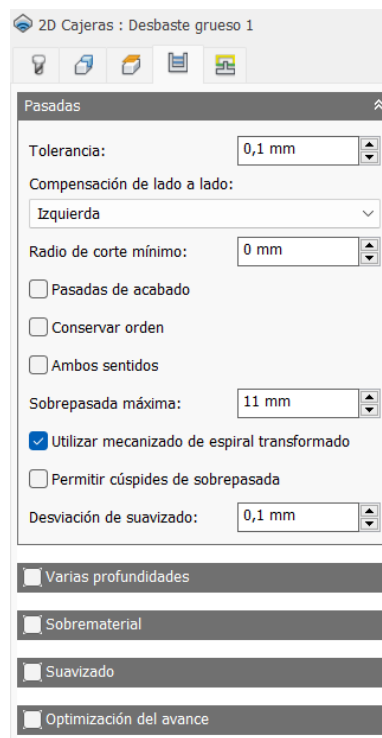


Figura 14. Pestaña "Pasadas" en una estrategia de mecanizado.

- **Conexión.** Especificar como deben vincularse las pasadas de la ruta de herramienta.

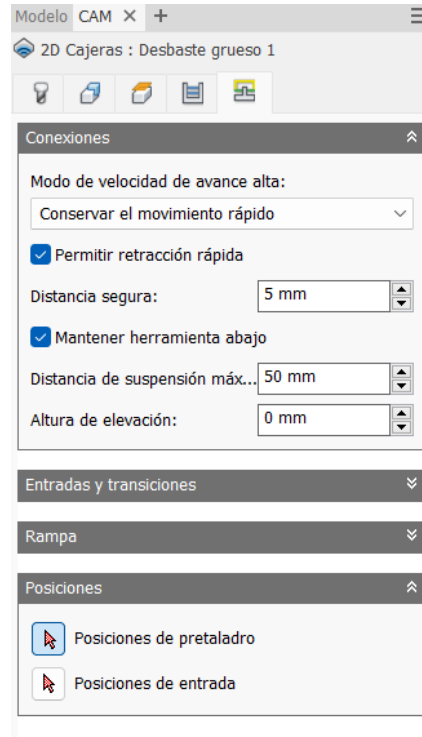



Figura 15. Pestaña "Conexión" en una estrategia de mecanizado

#### 5.2.4 Simulación y verificación del mecanizado.

El componente Simulación  permite verificar que la ruta de herramienta generada sea la prevista y evitar colisiones o posibles errores, así como una vista gráfica de cómo se ejecuta la operación.

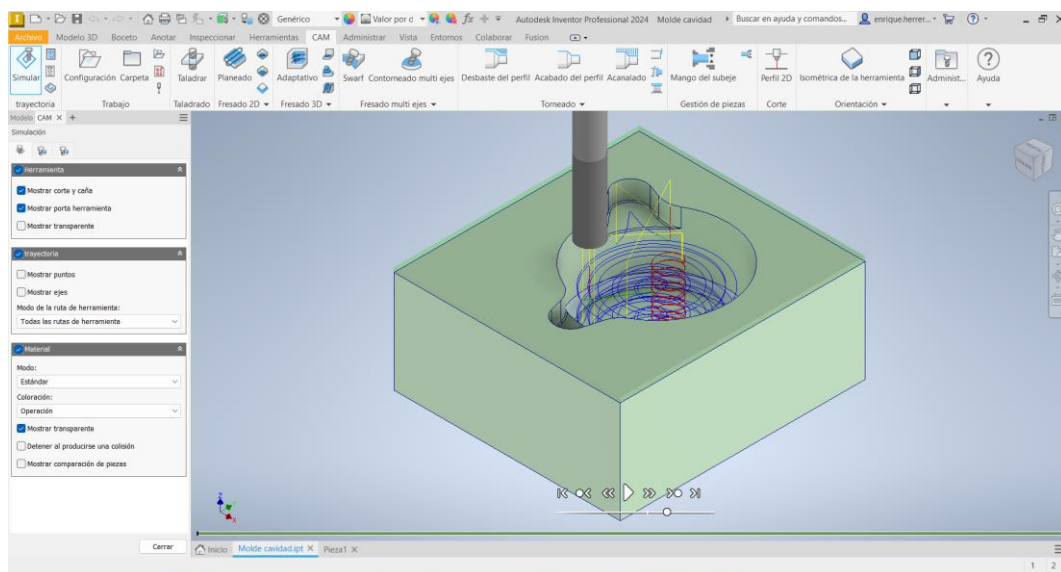


Figura 16. Simulación Inventor Cam

Procedemos a explicar las partes que componen la simulación.

- **Simulador.** La animación se puede pausar y reproducir haciendo clic en el botón Pausar y Reproducir. La velocidad de la animación se puede ajustar con el control deslizante de velocidad de avance en la parte inferior del reproductor.



Figura 17. Reproductor de simulación.

- **Línea temporal de simulación.** Este control proporciona una "secuencia temporal", en términos de longitud de ruta de herramienta, de la simulación completa

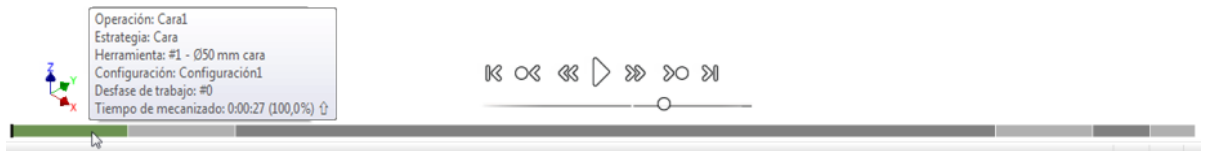


Figura 18. Línea de tiempo de la simulación.

Cada segmento representa una operación, si posiciona el cursor encima de uno aparece un pequeño cuadro informativo de la operación. Si se produce una colisión se verá reflejado como una línea vertical roja.

- **Parámetros de la ficha mostrar.** proporciona opciones de simulación y contiene información sobre la posición de la herramienta actual

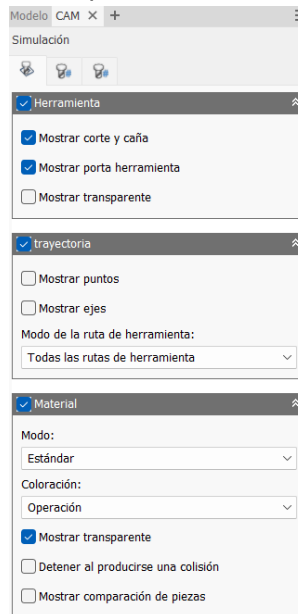


Figura 19. Ficha mostrar de simulación

En la figura se diferencian tres grupos de opciones. El primero es el grupo Herramienta, permite activar y desactivar la visibilidad del eje y del soporte de la herramienta durante la simulación. También puede elegir que se muestren de forma transparente para ver a través de ellos. El segundo grupo, Ruta de herramienta, contiene diversas opciones para controlar la visualización de la ruta de herramienta. Y por último el grupo del material, permite mostrar el material a mecanizar, así como su transparencia.

- Parámetros de la ficha Información. La ficha Información proporciona información sobre la posición de la herramienta actual y la máquina. También se muestran la descripción de la operación enumerada para la estrategia actual y la herramienta activa.

Simulación	
Posición	
Posición X:	-5,18529 mm
Posición Y:	-20,2008 mm
Posición Z:	20 mm
Velocidad de Husillo:	4277 rpm Sentido horario
Velocidad de avance:	Rápido
Movimiento:	Rápido
Operación	
Descripción:	Desbaste grueso 1
Tipo:	2D Cajeras
Herramienta:	#4 - Ø16mm plano (FRE...
Offset de trabajo:	#0
Configuración:	Configuración
Tiempo:	0:06:37 (100,0%) Nueva...
Máquina	
Verificación	

Figura 20. Ficha de información de la simulación.

- Parámetros de la ficha Estadísticas. contiene información acerca de la ruta de herramienta completa que se está simulando. La información actual es el tiempo de mecanizado total, la distancia de mecanizado total, el número de operaciones realizadas, y el número de cambios de herramienta.

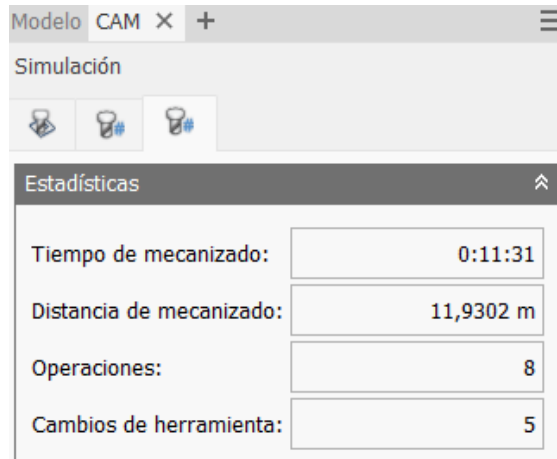


Figura 21. Ficha de estadísticas de la simulación.

### 5.2.5 Postprocesado.

Para concluir, el último paso es convertir las ubicaciones del contador independientes del programa en código CN que la maquina a utilizar comprenda. Para ello utilizamos el comando post procesar ubicado en el margen superior izquierdo de la pantalla. Emerge la siguiente pantalla:

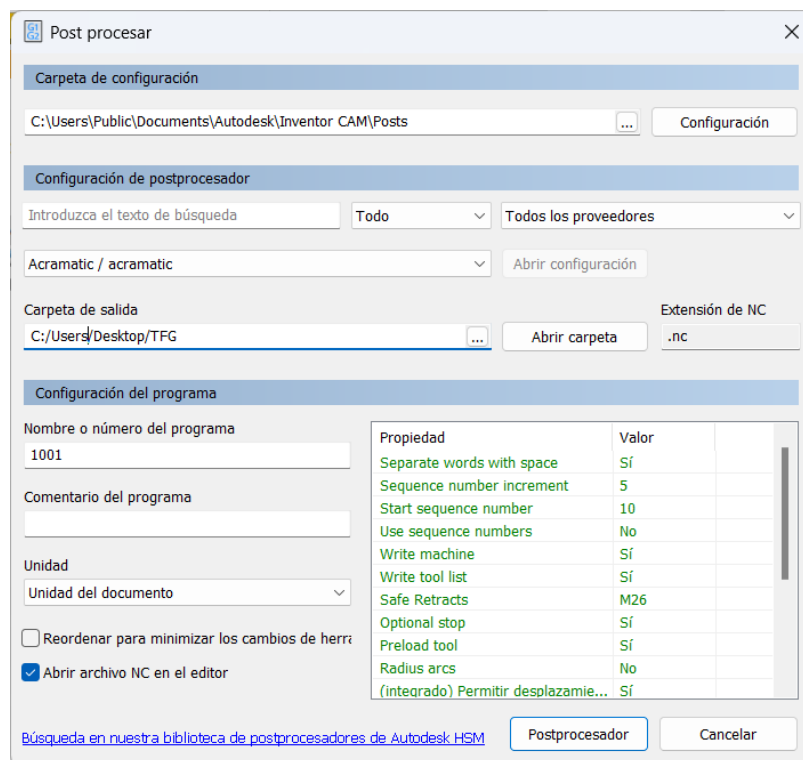


Figura 22. Postprocesado

En esta ventana se selecciona la ubicación de salida del código CNC.



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

## 6. MECANIZADO DE UN MOLDE DE ALUMINIO PARA MOLDEO DE CARCASAS DE COMPRESOR POR INYECCION.

Presentados los aspectos generales del software Inventor Cam y como se realiza un mecanizo genérico, se procede a explicar el mecanizado de un molde de aluminio que como función final tiene obtener carcasas de compresor por inyección.

### 6.1. Molde.

Un molde de inyección debe tener características clave para garantizar su eficacia, durabilidad y capacidad de producir piezas de alta calidad. Estas características incluyen resistencia y durabilidad, alta conductividad térmica, precisión y exactitud, buena maquinabilidad, resistencia a la corrosión y al desgaste, capacidad de pulido y acabado superficial, modularidad y mantenimiento. Para lograr esto, es importante utilizar materiales robustos, mantener tolerancias precisas, utilizar materiales con buena maquinabilidad, aplicar recubrimientos protectores, asegurar un buen acabado superficial, facilitar el mantenimiento y reparación, (Rosato, D. V., & Rosato, M. G. (2000). *Injection molding handbook*. Springer Science & Business Media).

#### 6.1.1 Material del tocho inicial.

Cumpliendo las características mencionadas anteriormente, dos grupos de materiales cumplen eficazmente, los aceros y los aluminios. En este caso nos decantaremos por aleaciones de aluminio por los siguientes motivos:

- Peso. El aluminio es un material más ligero que el acero, representando aproximadamente un tercio de su peso. Esta característica hace que sea más fácil de manipular grandes bloques de aluminio, lo que a su vez reduce los costes
- Mecanizado. Comparado con el acero, el aluminio es un material con un mecanizado más fácil, lo que permite mejorar los plazos de entrega cuando el molde se hace de aluminio.
- Producción de piezas de plástico. El aluminio es un excelente conductor y disipador de calor, lo que permite que la temperatura salga del molde entre 3 y 4 veces más rápido que un molde de acero, lo que aumenta la productividad. El proceso de enfriamiento/calentamiento del molde es

fundamental para aprovechar al máximo las ventajas de utilizar moldes de aluminio.

Para este uso elegimos el aluminio ALUMOLD-500®, una aleación de aluminio de la serie 7000 siendo una alternativa exitosa al acero en aplicaciones de moldes debido a su alta conductividad térmica, resistencia, facilidad de mecanizado y pulido. Además, ofrece estabilidad dimensional y consistencia. El uso de este material conlleva una reducción de costos operativos y un aumento en la producción de piezas. Siendo sus principales características:

- Excelente mecanización y pulido.
- Buena estabilidad dimensional y altas propiedades mecánicas (libres de tensiones).
- Posible soldar\* (TIG/MIG).
- Alta dureza.
- Excelente conductividad térmica/eléctrica.

#### Propiedades físicas ALUMOLD-500®

DENSIDAD	2,82 g/cm <sup>3</sup>
MODULO DE ELASTICIDAD	72000 MPA
COEFICIENTE DE DILATACIÓN LINEAL	23,7.10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	153 W/mK
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	18-22 MS/m
DUREZA	175 HB

#### Composición química (%peso).

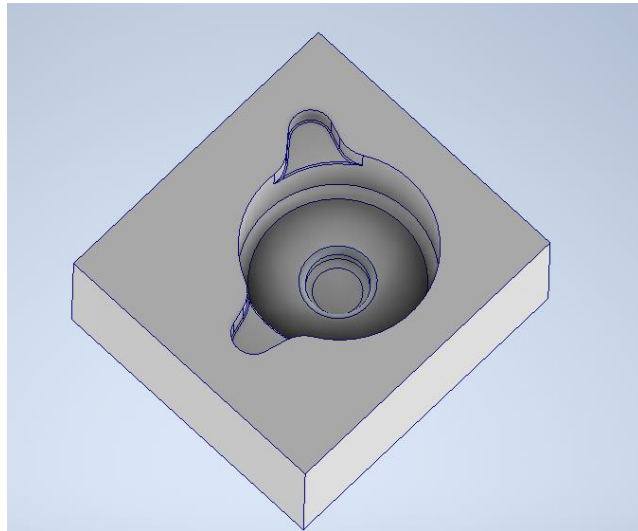
Elemento	Máximo
Si	0.04%
Fe	0.08%
Cu	1.6%
Mn	-
Mg	2.4%
Cr	-
Zn	6%
Ti	-
Al	Resto



### 6.1.2 Geometría molde.

Se ha proporcionado un modelo 3D del molde que se va a mecanizar en Inventor Cam, en formato. Step. Este formato mantiene la geometría 3D de las piezas y es compatible con Inventor. El molde consta de dos partes, la cavidad y el postizo, las cuales deben encajar de manera precisa para asegurar un proceso adecuado y obtener piezas con dimensiones correctas y una buena calidad superficial.

A continuación, se muestra en la Figura y Figura ambas partes del molde a mecanizar:



*Figura 23. Cavidad del molde.*

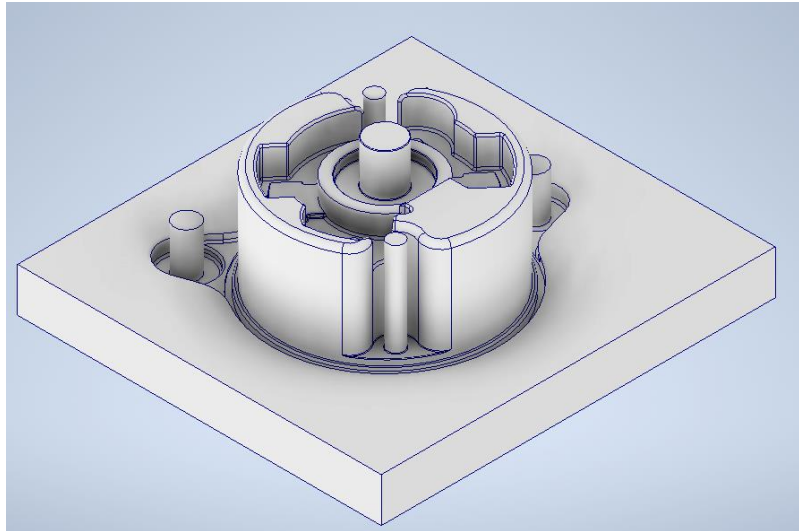


Figura 24. Postizo del molde.

## 6.2 Configuración de una fase.

Nuestro molde se compone de dos partes, cavidad y postizo, que comparte forma análoga, la creación de la configuración de una fase.

Para comenzar el proceso de diseño del molde, es necesario abrir el archivo .STEP en Inventor Cam para visualizar la geometría en 3D proporcionada por el cliente. Este formato es un estándar de intercambio de datos utilizado para transferir información entre distintos programas de diseño.

A continuación, hay que acceder a configuración, que se encuentra en la ficha de trabajo ubicada en la parte superior izquierda.

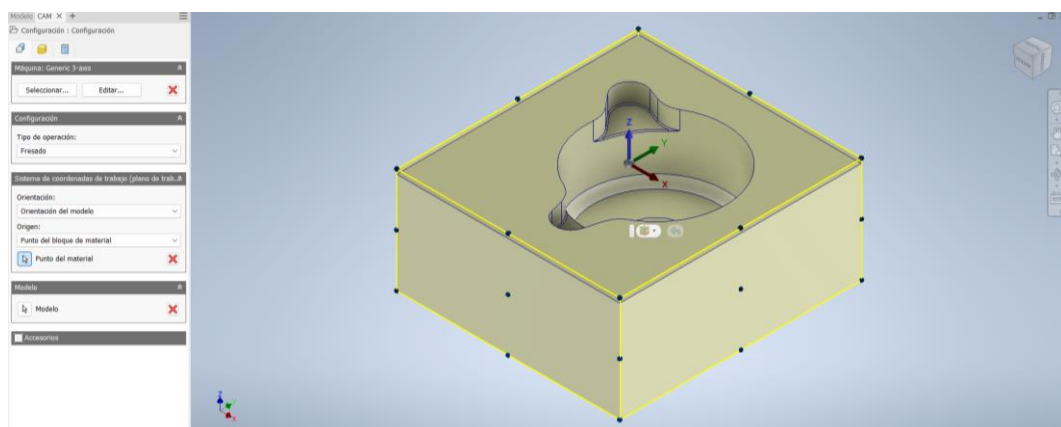


Figura 25. Configuración cavidad.

En la primera pestaña, llamada “configuración”, introducimos los siguientes datos:

- Máquina: Genérica de 3 ejes
- Tipo de operación: Fresado
- Orientación: El sistema de coordenadas de trabajo se selecciona coincidiendo con el origen del modelo, asegurando que el eje Z esté hacia arriba y perpendicular a la cara superior del molde. El punto de partida seleccionamos la esquina inferior del tocho, la ubicada más bajo que se puede observar en la Figura 25.
- Modelo: Seleccionamos la pieza final.
- Accesorios: esta opción no es seleccionada al no ser utilizada en nuestras operaciones.

En la segunda pestaña, “material”, definiremos la geometría del tocho. No habiendo sobre material en los laterales del modelo, así como en la parte inferior de él, y añadiendo 3mm en la parte superior. Ver Figura 30.

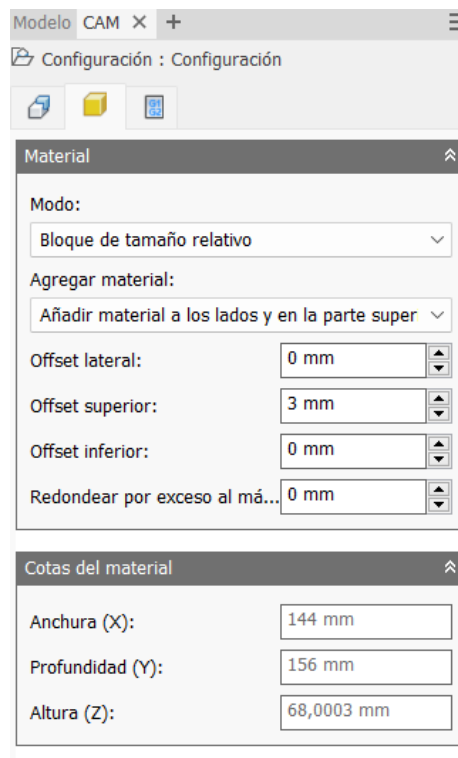


Figura 26. Pestaña "Material" en configuración.

En la última pestaña, post procesar, no será modificará nada en este momento.



### 6.3 Selección de herramientas.

El paso previo a programar la operación es la elección de las herramientas adecuadas para cada una. En este caso la principal fuente de selección será el fabricante IZAR y su catálogo IND-24, también haciendo uso de herramientas de Sandvik y Iscar en momentos puntales.

En el caso de Sandvik, a nuestra disposición ponen un recurso web llamado Toolguide, por el cual se ha elegido la planeadora a usar tanto en el mecanizado de la cavidad como en el del postizo.

Para las ocasiones de elección de Iscar, se ha usado la web el mismo fabricante filtrando para la elección de fresas de bola que permitan su utilización en el material de nuestra elección.

Procederemos a la explicación más en profundidad del catálogo de uso principal, IND-24 de Izar.

Para iniciar con la selección tenemos que identificar el material de nuestra elección en la clasificación que hace el propio fabricante en su catálogo, el cual incluye todo tipos de material, pero nos centraremos en las aleaciones de aluminio:

GRUPO GROUP GROUPE N								
COBRE - LATÓN - BRONCE - COPPER - BRASS - BRONZE - CUIVRE - LAITON - BRONZE (<700 N/mm <sup>2</sup> / <200-300 HB)								
N.1	BRONCES / BRONZE / BRONZES							
		2,1020	CU SN 8					
	C 7150	2,1030	CU SN 8					
	ALEACIONES COBRE VIRUTA CORTA / SHORT CHIPPING COPPER / ALLIAGE CUIVRE COPEAUX COURTS							
		2,0360	CU ZN 40	CU ZN 40	CZ 109		P-CU ZN 40	C 28000
		2,0402	CU ZN 40 PB2	CU ZN 39 PB2	CZ 122			C 38000
N.2	LATONES / BRASS / LAITONS (< 700 N/mm <sup>2</sup> / < 200-300 HB)							
		2,0250	CU ZN 20	CU ZN 20	CZ 103		C 24000	
		2,0285	CU ZN 30	CU ZN 30	CZ 106		P-CU ZN 30	C 26000
		2,0321	CU ZN 37	CU ZN 37	CZ 108			C 27400
	ALEACIÓN Cu VIRUTA LARGA / LONG CHIPS ALLOYED Cu / ALLIAGE Cu COPEAUX LONGS (< 700 N/mm <sup>2</sup> / <200-300 HB)							
	2,1245	CUBE 1,7	CU BE 1,7	CB101			C 17000	
	2,1247	CUBE 2	CU BE 1,9				C 17200	
GRUPO GROUP GROUPE N								
ALUMINIO - MAGNESIO - ALUMINIUM - MAGNESIUM								
N.3	Al - Mg SIN ALEAR / UNALLOYED ALUMINIUM - MAGNESIUM / ALUMINIUM - MAGNESIUM SANS ALLIAGE (<350 N/mm <sup>2</sup> / <100 HB)							
		3,0250	Al 99,5 H					
		3,0280	Al 99,8 H					
N.4	ALEACIONES ALUMINIO / ALUMINIUM ALLOYS / ALLIAGES ALUMINIUM Si<10% (< 600 N/mm <sup>2</sup> / <180 HB)							
	L-3811	3,0515	AIMN 1	3103	3103		P-ALMN 1,2 CU A 93003	
	L-3120-38-312	3,1325	AICUMG 1	2017 A			P-AICU4MGMSI A 92017	
	L-3140-38-314	3,1355	AICUMG 2	2024	2024		P-AICU4-4MGMN 2024	
	L-3710-38-371	3,4365	AIZNMOCU-1,5	7075	7075		P-AIZNMOCU-1,5 A 9775	
N.5	FUNDICIÓN ALUMINIO / CAST ALUMINIUM / FONTE ALUMINIUM							
		3,3292	GD-AIMG 9	A-G105Y 4	LM 10		A 05200	
	ALEACIONES ALUMINIO / ALUMINIUM ALLOYS / ALLIAGES ALUMINIUM Si>10% (<600 N/mm <sup>2</sup> / <180 HB)							
	L-2560-61	3,2381	G-AISI 10 MG	A-S10G		G-AISI9MG	A-0359,0	
L-2530	3,2583	G-AISI 11	A-S12U	LM 20		G-AISI13CUMN A-04130		
GRUPO GROUP GROUPE N								
MATERIALES SINTÉTICOS - SYNTHETIC MATERIALS - MATERIELS SYNTHETIQUES								
N.6	TERMOPLÁSTICOS / THERMOPLASTICS / THERMOPLASTIQUES							
		POLIPROPILENO			PP			
		POLISTIROL		PS				
		POLIVINILCLORITO			PVC			
		POLICARBONATO		MACRALON	PC			
	ULTRAMID		POLIAMIDA		PA			
N.7	DUROPLÁSTICOS / HARD PLASTICS / PLASTIQUES DURS							
		POLIMETILMETACRILATO		PLEXIGLAS	PMMA			
	BAQUELITA							
	PERTINAX							
	MOLTOPREN							
RESOPAL		GRAFITO						

Figura 27. Clasificación de materiales en el catálogo de Izar.

Haciendo uso de esta clasificación, el material utilizado recae en la categoría N.4. A continuación, procederemos a realizar la elección de una herramienta para una operación de desbaste y su introducción en la biblioteca de Inventor:

### FRESA FRONTAL DESBASTE GRUESO PMX NZ

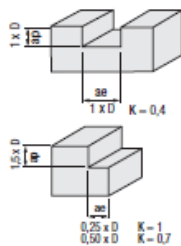
Ejecutando una busca en el catálogo de izar encontramos las herramientas de desbaste, en ellas nos tenemos que fijar con atención las operaciones que permiten realizar y los materiales idóneos para ellas, como se puede observar en la siguiente Figura 28.

FRESADO PMX-HSSE-HSS - PMX-HSSE-HSS Milling - Fraisage PMX-HSSE-HSS

Ref. **6640**

**FRESA FRONTAL DESBASTE GRUESO PMX NZ**  
 NZ PMX Coarse Roughing End Mill  
 Fraise ébauche PMX NZ

**IZARMAX**



Material		Vc (m/min)		Refs. 6640-6690 - Avances fz/rev. (mm/z) - Feed - Pas											
Grupo	Sub.	PMX	TIALN-TOP	Ø 6	Ø 8	Ø 10	Ø 12	Ø 16	Ø 20	Ø 25	Ø 32				
P	P.1	35-45	55-80	0,030	0,035	0,058	0,069	0,115	0,115	0,115	0,115				
	N.1	70-120	110-210	0,042	0,062	0,077	0,092	0,127	0,150	0,150	0,150				
	N.2	70-120	110-210	0,030	0,035	0,058	0,069	0,115	0,115	0,115	0,115				
N	N.3	190-240	290-420	0,042	0,062	0,077	0,092	0,127	0,150	0,150	0,150				
	N.4	190-240	290-420	0,042	0,062	0,077	0,092	0,127	0,150	0,150	0,150				
	N.5	60-96	90-170	0,030	0,035	0,058	0,069	0,115	0,115	0,115	0,115				

$$r.p.m. = \frac{Vc \times 1000}{\pi \times \phi}$$

$$Vf \text{ (mm/min.)} = r.p.m. \times Z \times fz \times K$$

K = Coeficiente corrección  
 Correction coefficient  
 Coefficient correction

D mm	d mm	L mm	l mm	Z	Nº Art. PMX	€	Nº Art. TIALN-TOP	€	D mm	d mm	L mm	l mm	Z	Nº Art. PMX	€	Nº Art. TIALN-TOP	€
6,00	6	57	13	4	20903	36,08	21029	41,93	16,00	16	92	32	5	20912	80,02	21035	91,87
7,00	10	66	16	4	23138	45,44	23142	52,15	20,00	20	104	38	5	20915	101,14	21036	114,11
8,00	10	69	19	4	20904	39,37	21030	46,06	22,00	20	104	38	5	21078	123,40	21095	141,26
9,00	10	69	19	4	23139	47,15	23143	54,47	25,00	25	121	45	5	20917	149,79	21037	167,64
10,00	10	72	22	5	20905	37,27	21031	44,66	28,00	25	121	45	5	22117	164,51	22400	214,96
12,00	12	83	26	5	20907	49,23	21032	57,25	30,00	25	121	45	5	21083	199,34	21096	224,68
14,00	12	83	26	5	20908	59,40	21033	68,38	32,00	32	133	53	6	20922	218,61	21038	243,96
16,00	16	92	32	5	20909	73,52	21034	84,07									

Figura 28. Fresa frontal desbaste extraída del catálogo de izar.

En la previa figura se puede observar la manera de obtener el cálculo de los datos de corte ideales, con las fórmulas indicadas por el fabricante y sus coeficientes de corrección para el tipo de operación a realizar. Por ejemplo, para la fresa de desbaste de 16mm utilizada en el mecanizado de la cavidad:

$$rpm = \frac{Vc \times 1000}{\pi \times \phi} = \frac{215 \times 1000}{\pi \times 16} = 4277rpm$$

Calculado con Vc, la media entre el intervalo ofrecido por el fabricante para el material elegido.

$$Vf = rpm \times Z \times fz \times K = 4277 \times 5 \times 0,127 \times 0,4 = 1086,43 \text{ mm/min}$$

Siendo Z el número de filos, fz el avance recomendado para las dimensiones de la herramienta y K el coeficiente de corrección para la operación.

Seguidamente introducimos la herramienta en la biblioteca de inventor como se ha detallado en el apartado 5.2.2.

La primera pestaña que se nos presenta es “General”, en ella introducimos la información que nos permita reconocer la herramienta, como el fabricante, uso y referencia del catálogo. Ilustrado en la posterior Figura

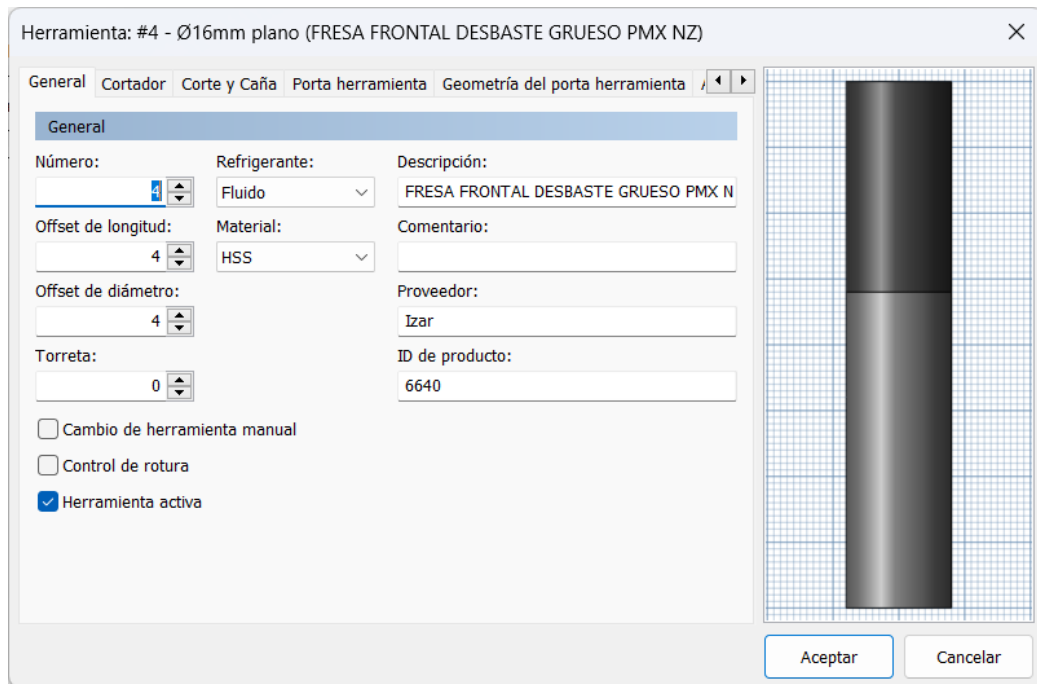


Figura 29. Pestaña "general" al introducir herramienta

En la pestaña “cortador” seleccionaremos la geometría que se adapte a nuestra herramienta, y añadiremos los parámetros de la geometría pedidos.

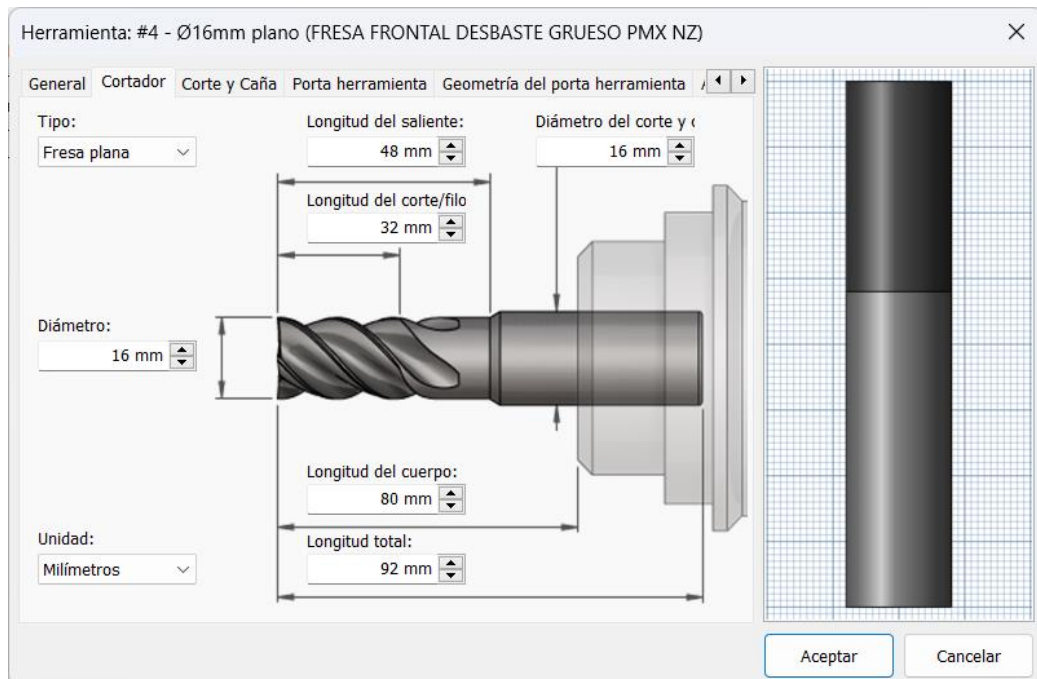


Figura 30. Pestaña "cortador" al introducir herramienta.



En el caso el cual la geometría de la fresa no pueda quedar bien definida con la pestaña anterior, se modificará con la pestaña de corte y caña donde se pueden añadir segmentos nuevos y sus respectivos diámetros.

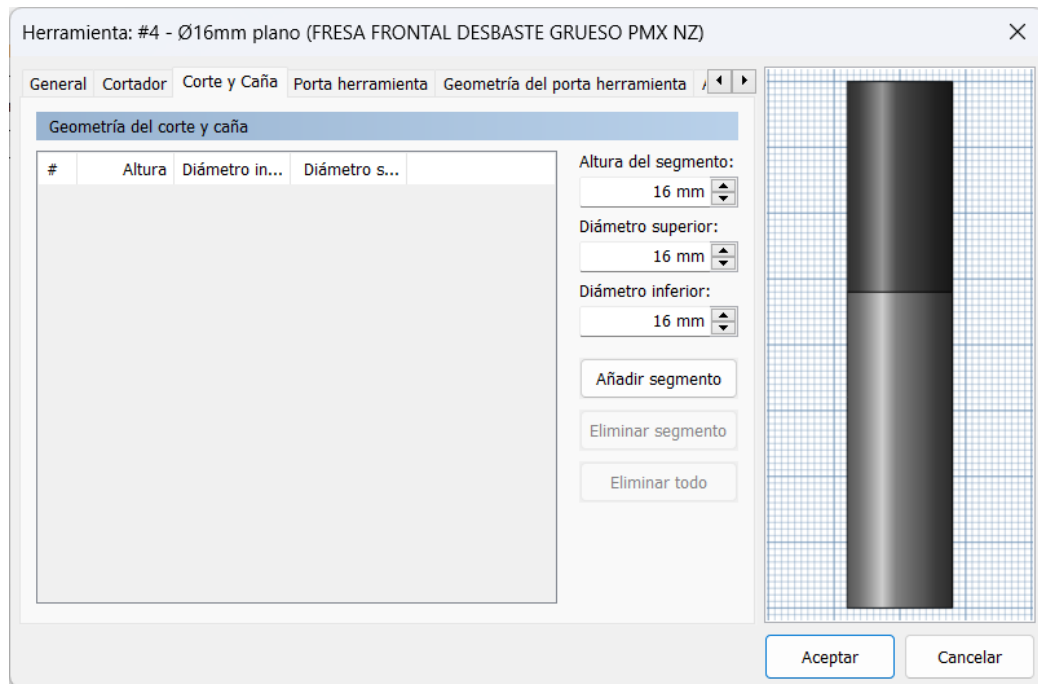


Figura 31. Pestaña "Corte y Caña" en introducción de herramienta.

Para concluir, una de las pestañas primordiales como es "Avance y velocidad", donde introduciremos los datos de corte previamente calculados.

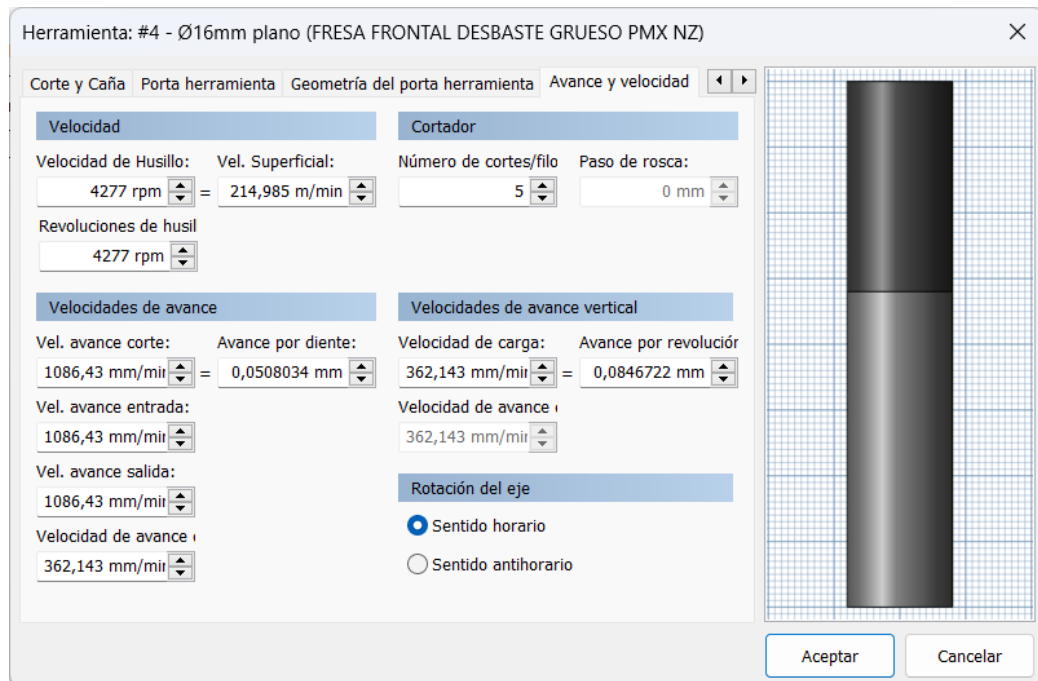


Figura 32. Pestaña "Avance y velocidad" en la introducción de herramienta.



## 6.4 Estrategia mecanizado cavidad del molde.

Dado que el molde se compone de dos partes, cavidad y postizo, comenzaremos detallando la programación de mecanizado de la cavidad, la menos compleja de ambas.

### 6.4.1 Planeado de la cara de contacto.

La primera operación programada es un planeado en la cara superior del molde para eliminar 3mm de sobre material. Esto garantiza la tolerancia dimensional del molde cumpliendo con las tolerancias de planicidad y perpendicularidad.

Para realizar esta operación, se selecciona la opción "Planeado" en el "Fresado 2D". Se abrirá una ventana con pestañas y campos para introducir la información de la operación, detallado en el apartado 5.2.3.

En la pestaña "herramienta", se accede a la biblioteca de herramientas y se elige la fresa adecuada.

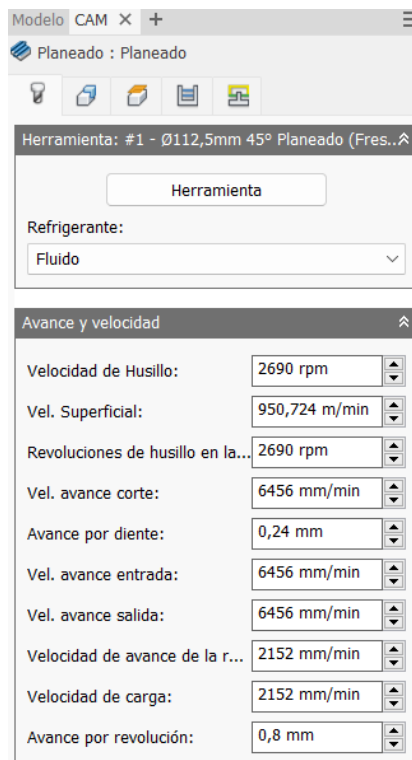


Figura 33. Pestaña "Herramienta" en la operación de planeado.

En la Figura 33 se muestra que la información de avances y velocidades de corte se importan automáticamente. Sin embargo, es posible modificar los parámetros para una operación específica sin afectar los datos guardados en la herramienta.

El siguiente paso en el proceso de planeado es elegir la geometría apropiada. En este caso, se sugiere optar por la selección predeterminada, ya que el programa seleccionará automáticamente el contorno de la parte superior del bloque inicial.

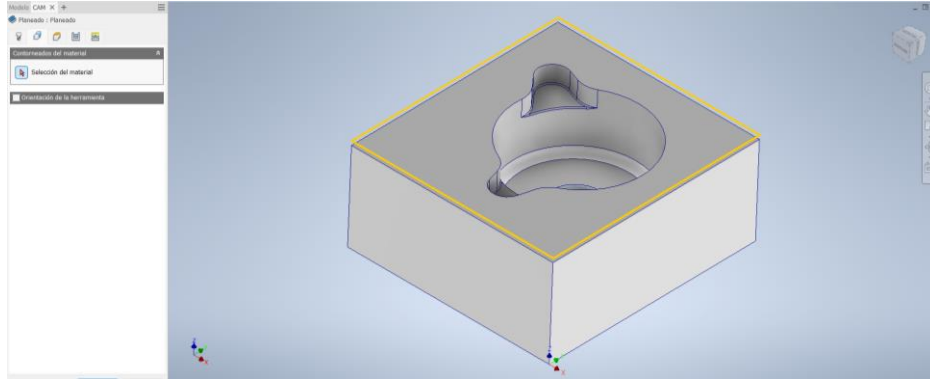


Figura 34. Pestaña "Geometría" en la operación de planeado.

Seguidamente en la pestaña "Alturas" se introducirán los siguientes parámetros:

- Altura de seguridad: Seleccionamos altura de retracción y un offset de 10mm con respecto a esta.
- Altura de retracción: Seleccionamos altura del material y un offset de 10mm con respecto a esta.
- Altura del avance: Seleccionamos altura superior y un offset de 5mm con respecto a esta
- Altura superior: Seleccionamos parte superior del material y un offset de 0mm con respecto a esta. Importante seleccionar la parte superior del material inicial.
- Altura inferior: Seleccionamos parte superior del modelo y un offset de 0mm con respecto a esta. Este parámetro determina donde finaliza la operación.

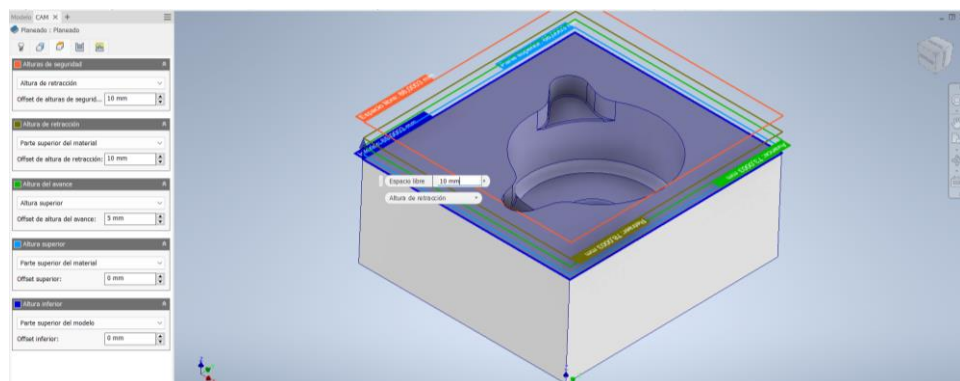


Figura 35. Pestaña "Altura" en la operación planeado

En la pestaña "pasadas" se establece una extensión de pasada de 5 mm para asegurar la eliminación total del material en los bordes y una sobrepasada del 50% del diámetro de la herramienta. En la pestaña "varias profundidades" se define una reducción máxima de 2,5 mm con una pasada de acabado de 0.5 mm, realizando el planeado en dos pasadas, siendo la última de acabado. Todo ello mientras la opción de sobre material esta deshabilitada ya que estamos en una operación de acabo

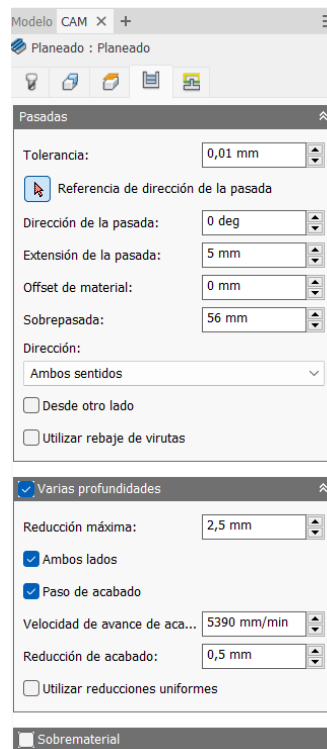


Figura 36. Pestaña "Pasadas" operación de planeado.

Por último, la pestaña "vinculación", no se modifica dejando la configuración predeterminada por el programa.

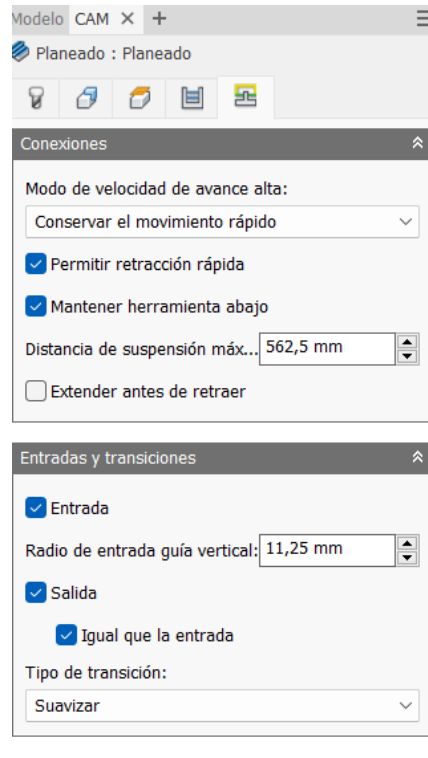


Figura 37. Pestaña "Vinculación" operación de planeado.

En la posterior Figura 38, se puede apreciar un instante de la simulación de la operación de planeado, siendo visible las trayectorias de la herramienta. Ha sido necesario 29 segundos para la finalización de la operación.

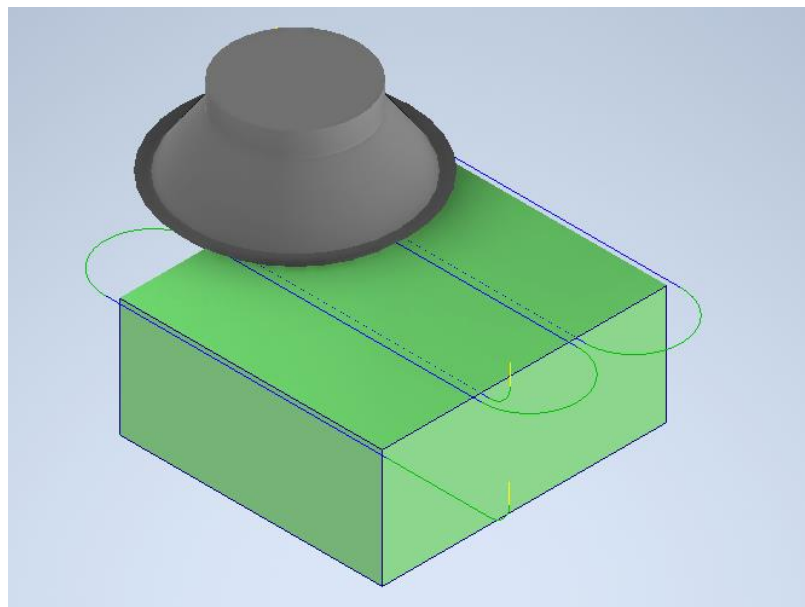


Figura 38. Simulación operación de planeado.

## 6.4.2 Operaciones de desbaste.

En este apartado se desarrollarán las dos operaciones que se realizan de desbaste. Ambas tienen en común, la fresa utilizada será la misma así mismo como la pestaña de pasadas y alturas que serán los mismos valores y los parámetros de vinculación serán modificados con el fin de hacer posible el mecanizado. El objetivo de estas operaciones es la retirada rápida de material sin preocuparse de no retirar el material de los lugares menos accesibles ni del acabado superficial, ya que se realizarán operaciones de acabado posteriores.

### 6.4.2.1 Operación de desbaste 1.

Para realizar esta operación, se selecciona la opción "2D Cajera" en la ficha "Fresado 2D". Dando paso a la pestaña de "Herramienta" siendo este proceso análogo al descrito en la operación de planeado, con la salvedad que esta operación se seleccionara la herramienta fresa frontal desbaste grueso de diámetro 16 mm y los datos de corte calculados de igual manera a los del apartado 6.2.

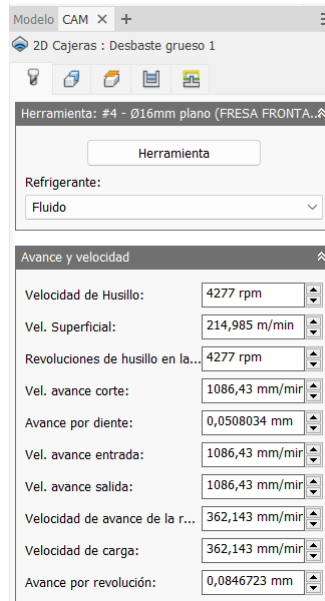


Figura 39. Pestaña "Herramienta" operación de desbaste cavidad.

A continuación, se selecciona la geometría de la cajera a mecanizar siendo la selección la expuesta en la Figura 40:

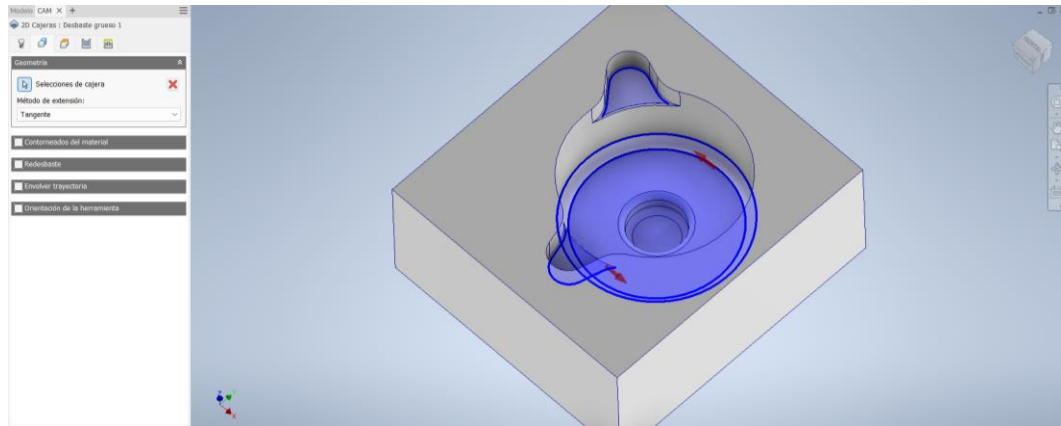


Figura 40. Pestaña "Geometría" de operación desbaste 1 cavidad.

Seguidamente en la pestaña "Alturas" se introducirán los siguientes parámetros:

- Altura de seguridad: Seleccionamos altura de retracción y un offset de 10mm con respecto a esta.
- Altura de retracción: Seleccionamos altura del material y un offset de 10mm con respecto a esta.
- Altura del avance: Seleccionamos altura superior y un offset de 5mm con respecto a esta
- Altura superior: Seleccionamos parte superior del material y un offset de 0mm con respecto a esta
- Altura inferior: Seleccionamos contornos seleccionados y un offset de 0 mm respecto a estos.

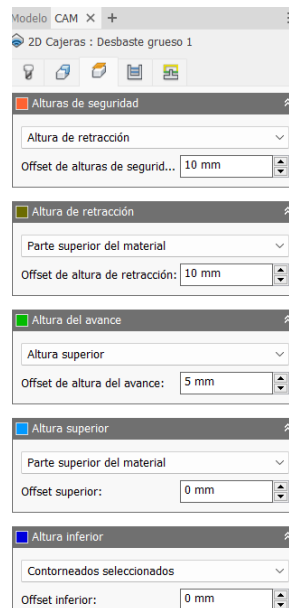


Figura 41. Pestaña "Alturas" operación de desbaste 1.

En la pestaña "pasadas" se establece sobrepasada de 11mm y en la opción "varias profundidades" se define una reducción máxima de 16 mm. Sobre material habilitado para mantener un 1mm de material tanto radial como axial, para posteriores pasadas de acabado. También se seleccionará la opción de suavizado en todas las operaciones donde esté disponible, cuya finalidad es reducir el código sin que se vea afectada la precisión.

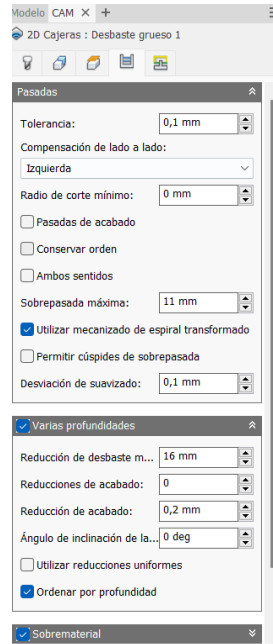


Figura 42. Pestaña "Pasadas" en la operación desbaste 1.

Por último, la pestaña "vinculación", no se modifica dejando la configuración predeterminada por el programa.

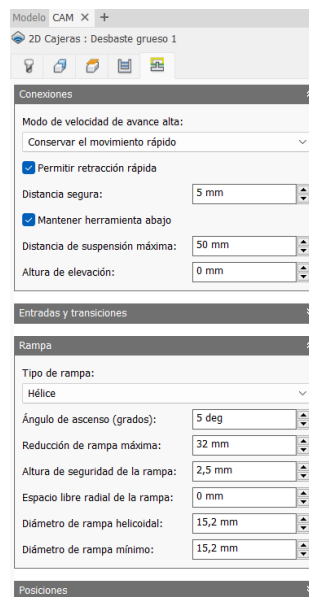


Figura 43. Pestaña "Vinculación" operación desbaste 1.

En la posterior Figura 44, se puede apreciar el final de la operación de desbaste la simulación de la operación de, siendo visible las trayectorias de la herramienta. Ha sido necesario 6 minutos y 37 segundos para la finalización de la operación.

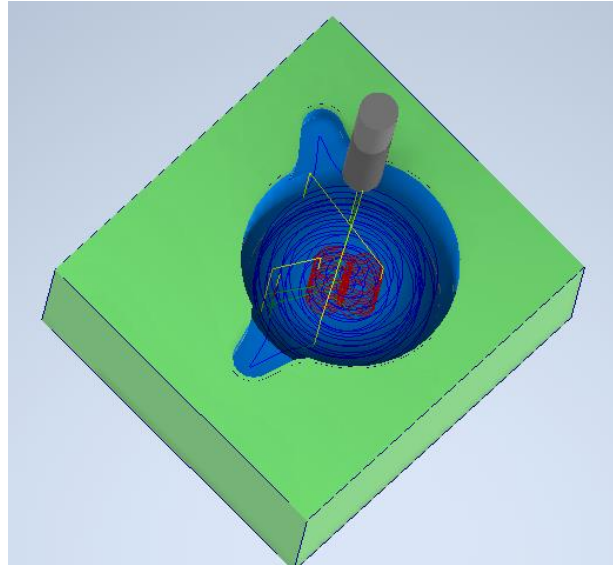


Figura 44. Final simulación operación desbaste 1.

#### 6.4.2.1 Operación de desbaste 2.

Como ha sido mencionado previamente, esta operación comparte con la anterior operación de desbaste la herramienta, la pestaña “Pasadas”, así como la cantidad de sobre material, y las pestaña “Alturas” ya que al depender de los contornos seleccionados cambiarán automáticamente. Por lo que para evitar redundancias no serán mencionadas en este apartado.

En la pestaña “Geometría” se seleccionarán las aristas y superficies que se pueden apreciar en la Figura 45:

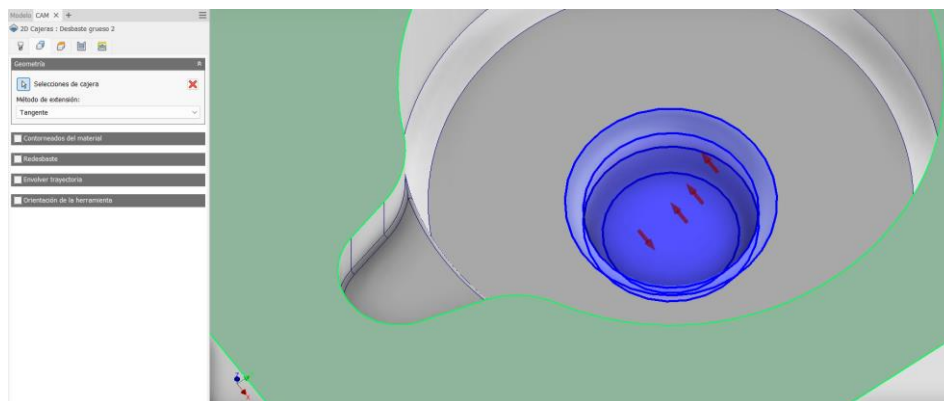


Figura 45. Pestaña "Geometría" operación desbaste 2.



En la pestaña de “Vinculación” se realizarán cambios respecto al anterior desbaste para poder ejecutar la operación. Estos cambios consisten en disminuir los valores de la rampa tipo hélice respecto a los predeterminados por el programa y de la operación predecesora. Como se puede observar en la siguiente figura:

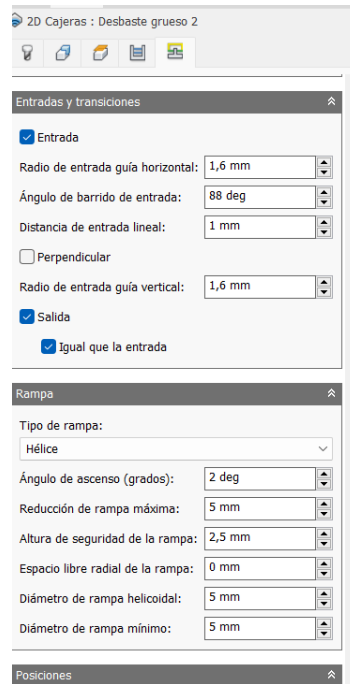


Figura 46. Pestaña "Vinculación" operación desbaste 2.

El tiempo necesario para la ejecución de la operación es de 16 minutos y 42 segundos. Siendo el resultado final de las operaciones de desbaste el que se puede observar en la siguiente figura:

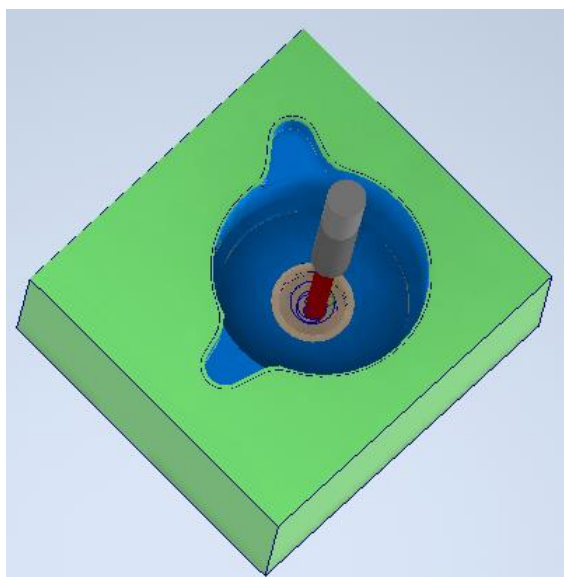


Figura 47. Final simulación de las operaciones de desbaste cavidad.

### 6.4.3 Operaciones de acabado.

La finalidad de estas operaciones es la de obtener la geometría final, la calidad superficial necesaria en la pieza con la salvedad de los acabados de los redondeos presentes en las piezas que serán realizados en otro capítulo.

A continuación, se desarrollaron las operaciones de acabado relacionadas a las operaciones de los desbastes realizados anteriormente. En esta ocasión también comparten la misma herramienta de acabado fresa frontal acabado pmx 3z aluminio y por lo que desemboca que la pestaña “Pasadas” sea igual. Por la consiguiente, se desarrollará análogamente a las operaciones de desbastes, omitiendo las pestañas sin ningún cambio entre ambas operaciones de acabado.

#### 6.4.3.1 Operación de acabado 1.

Para realizar esta operación, se selecciona la opción "2D Cajera" en la ficha “Fresado 2D”. Dando paso a la pestaña de “Herramienta” siendo este proceso análogo al descrito en operaciones anteriores, en esta operación se seleccionará la herramienta fresa frontal acabado pmx 3z aluminio de diámetro 14 mm y los datos de corte calculados de igual manera a los del apartado 6.2. particularizados para la presente herramienta. Dando lugar a lo observable en la siguiente figura.

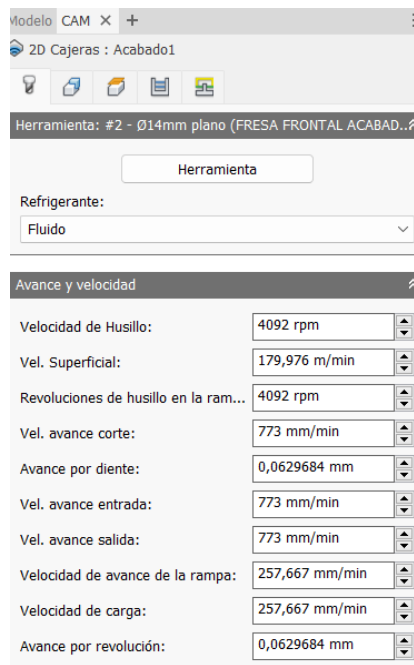


Figura 48. Pestaña "Herramienta" operación acabado cavidad.

Avanzado a la pestaña de “Geometría”, se selecciona las aristas y superficies necesarias para la operación, siendo observable que esta geometría coincide con el primer desbaste debido a que esta operación tiene la finalidad del mecanizado de acabado del sobre material dejado por esa operación. Para ello será necesario activar la opción de redesbaste e introducir los datos relacionados con la herramienta del desbaste, esto es necesario para que esta operación solo elimine el material no mecanizado previamente.

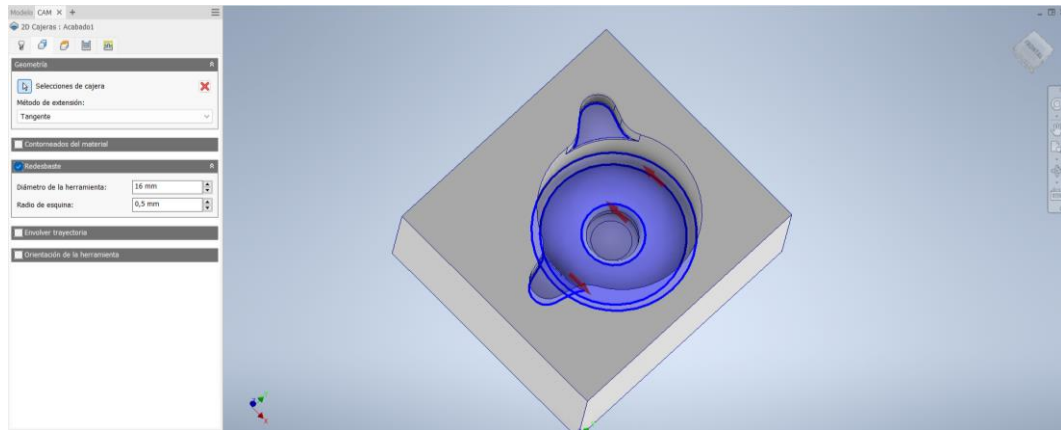


Figura 49. Pestaña "Geometría" acabado 1 cavidad.

En la siguiente pestaña “Alturas” los parámetros no se modifican con respecto a las operaciones de desbaste siendo los siguientes:

- Altura de seguridad: Seleccionamos altura de retracción y un offset de 10mm con respecto a esta.
- Altura de retracción: Seleccionamos altura del material y un offset de 10mm con respecto a esta.
- Altura del avance: Seleccionamos altura superior y un offset de 5mm con respecto a esta
- Altura superior: Seleccionamos parte superior del material y un offset de 0mm con respecto a esta
- Altura inferior: Seleccionamos contornos seleccionados y un offset de 0 mm respecto a estos.

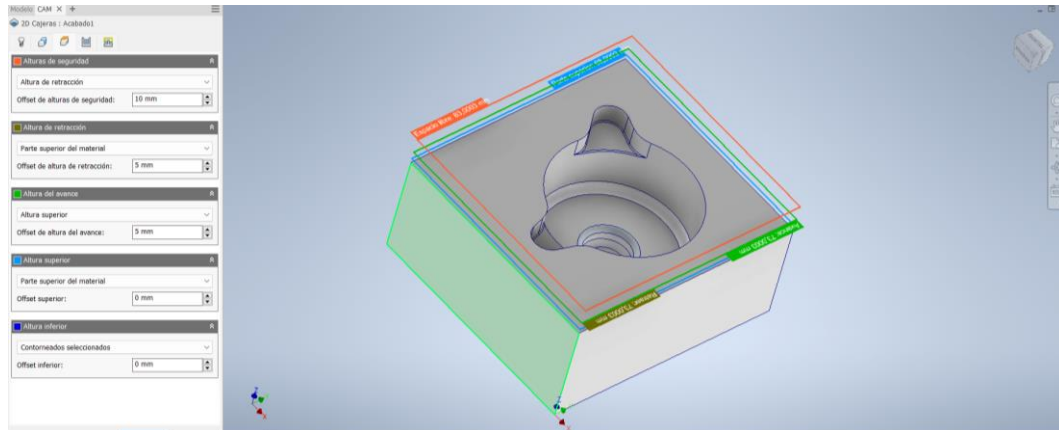


Figura 50. Pestaña "Alturas" acabado 1 cavidad.

En la pestaña "pasadas" se establece sobrepasada de 1mm y en la opción "varias profundidades" se define una reducción máxima de 7 mm. Importante que la opción sobre material este desactivada, debido a que estamos realizando operaciones de acabado con el fin de conseguir el estado superficial final. También se seleccionará la opción de suavizado en todas las operaciones donde esté disponible, cuya finalidad es reducir el código sin que se vea afectada la precisión.

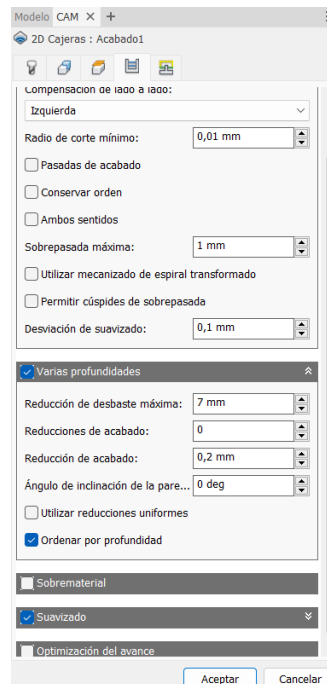


Figura 51. Pestaña "Pasadas" acabado 1 cavidad

Por último, la pestaña “vinculación”, no se modifica dejando la configuración predeterminada por el programa.

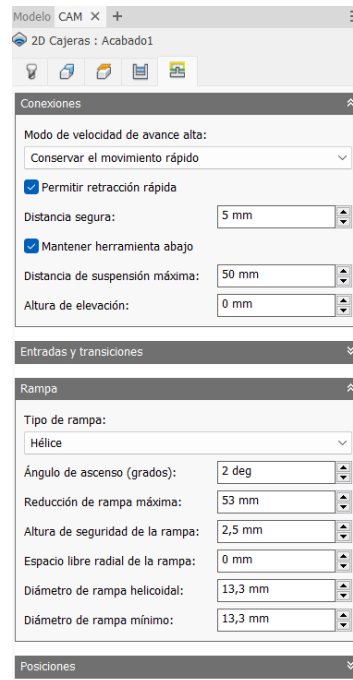


Figura 52. Pestaña "Vinculación" acabado 1 cavidad.

Una vez completado lo anterior procedemos a simular la operación dando lugar a lo que se puede examinar en la Figura 53:

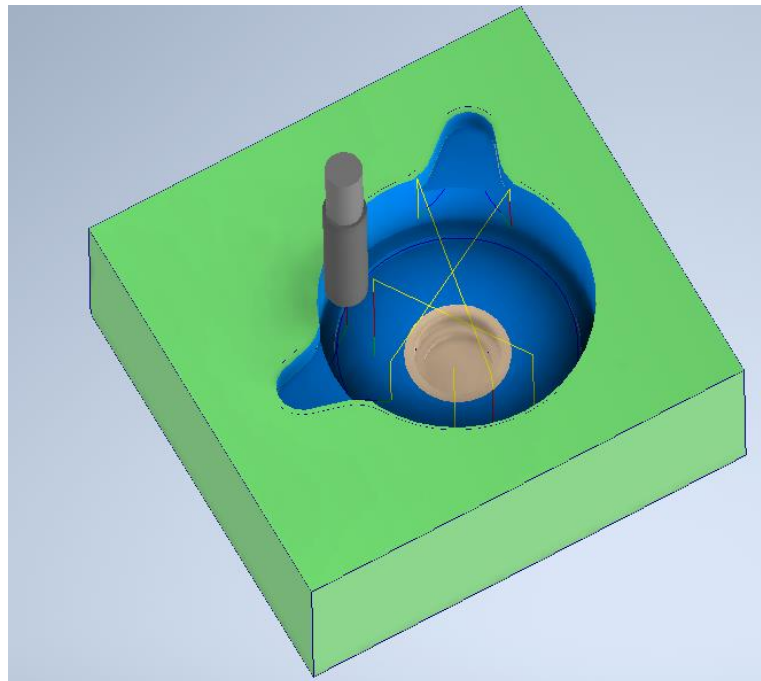


Figura 53. Simulación acabado 1 cavidad.

Teniendo la operación de acabado una duración de 1 minutos y 44 segundos.

### 6.4.3.2 Operación de acabado 2

Esta operación comparte características con la operación de acabado anterior, como la herramienta y la pestaña "Pasadas". También comparte la pestaña "Alturas", que cambiarán automáticamente según los contornos seleccionados, no se mencionarán nuevamente para evitar redundancias.

Para realizar esta operación, se selecciona la opción "2D Cajera" en la ficha "Fresado 2D".

Desarrollando los datos de la pestaña de "Geometría", se selecciona las aristas y superficies necesarias, siendo la geometría coincidente con el segundo desbaste debido a que esta operación tiene la finalidad de mecanizar sobre material dejado por esa operación, será necesario activar la opción de redesbaste e introducir los datos relacionados del a herramienta del desbaste para solo se elimine el material no mecanizado previamente.

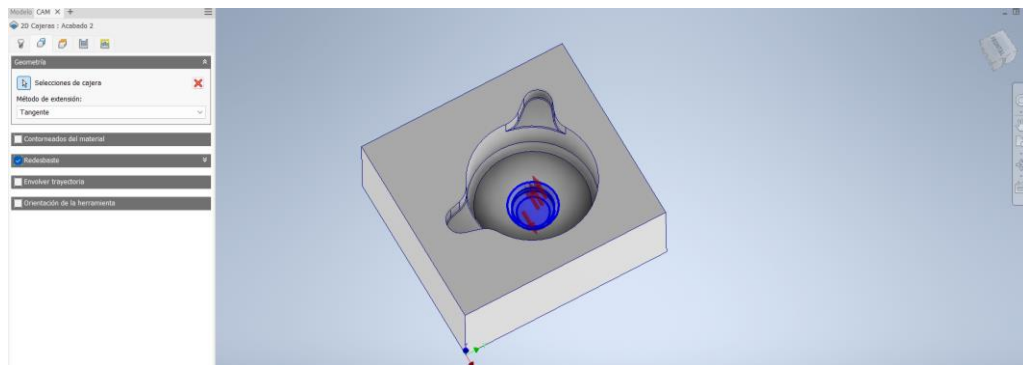


Figura 54. Pestaña "Geometría" acabado 2 cavidad.

En la pestaña de "Vinculación" se realizarán cambios respecto al anterior acabado. Estos cambios se centran en disminuir los valores de la rampa tipo hélice respecto a los predeterminados por el programa y de la operación.

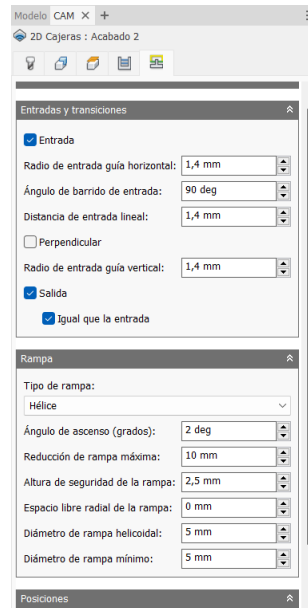


Figura 55. Pestaña "Vinculación" acabado 2 cavidad.

Respecto a la simulación de esta operación tiene lugar en 7 min, dejando una geometría que se puede estudiar en la Figura 56:

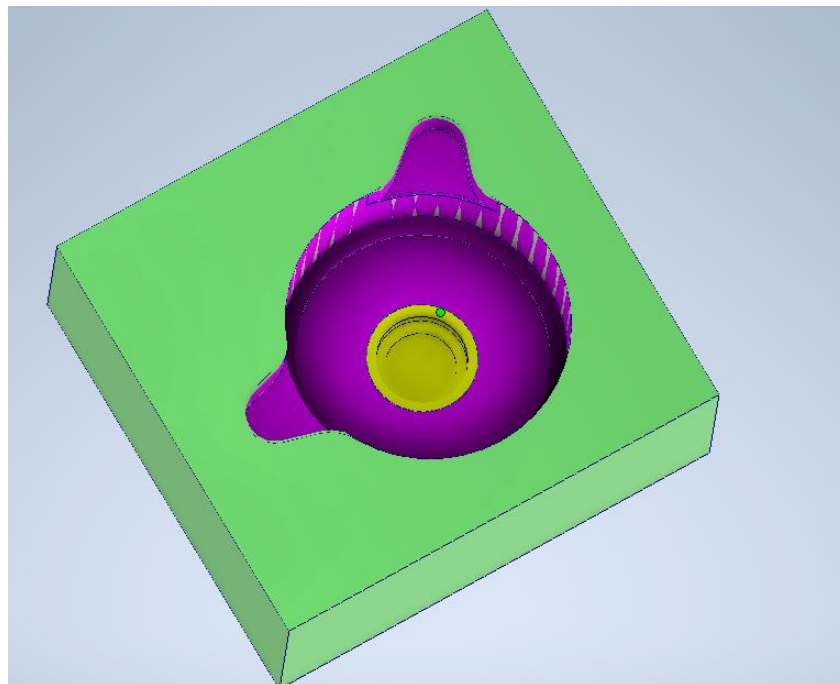


Figura 56. Simulación acabados cavidad.

#### 6.4.4 Acabado de redondeos.

Las próximas operaciones corresponden a redondeos, en este caso la cavidad dispone de un redondeo de R5 mm y dos de R3mm. Para su mecanizado se disponen de las fresas de bola de  $\varnothing 10\text{mm}$  y  $\varnothing 6\text{mm}$  del fabricante Iscar con referencia EB-A2.

Comenzaremos por el redondeo de R5mm.

#### 6.4.4.1 Acabado de redondeo R5mm.

Procederemos al mecanizado del R5mm de la cavidad usando la fresa de bola EB-A2 de diámetro 10mm.

Para esta operación se ha utilizado la operación “2D adaptativo” dentro de la ficha “Fresado 2D”

Comenzamos con la selección de la mencionada fresa en la pestaña “Herramienta”, importando automáticamente los datos de corte introducidos en la biblioteca. Dando lugar a los valores expuestos en la siguiente figura.



Figura 57.Pestaña "Herramienta" redondeo R5 mm.

En la pestaña de “Geometría” seleccionaremos la arista superior del redondeo y la superficie inferior. Como se puede observar en la Figura 58. Además, activando la opción de redesbaste para eliminar solo el material no mecanizado de los desbastes y acabadas anteriores.



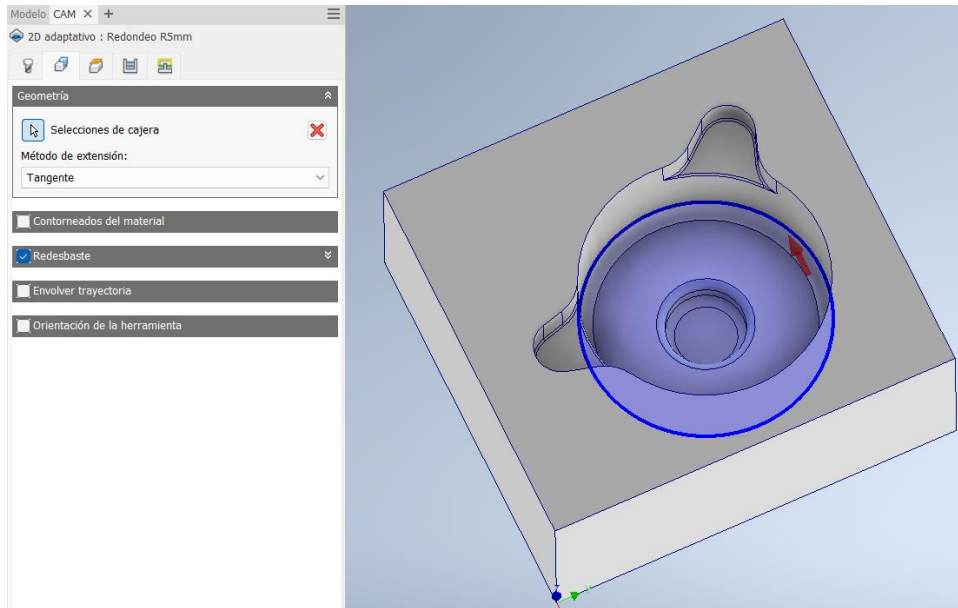


Figura 58. Pestaña "Geometría" redondeo R5 mm.

Siguiendo con la pestaña "Alturas", esta pestaña se ha modificado con respecto a operaciones anteriores, en esta operación se hace uso de la opción de selección de un plano en la altura inferior y eligiendo el plano coincidente con el fondo de la caja de mayor tamaño, comprobándose en la Figura 59.

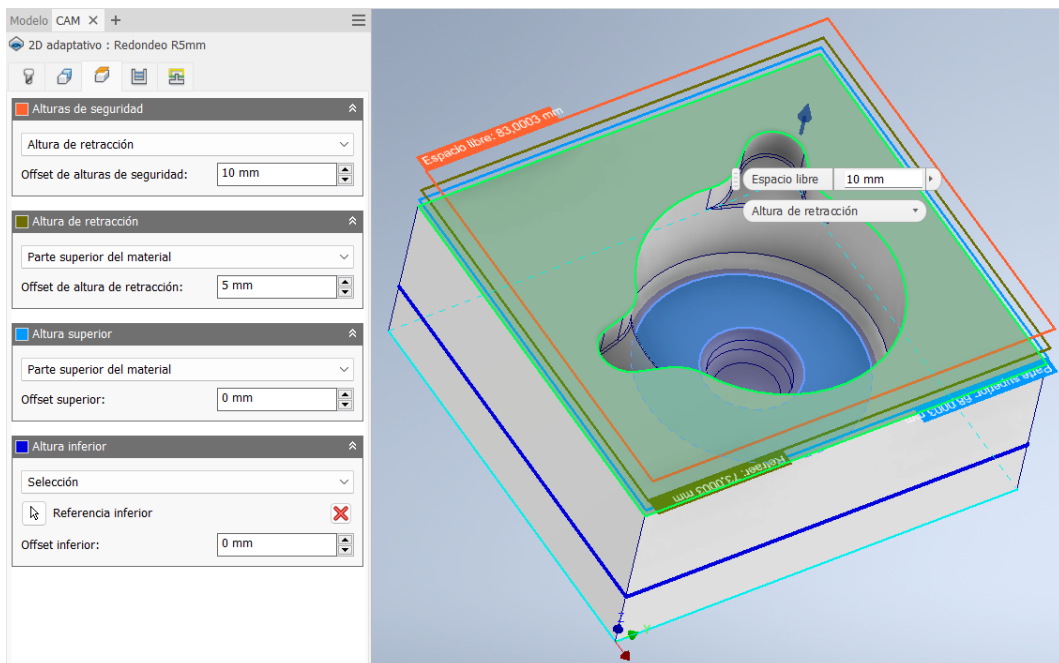


Figura 59. Pestaña "Alturas" redondeo R5 mm.

Prosiguiendo con lo relativo a la pestaña “Pasadas”. Se establece una carga óptima de 4mm y un radio de corte mínimo de 0,5 mm

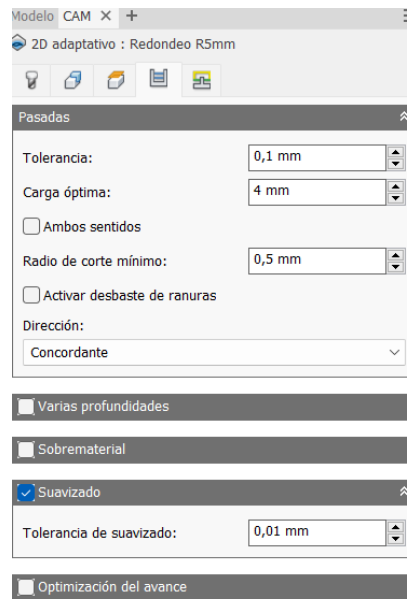


Figura 60. Pestaña "Pasadas" redondeo R5 mm.

Finalmente, en el apartado de “Vinculación” se mantienen los valores por defecto.

Simulando la operación, con una duración de 31 segundos, nos da lugar al siguiente resultado:

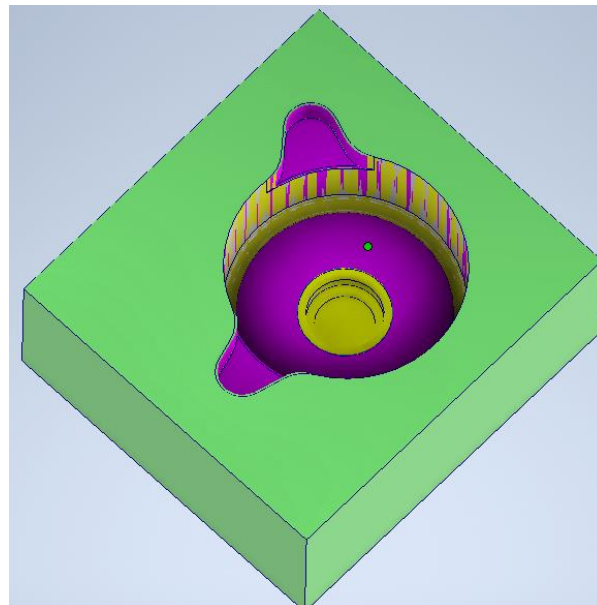


Figura 61. Simulación redondeo R5 mm.

#### 6.4.4.2 Redondeos de R3 mm.

Se realiza dos redondeos de R3 mm, teniendo en común todos los parámetros excepto la pestaña “geometría” y “Altura”, en esta última solo se diferencian en la selección del plano de la altura inferior.

Para esta operación se ha utilizado la operación “2D adaptativo” dentro de la ficha “Fresado 2D”

Comenzando por la herramienta, disponemos de una fresa de bola de diámetro 10 mm, del fabricante Iscar. Como ya se descrito antes se selecciona dicha herramienta de la fresa con los datos de corte necesarios.

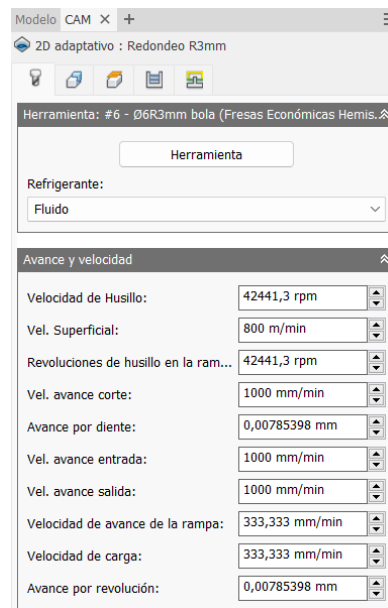


Figura 62. Pestaña "Herramienta" redondeos R3mm

En cuanto a la pestaña “geometría” se selecciona la arista superior del dicho redondeo y teniendo que estar habilitada la opción de redesbaste. Y con relación a “Alturas” para la altura inferior se indica el contorno o superficie inferior de los mencionados redondeos. Quedando de la siguiente manera.

- Primer redondeo R3mm. Se puede examinar en las figuras 63 y 64.

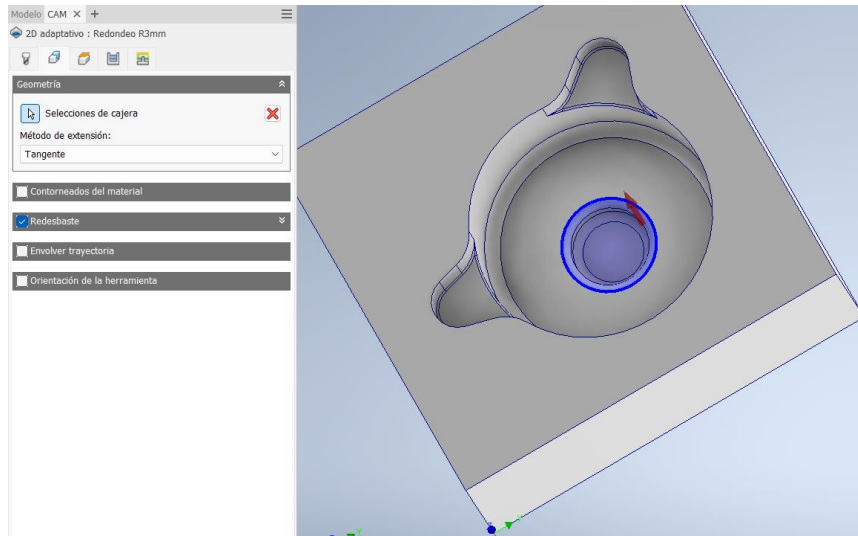


Figura 63. Pestaña "geometría" 1º redondeo R3 mm.

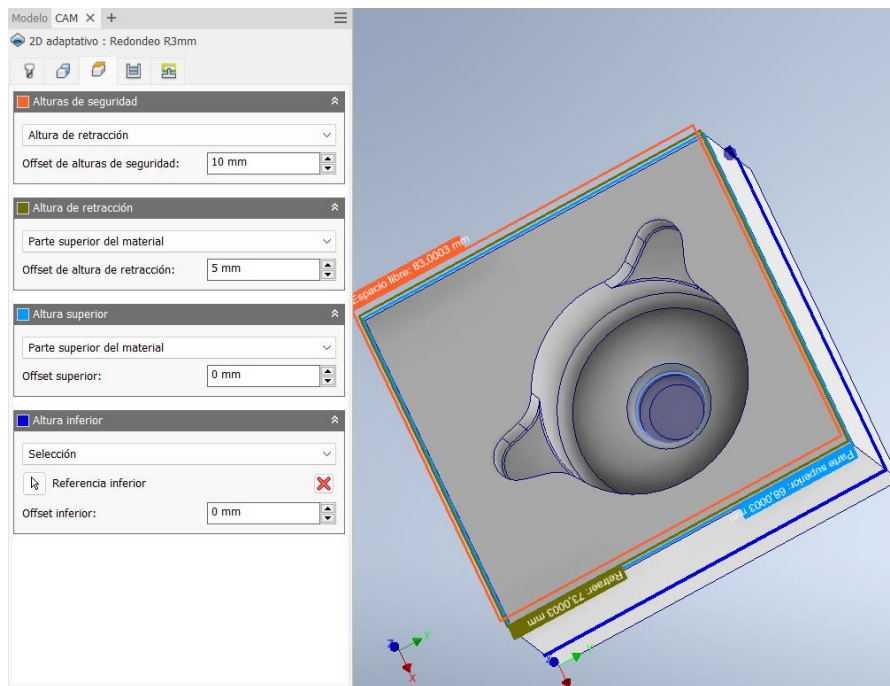


Figura 64. Pestaña "Alturas" 1º redondeo R3mm

- Segundo redondeo R3 mm. Se pueden apreciar en las siguientes figuras 65 y 66.

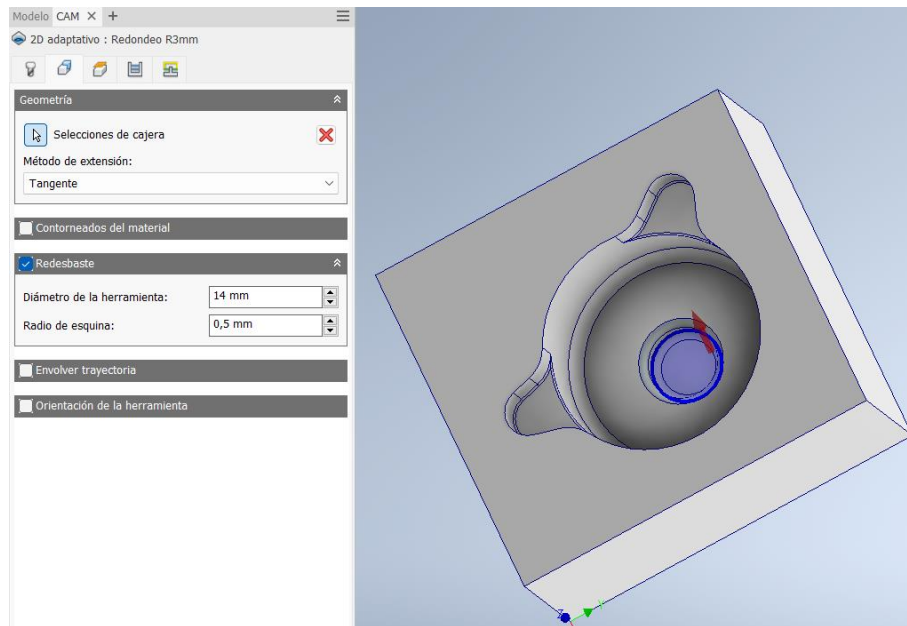


Figura 65. Pestaña "Geometría" 2º redondeo R3 mm.

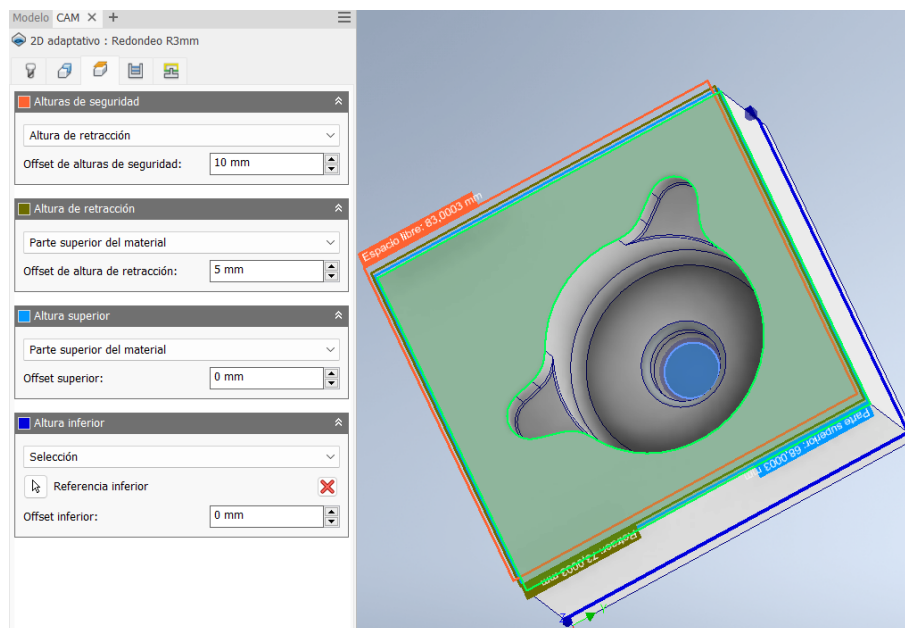


Figura 66. Pestaña "Alturas" 2º redondeo R3 mm.

Siguiendo con “Pasadas”, el parámetro carga óptima se fija en 2,4 mm y el radio mínimo 0,5 mm. Como en la totalidad de las operaciones en el suavizado esta activado.

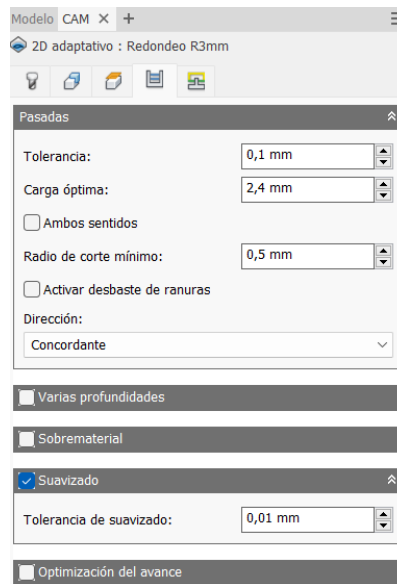


Figura 67. Pestaña "Pasadas" redondeos R3 mm.

Finalmente, en la pestaña “Vinculación”, mantendremos por completo los valores por defecto

Con la ejecución de estas operaciones, el mecanizado del molde con lo que concierne a la cavidad está concluido. Añadiendo los tiempos de simulación de estos redondeos, 21 y 4 segundos respectivamente, se llega a un tiempo total de mecanizado de 33 minutos y 31 segundo y un resultado:

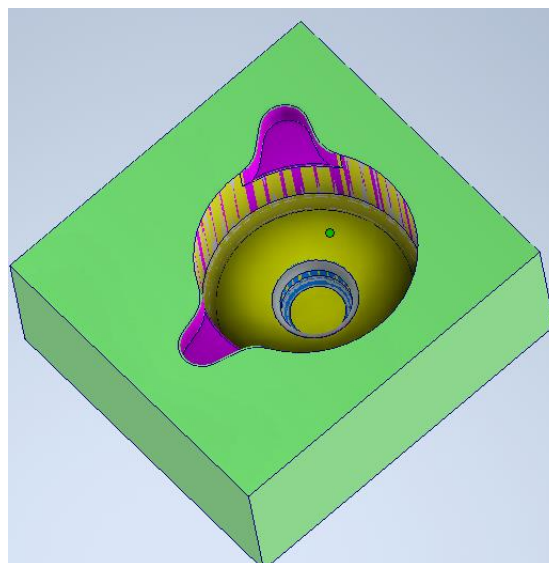


Figura 68. Simulación final cavidad.

## 6.5 Estrategia mecanizado postizo del molde

Una vez realizado el mecanizado de la cavidad, se procede a detallar de igual manera el del postizo. Esta parte del molde es más compleja por lo que conlleva mayor número de operaciones y el uso de estrategias no usadas anteriormente. Además, se ha dividido las operaciones en dos secciones: la sección del contorno exterior y el contorno interior correspondiendo este al mecanizado de las cajas centrales.

### 6.5.1 Mecanizado contorno exterior.

#### 6.5.1.1 Estrategia de planeado.

La primera operación programada es un planeado en la cara superior para eliminar 3mm de sobre material. Esto garantiza la tolerancia dimensional del molde y asegurando que ambas partes se unan de manera satisfactoria.

Para realizar esta operación, se selecciona la opción "Planeado" en el "Fresado 2D". Se abrirá una ventana con pestañas y campos para introducir la información de la operación, detallado en el apartado 5.2.3.

En la pestaña "herramienta", se accede a la biblioteca de herramientas, en este planeado la fresa a utilizar coincide con el planeado anterior.

El siguiente paso en el proceso de planeado es elegir la geometría apropiada. En este caso, no se modifica nada de lo determinado por el programa.

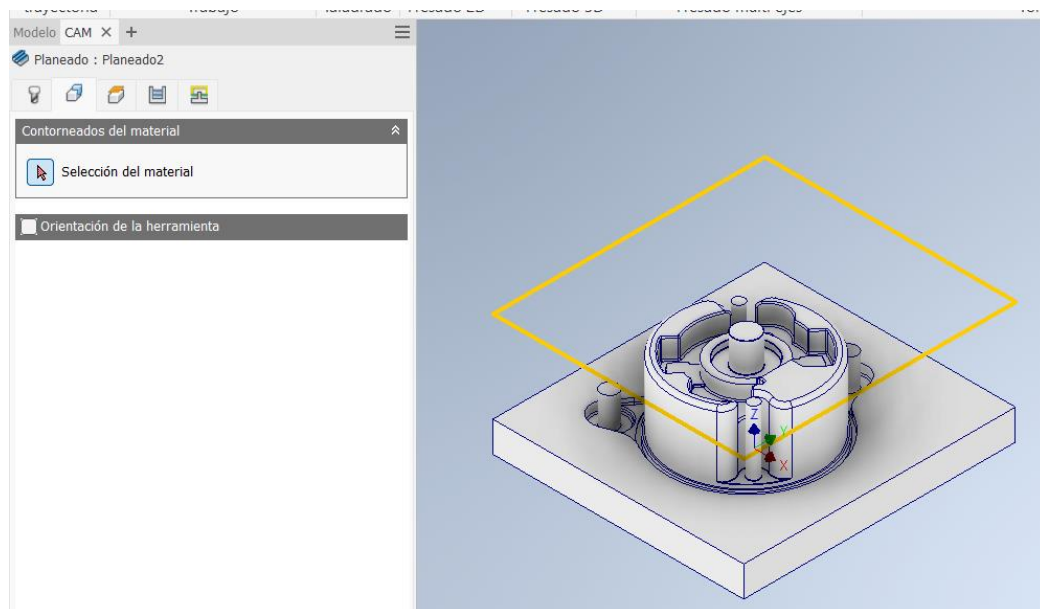


Figura 69. Pestaña "Geometría" planeado postizo.



Seguidamente en la pestaña “Alturas” se introducirán los siguientes parámetros:

- Altura de seguridad: Seleccionamos altura de retracción y un offset de 10mm con respecto a esta.
- Altura de retracción: Seleccionamos altura del material y un offset de 10mm con respecto a esta.
- Altura del avance: Seleccionamos altura superior y un offset de 5mm con respecto a esta
- Altura superior: Seleccionamos parte superior del material y un offset de 0mm con respecto a esta. Importante seleccionar la parte superior del material inicial.
- Altura inferior: Seleccionamos parte superior del modelo y un offset de 0mm con respecto a esta. Este parámetro determina donde finaliza la operación.

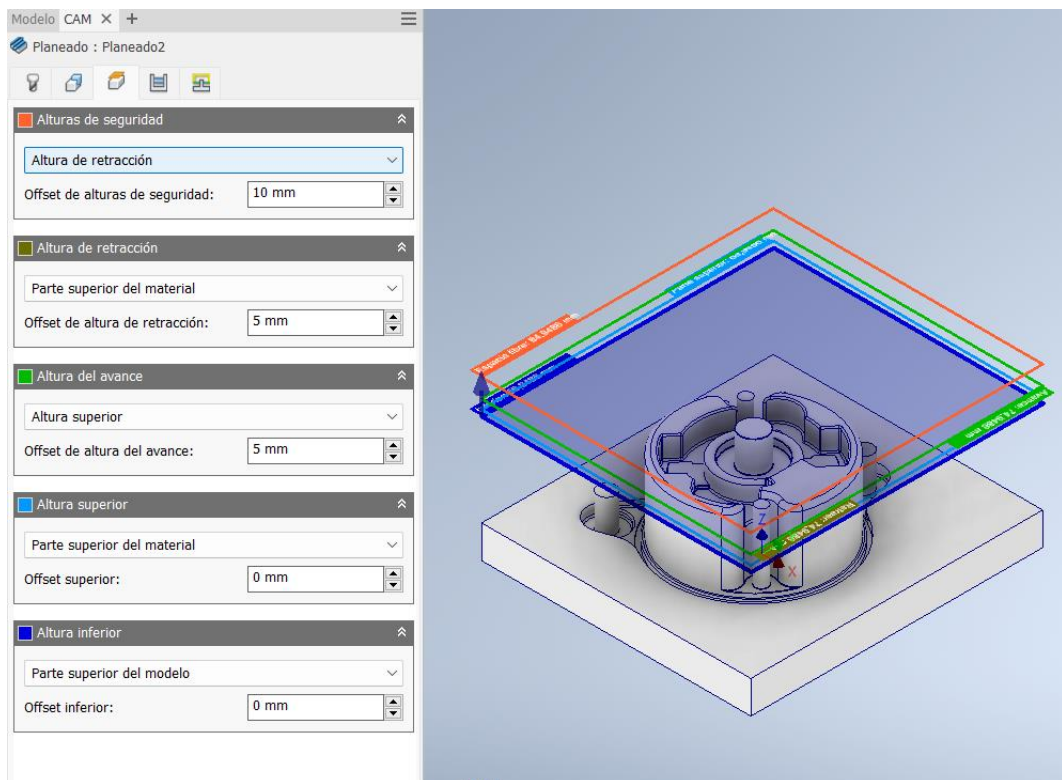


Figura 70. Pestaña "Alturas" planeado postizo.

En la pestaña "pasadas" se establece una sobrepasada del 50% del diámetro de la herramienta. En la pestaña "varias profundidades" se define una reducción máxima de 2,5 mm con una pasada de acabado de 0.5 mm, realizando el planeado en dos pasadas, siendo la última de acabado. Todo



ello mientras la opción de sobre material esta deshabilitada ya que estamos en una operación de acabo

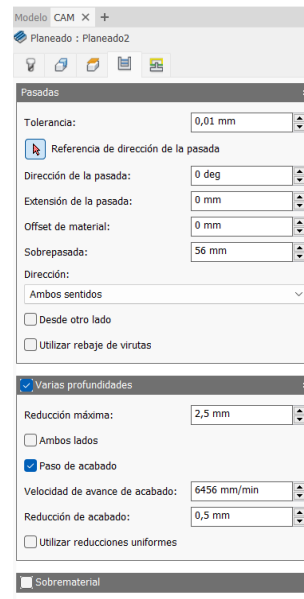


Figura 71. Pestaña "Pasadas" planeado postizo.

Por último, la pestaña “vinculación”, no se modifica dejando la configuración predeterminada por el programa.

El planeo tiene una duración de 28 segundos.

#### 6.5.1.2 Operaciones de desbaste del contorno exterior del postizo.

Se componen de tres operaciones de desbaste, en los que hacen uso de la misma herramienta de mecanizado. Para realizar estas operaciones, se selecciona la opción "2D Cajera" en la ficha “Fresado 2D”.

Comenzando por la herramienta, se utiliza una fresa frontal de desbaste de diámetro 22 mm del fabricante izar, cuyos datos de corte han sido previamente calculado de la manera explicada anteriormente en esta memoria.

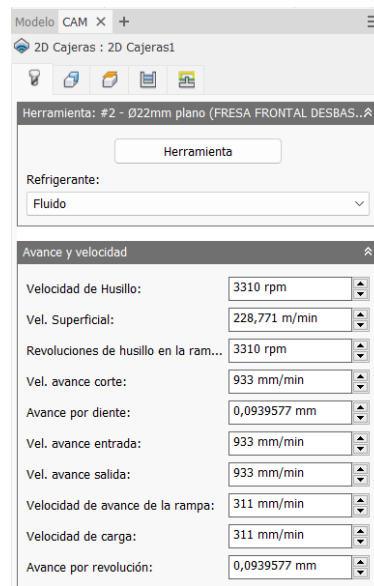


Figura 72. Pestaña "Herramienta" desbastes.

### 1º Desbaste:

Se elige la geometría que se puede observar en la siguiente figura:

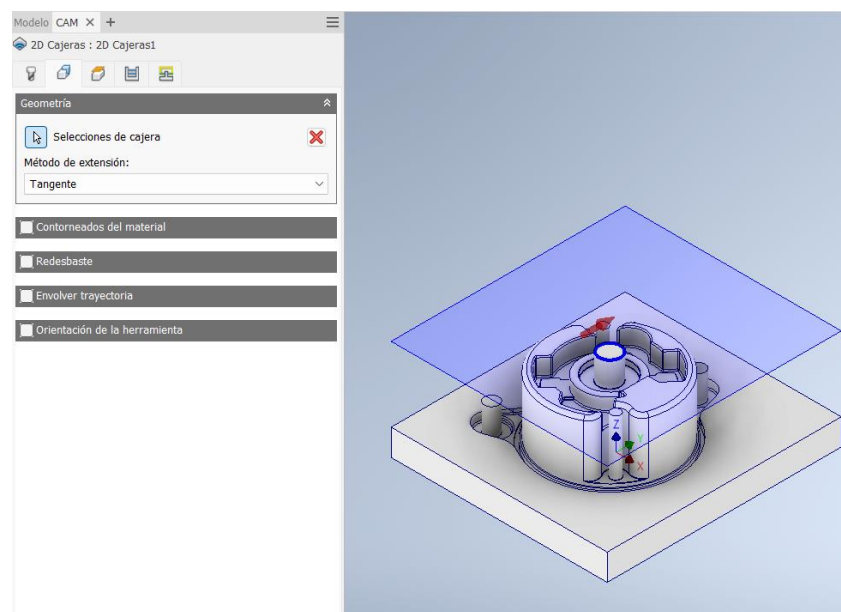


Figura 73. Pestaña "Geometría" 1º desbaste.

En la Pestaña "Alturas" se utilizan los valores usados anteriormente, a excepción de la altura inferior, que se selecciona una cara donde se necesita que la operación finalice.

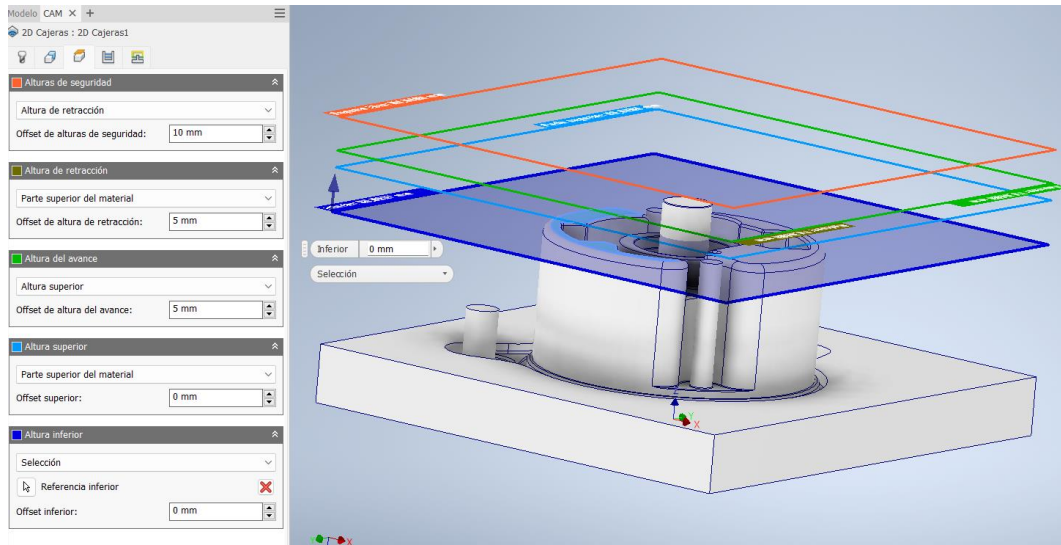


Figura 74. Pestaña "Alturas" 1º desbaste.

Prosiguiendo con lo relativo a la pestaña "Pasadas". Se establece un sobrepasada máxima de 6mm, una reducción de redesbaste máxima de 10mm. Además, se activa la opción de sobre material, indicando 1 mm radial y axial.

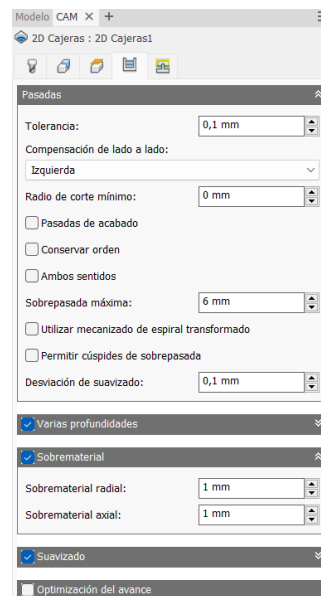


Figura 75. Pestaña "Pasadas" 1º desbaste.

En el apartado "Vinculación" se modifican los valores predeterminados por Inventor.

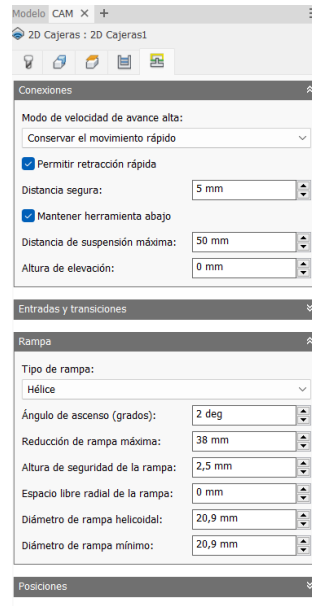


Figura 76. Pestaña "Vinculación" desbaste contorno exterior.

## 2º Desbaste.

Haciendo uso de la geometría que se puede apreciar en la siguiente imagen:

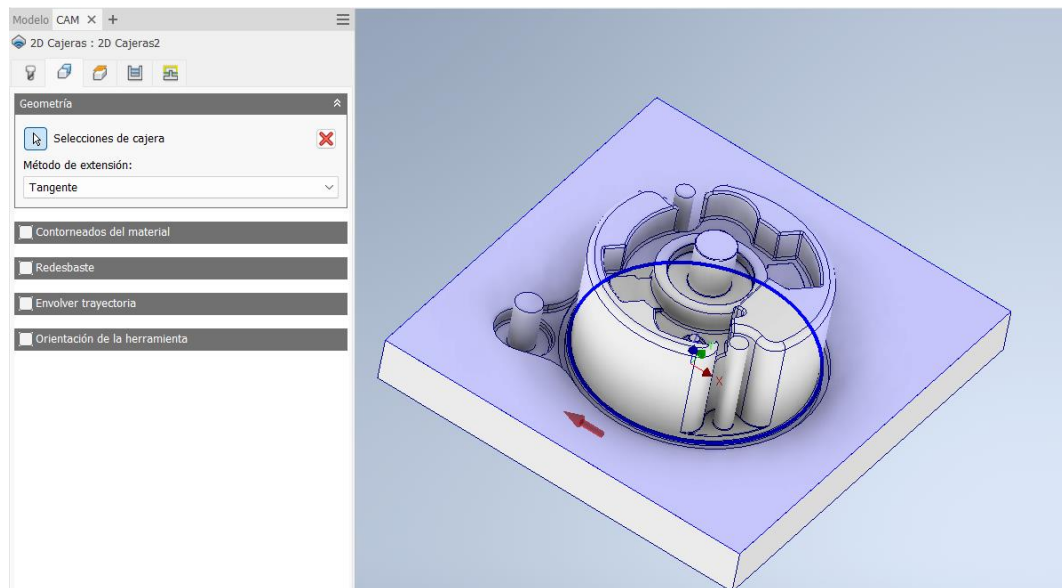


Figura 77. Pestaña "Geometría" 2º desbaste.

En cuanto a "Alturas" se selecciona la parte superior de una de las extrusiones cilíndricas del contorno exterior con un offset de 1mm para dejarle como sobre material.

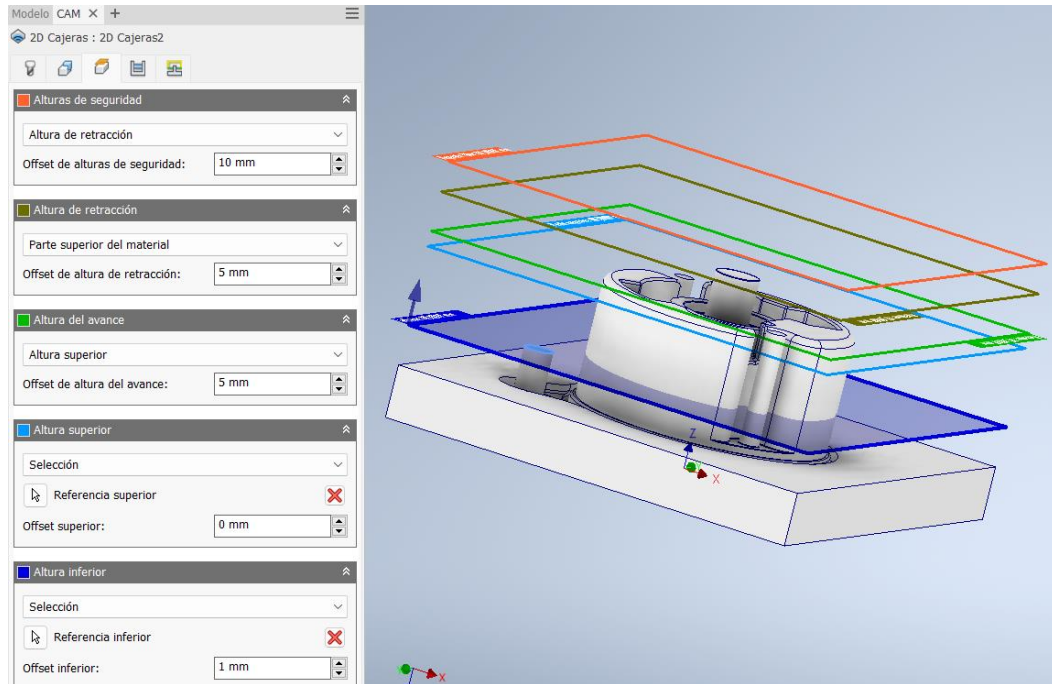


Figura 78. Pestaña "Alturas" 2º desbaste.

Continuando con "Pasadas", se mantienen los valores del primer desbaste con el cambio que en esta operación se deshabilita la opción de sobre material.

En esta operación como en el anterior desbaste en la pestaña "Vinculación" no se modifican los valores originales, coincidiendo estos con la operación anterior.

### 3er Desbaste.

A continuación, se muestra la geometría elegida para esta operación.

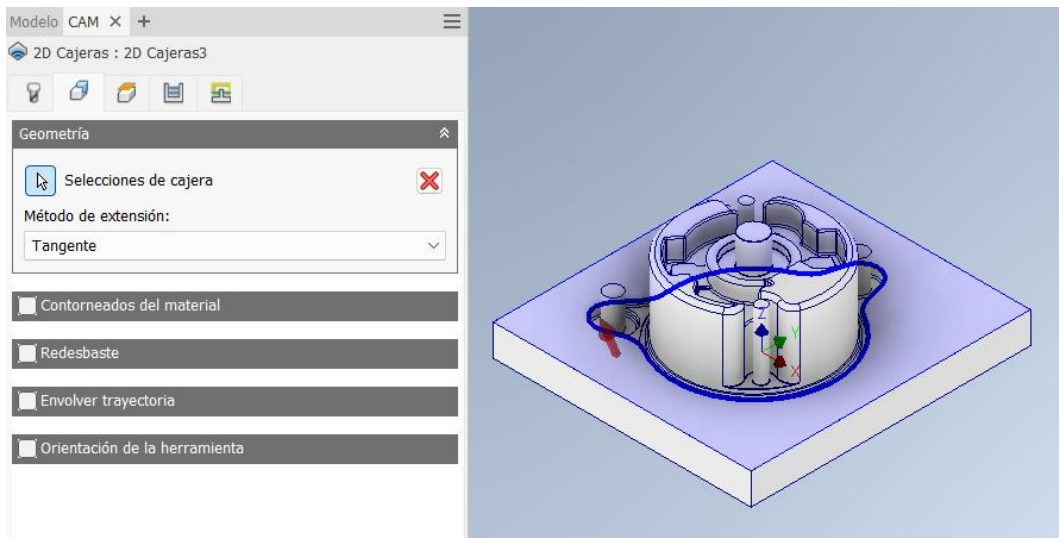


Figura 79. Pestaña "Geometría" 3er desbaste.

En la pestaña “Alturas” de manera análoga a la anterior se mantienen los valores a excepción de la selección de la altura interior, seleccionando ahora la cara de contacto inferior del molde.

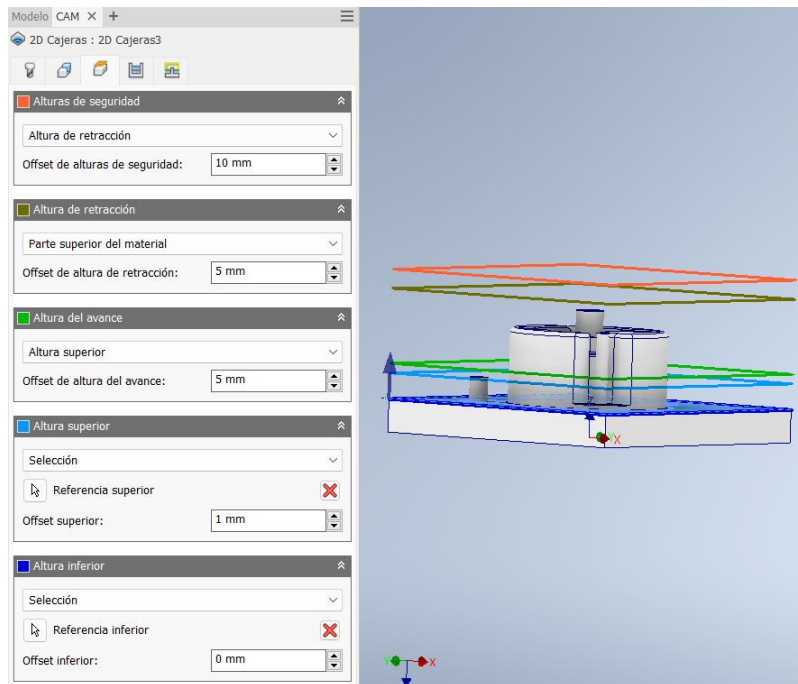


Figura 80. Pestaña "Alturas" 3<sup>er</sup> desbaste.

Seguidamente, con lo respectivo a “Pasadas” se mantienen los valores inalterados, cambiando el sobre material a dejar a 2mm de forma axial, que se mecanizaran en operaciones posteriores para que la precisión y calidad superficial sean las necesarias, debido a que esta superficie es la cara de contacto con la otra parte del molde.

Como en la operación anterior no se realizan cambios en la pestaña “Vinculación”.

La ejecución de todas las operaciones de desbaste da como resultado la siguiente geometría tras 37 minutos y 4 segundos.

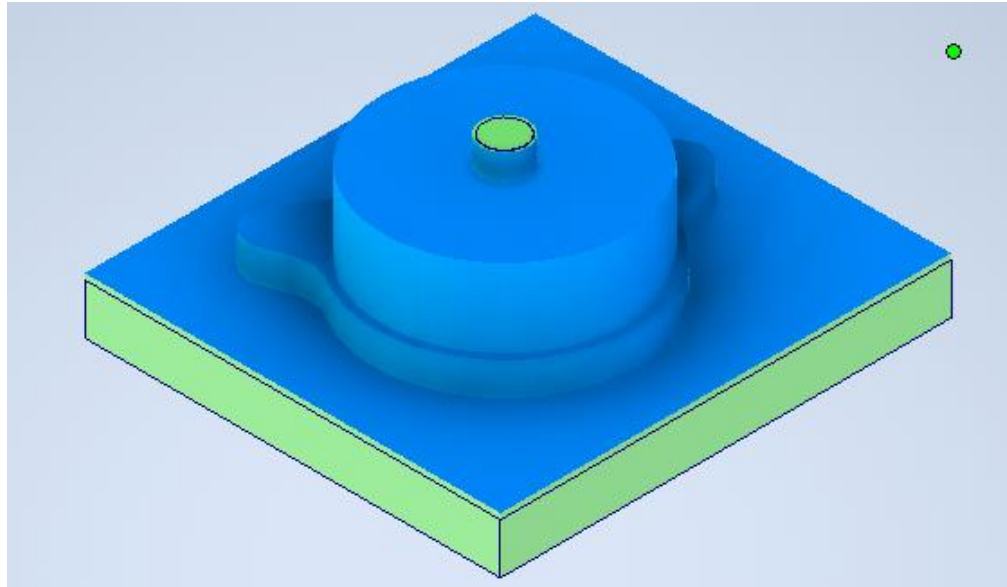


Figura 81. Simulación desbaste contorno exterior.

#### 6.5.1.3 Operaciones de acabado del contorno exterior del postizo.

En el presente apartado se desarrolla las estrategias de acabado del contorno exterior con un total de siete operaciones de acabado además de dos operaciones de redondeo.

##### a) Estrategia de acabado 1.

Para esta operación haremos uso de la operación “2D Cajera” incluida en la ficha de operaciones “Fresado 2D”. Comenzando por la primera pestaña referente a la herramienta, fresa frontal acabado hsse 8% co 3z aluminio larga de diámetro 10mm del fabricante izar, esta fresa también será utilizada en posteriores operaciones.



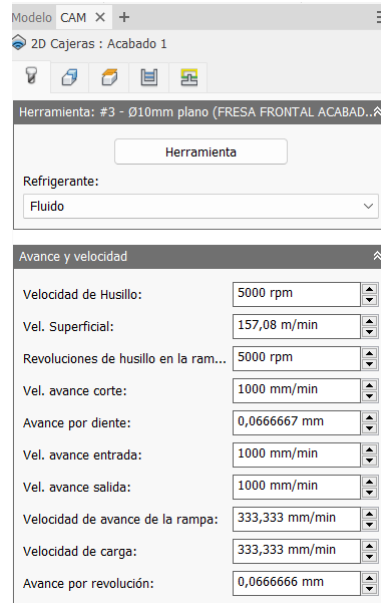


Figura 82. Pestaña "Herramienta" acabado 1.

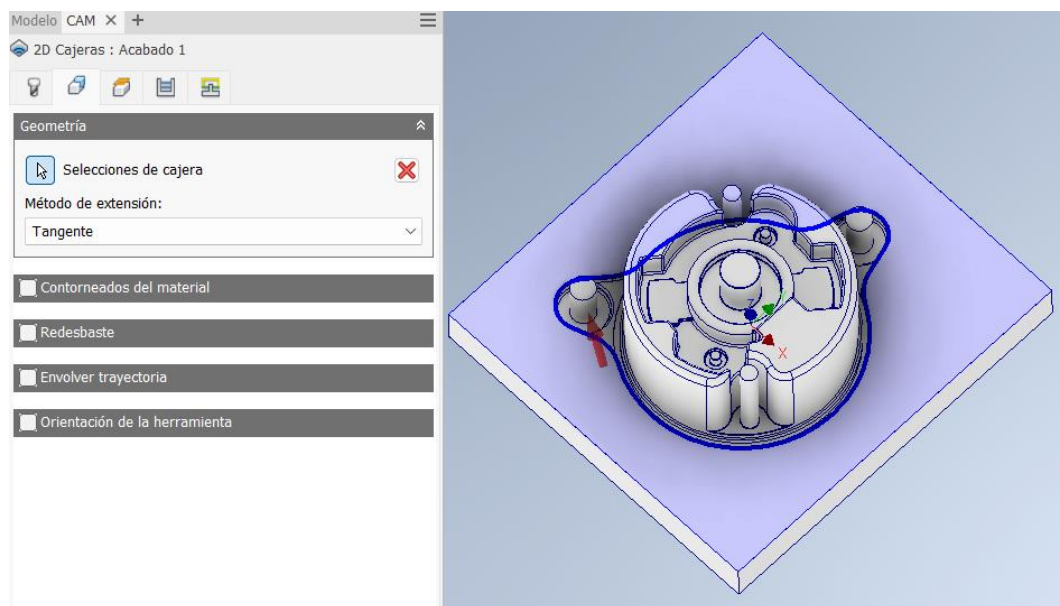


Figura 83. Pestaña "Geometría" acabado 1.

En la pestaña “Geometría” se utiliza la misma selección que en el último desbaste, siendo esta la operación de acabado mencionada en dicha operación.

Respecto a las alturas a utilizar son las utilizadas en la 3ª operación de desbaste con la misma selección de altura inferior.

Los parámetros a utilizar en “Pasadas” serán una sobrepasada máxima de 5mm y una pasada de desbaste máxima de 6mm. Al ser una operación de desbaste la opción de sobre material tiene que estar desactivada.



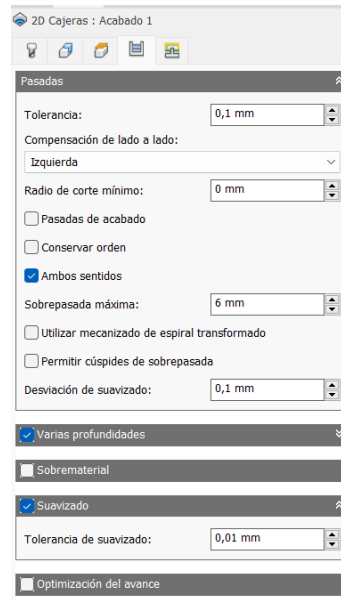


Figura 84. Pestaña "Pasadas" acabado 1.

Por último, en “Vinculación” no se realizará modificación alguna a los valores establecidos por el programa.

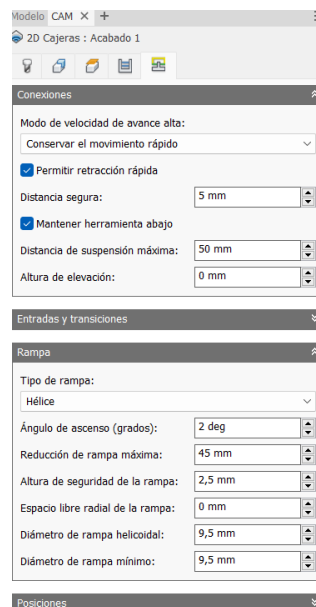


Figura 85. Pestaña "Vinculación" acabado 1.

### b) Estrategia de acabado 2.

Para esta operación haremos uso de la operación “2D Contorneado.” incluida en la ficha de operaciones “Fresado 2D”. La herramienta elegida para la operación es la misma que en la operación de acabado 1.

Siendo la geometría a mecanizar apreciable en la siguiente figura:

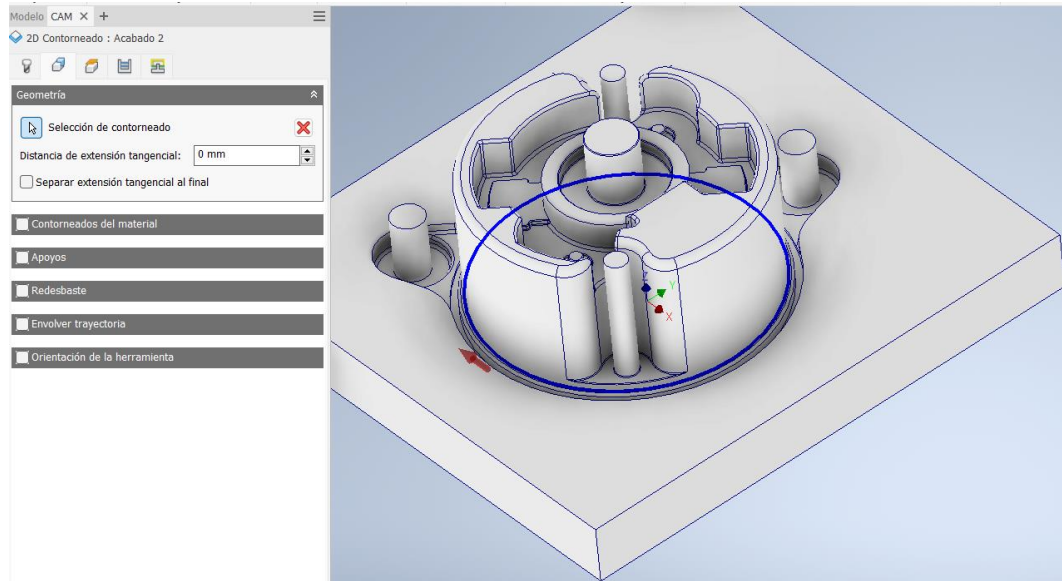


Figura 86. Pestaña "Geometría" acabado 2.

Los valores de las alturas se mantienen como las demás operaciones, con la diferencia en la altura inferiores se usa la opción de contornos seleccionados.

En la pestaña de "Pasadas" se mantienen los valores predeterminados por el software y añadiendo la opción de varias profundidades, fijando un valor de 5mm de reducción de desbaste máxima.

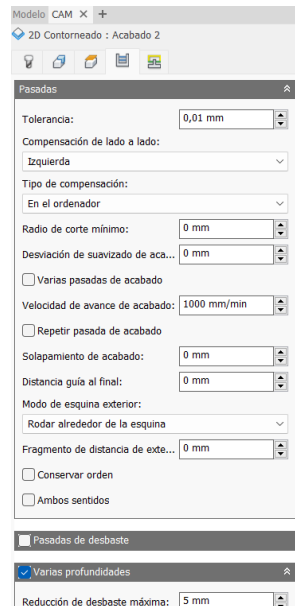


Figura 87. Pestaña "Pasadas" acabado 2.

No se agrega ninguna modificación en los parámetros de "Vinculación" relativo a los dados por Inventor.

### c) Estrategia de acabado 3

Para esta operación haremos uso de la operación “2D Cajera” incluida en la ficha de operaciones “Fresado 2D”. La herramienta con la que se ha llevado a cabo la operación es la misma utilizada en los acabados 1 y 2.

La geometría a mecanizar es el sobre material de 1mm dejado en unas de las operaciones de desbaste, para ellos seleccionamos las superficies de la base superior de las extrusiones cilíndricas.

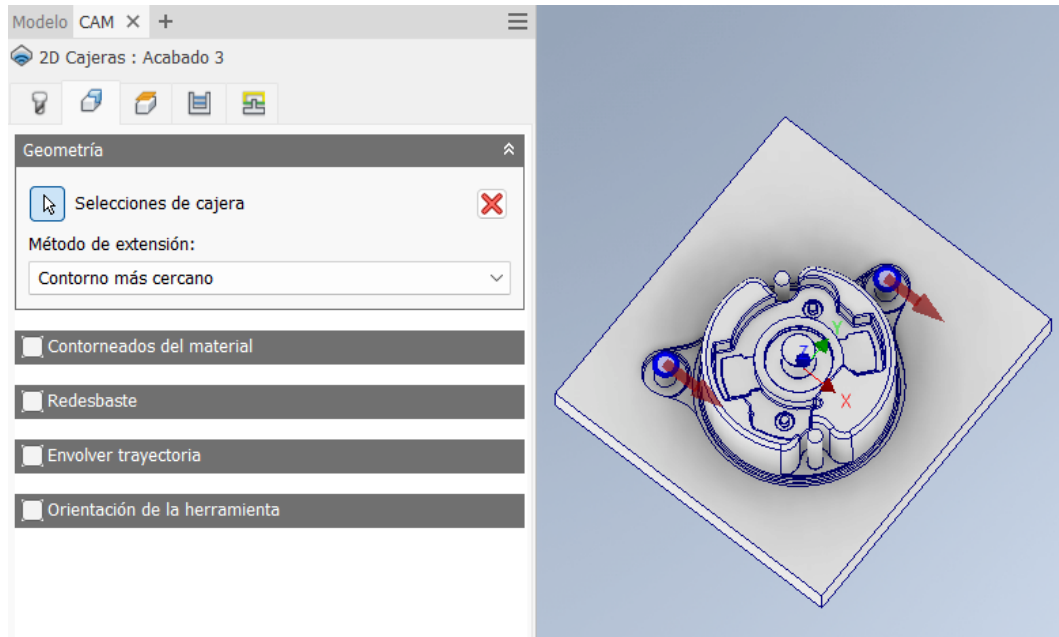


Figura 88. Pestaña "Geometría" acabado 3.

En la sección “Alturas” se selección las mismas superficies, coincidiendo con la altura inferior y con un offset de 1mm la altura superior.

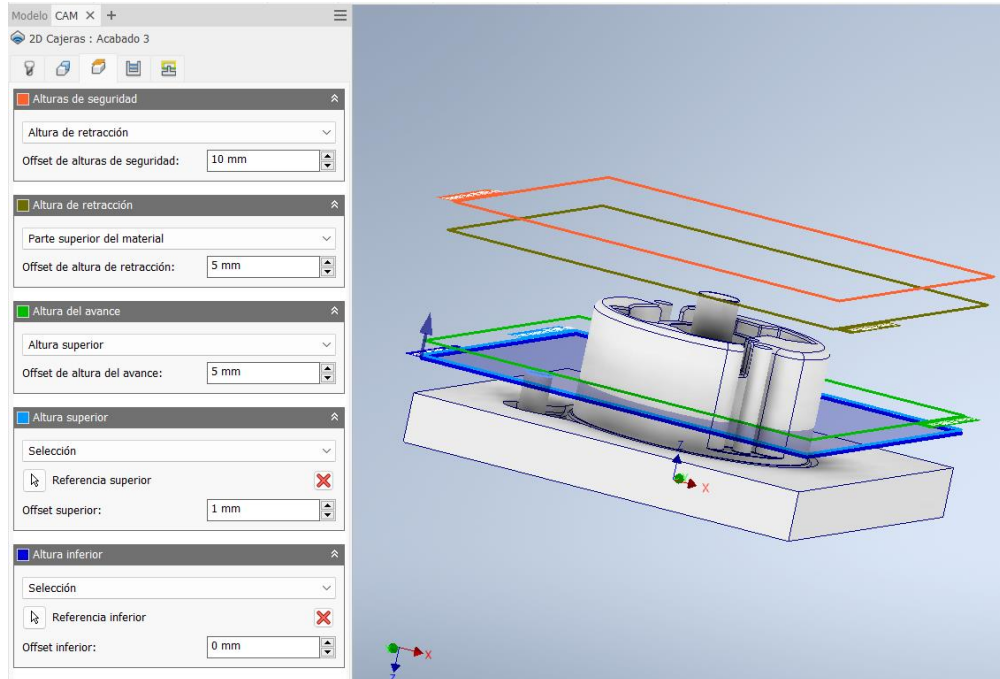


Figura 89. Pestaña "Alturas" acabado 3.

Los valores de sobrepasada y reducción de desbaste máxima con coincidentes y de valor 5mm.

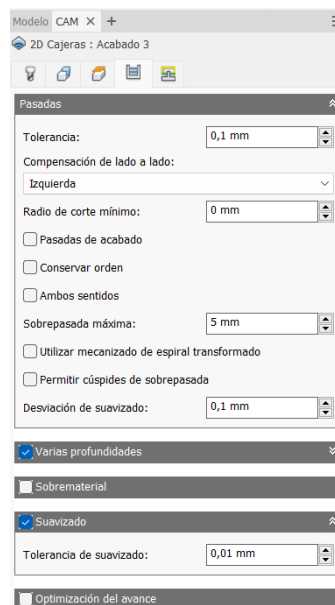


Figura 90. Pestaña "Pasadas" acabado 3.

Como en operaciones anteriores la pestaña "Vinculación" no será modificada.

#### d) Estrategia de acabado 4.

Para esta operación se hace uso de una nueva operación "Cajera" incluida en la ficha "Fresado 3D"

Empezando con la herramienta, es elegida la fresa frontal acabado hsse 8% co 3z aluminio larga con un diámetro de 4 mm. Con unos datos de corte calculados:



Figura 91. Pestaña "Herramienta" acabado 4.

Siguiendo con la determinación de la geometría a mecanizar, eligiendo los contornos siguientes:

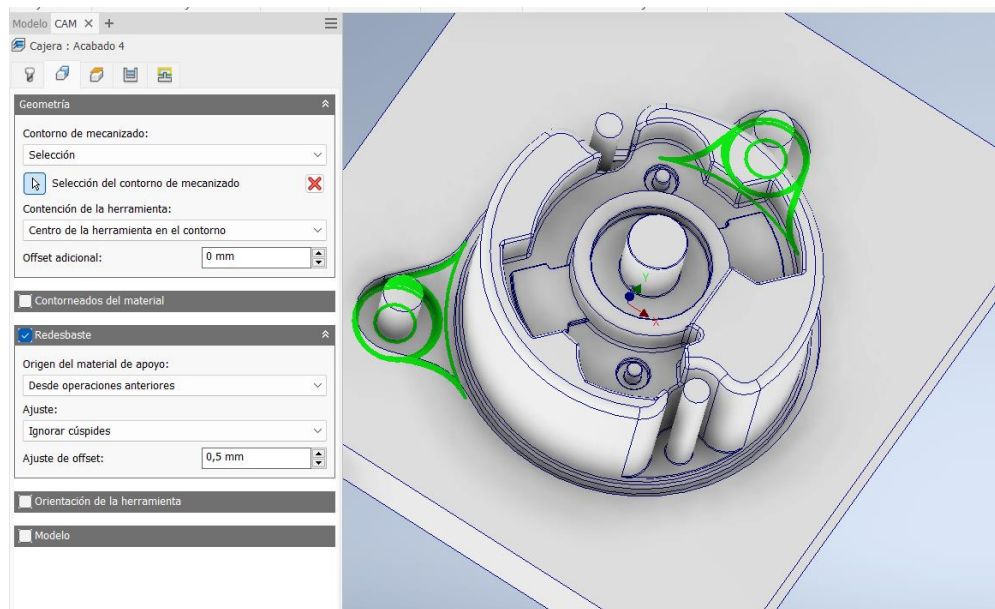


Figura 92. Pestaña "Geometría" acabado 4.

Resaltando que la opción de redesbaste tiene que estar habilitada para solo eliminar el material no mecanizado por operaciones anteriores.

Siguiendo con “Alturas”, las alturas superior e inferior son las proporcionadas por el programa y las demás se mantienen sin cambios respecto a operaciones anteriores.

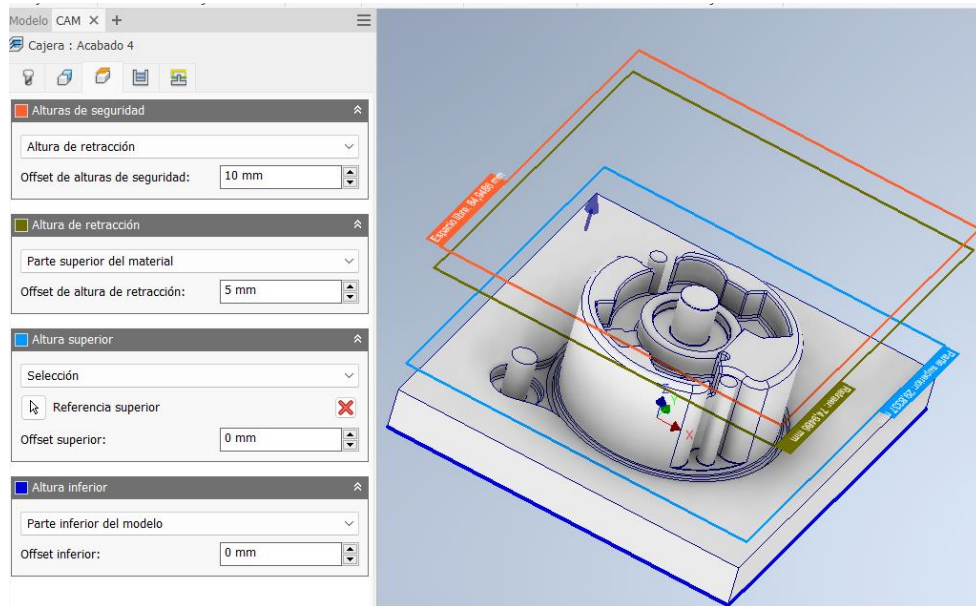


Figura 93. Pestaña "Alturas" acabado 4.

Los valores de parámetros como sobrepasada superficial máxima y reducción de desbaste máxima vienen definidos en la pestaña “Pasadas” y se pueden observar en la siguiente figura:

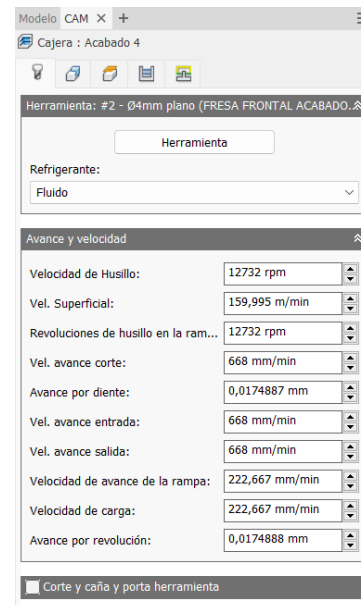


Figura 94. Pestaña "Pasadas" acabado 4.

Pestaña “Vinculación” se mantiene con los valores proporcionados por Inventor.

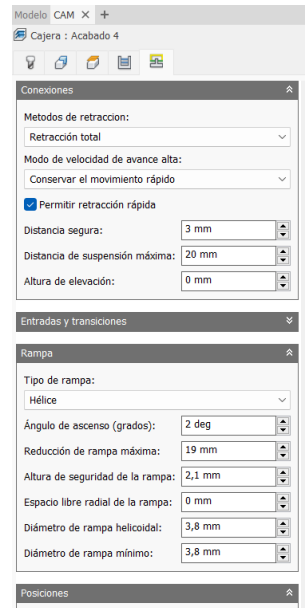


Figura 95. Pestaña " Vinculación" acabado 4.

e) Estrategia de acabado 5.

Operación realizada mediante "2D Cajeras" incluida en "Fresado 2D". La herramienta es común al acabado anterior.

En "Geometría" se seleccionan las cajeras siguientes:

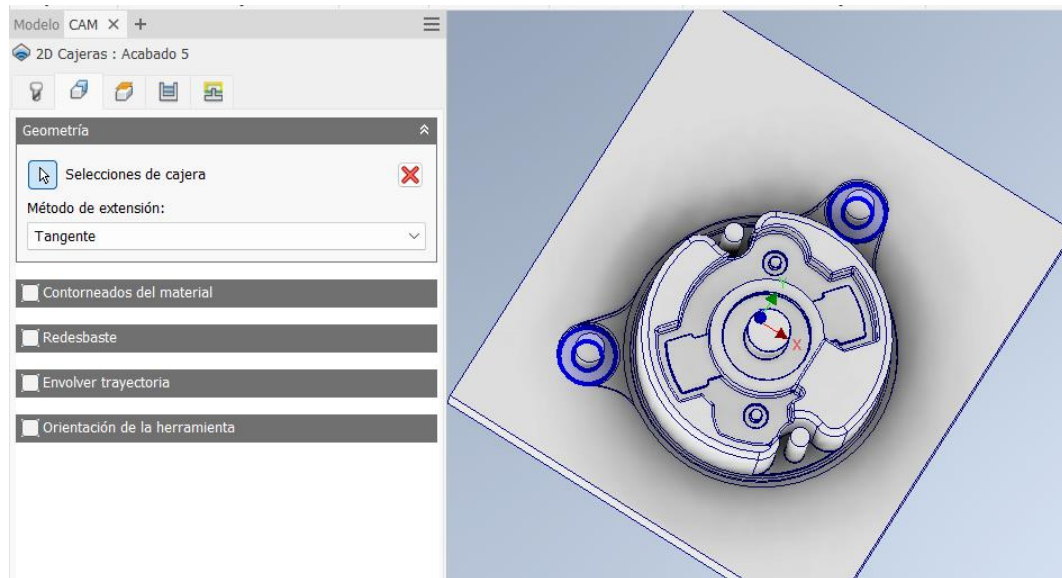


Figura 96. Pestaña "Geometría" acabado 5.

Los valores a introducir en "Alturas", altura superior se selecciona la superficie superior de los cilindros exteriores con un offset de 1mm y la altura inferior coincide con los contornos seleccionados.



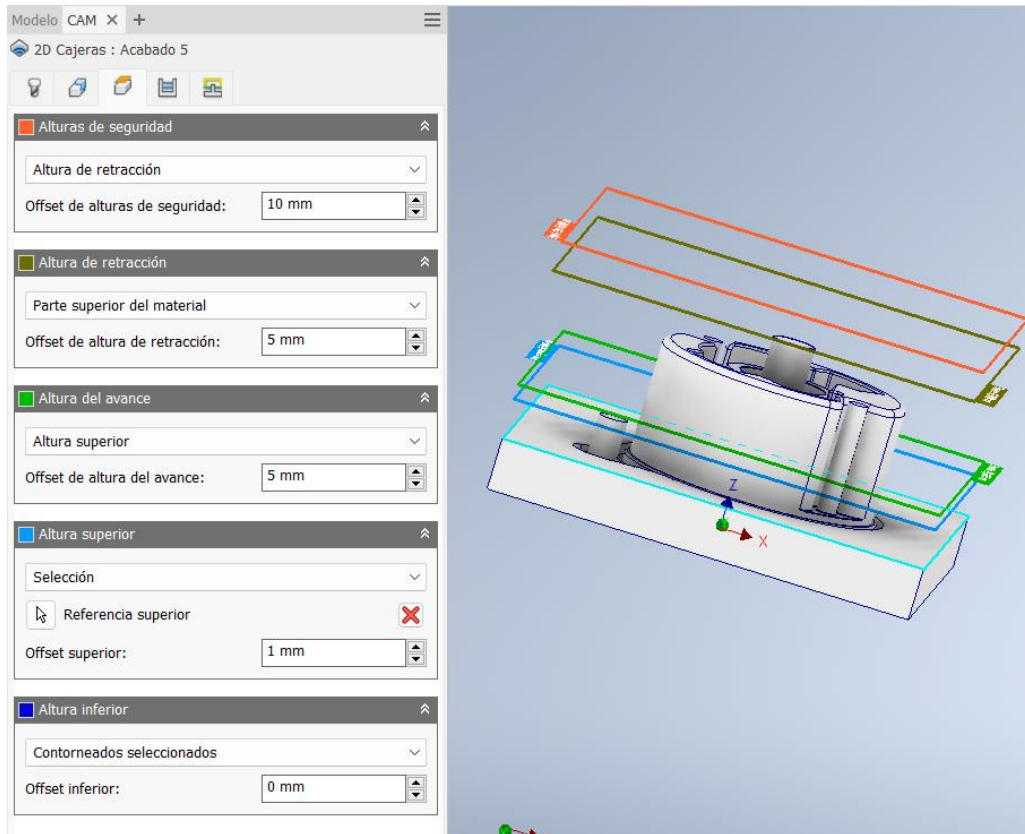


Figura 97. Pestaña "Alturas" acabado 5.

Los valores para determinar las pasadas de la herramienta toman el valor de 2 mm la sobrepasada máxima y 3mm la reducción de desbaste máxima. Con sobre material desactivado ya que nos encontramos en operaciones de acabado.

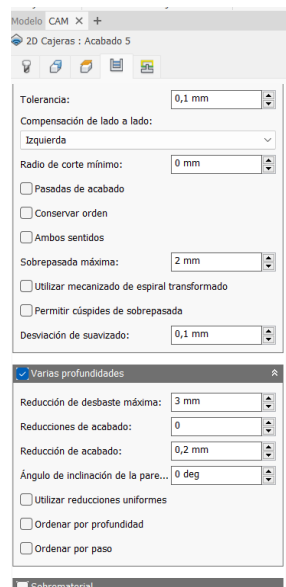


Figura 98. Pestaña "Pasadas" acabado 5"



En “Vinculación” no se realiza ningún cambio de los valores por defecto.

f) Estrategia de acabado 6.

Para esta operación se hace uso de “Cajera” incluida en la ficha “Fresado 3D”. Esta operación consiste en el mecanizado de la ranura inferior, usando la fresa metal duro 2z uso general de diámetro 2mm del fabricante izar.

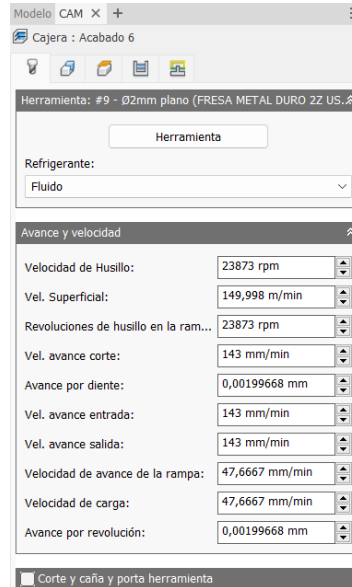


Figura 99. Pestaña "Herramienta" acabado 6

En “Geometría” se selecciona las aristas de la superficie inferior de la ranura.

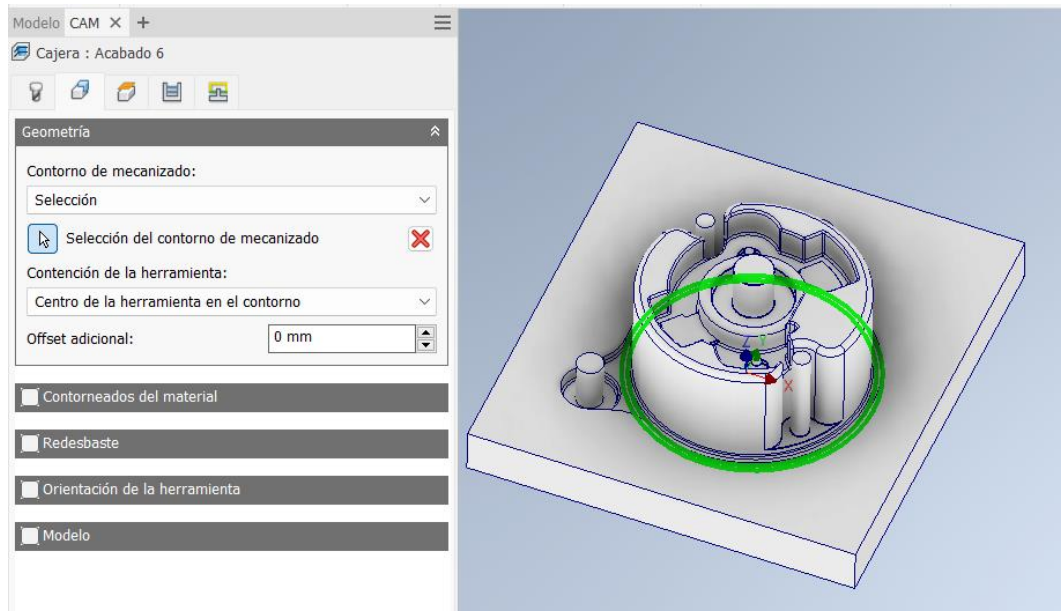


Figura 100. Pestaña " Geometría" acabado 6.

Las alturas se podrán observar en la posterior figura, siendo la altura superior la coincide con la cara de contacto inferior del molde.

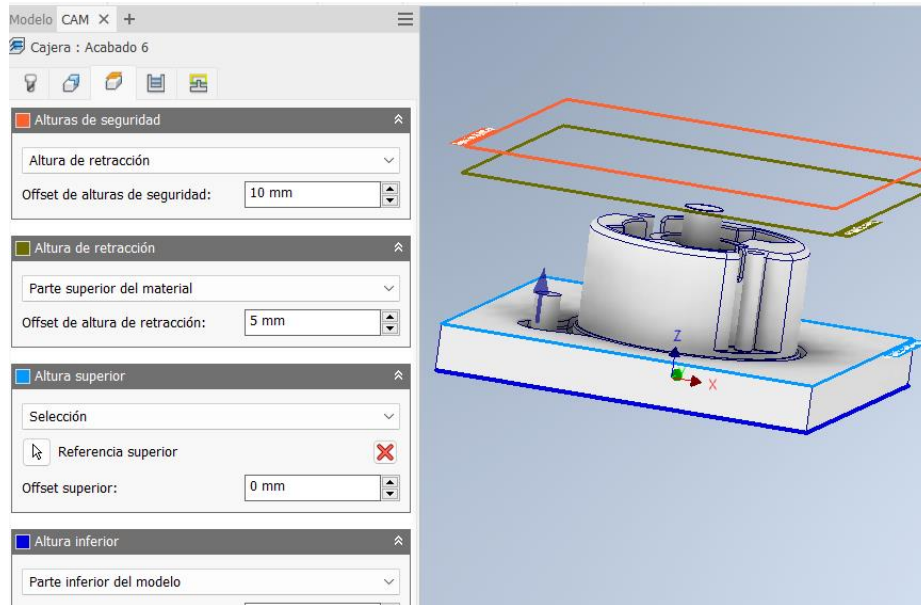


Figura 101. Pestaña "Alturas" acabado 6.

En lo referente a las pasadas se establece sobrepasado manual cuyo máximo valor es 1mm al igual que la de desbaste máxima. Además, se utiliza la detección de área plana.

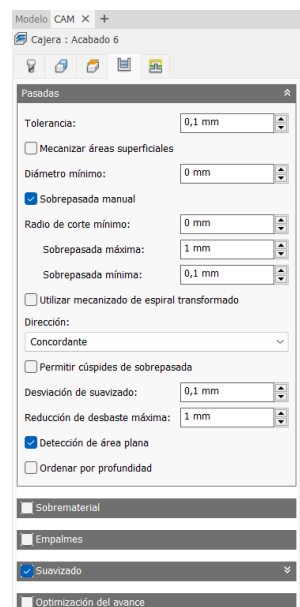


Figura 102. Pestaña "Pasadas" acabado 6.

No se modifica nada relacionado con la pestaña "Vinculación".

### g) Estrategia de acabado 7.

Para esta operación haremos uso de la operación “2D Cajera” incluida en la ficha de operaciones “Fresado 2D”. Comenzando por la primera pestaña referente a la herramienta, fresa frontal acabado hsse 8% co 3z aluminio larga de diámetro 10mm del fabricante izar, usada previamente.

En la sección de geometría se hace uso de la opción contornos del material para que la operación no se realice más allá de ese límite.

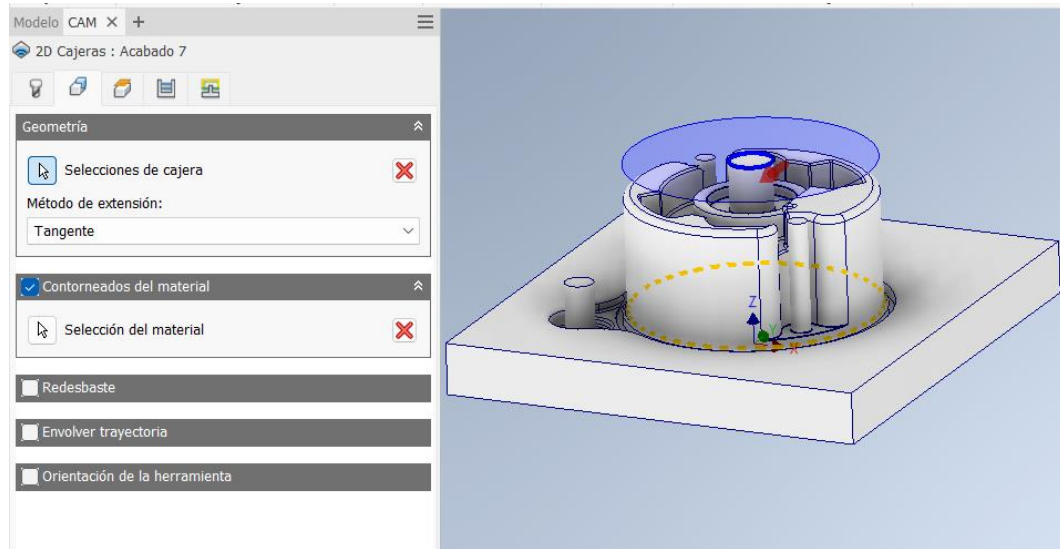


Figura 103. Pestaña "Geometría" acabado 7.

La pestaña de “Alturas” coinciden con las del primer desbaste y se pueden visualizar en la Figura 74. Además, los parámetros de pasadas coinciden con los usados en el acabado 3, pudiendo ser comprobados en la Figura 90.

Como en operaciones anteriores, tampoco son modificados los valores por defecto de “Vinculación”

### h) Redondeos de acabado R0,75 mm.

Son dos operaciones de redondeo en el que todas las pestañas son comunes, menos la que es idéntica, pero se ubican en diferente lugar del molde.

Para esta operación se hace uso de una nueva operación “Adaptativo” incluida en la ficha “Fresado 3D”. Se ejecutará con la fresa hemisférica de Metal Duro Integral de 1,5mm de diámetro cuyo fabricante es iscar. Cuyos datos de corte son:

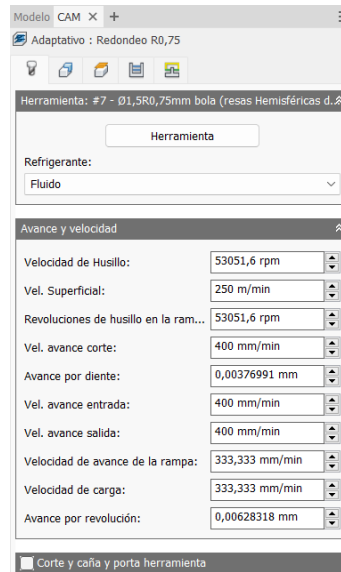


Figura 104. Pestaña "Herramienta" redondeos R0,75 mm.

Se seleccionan los redondeos de R0,75mm activando el redesbaste para asegurar solo mecanizar el material restante.

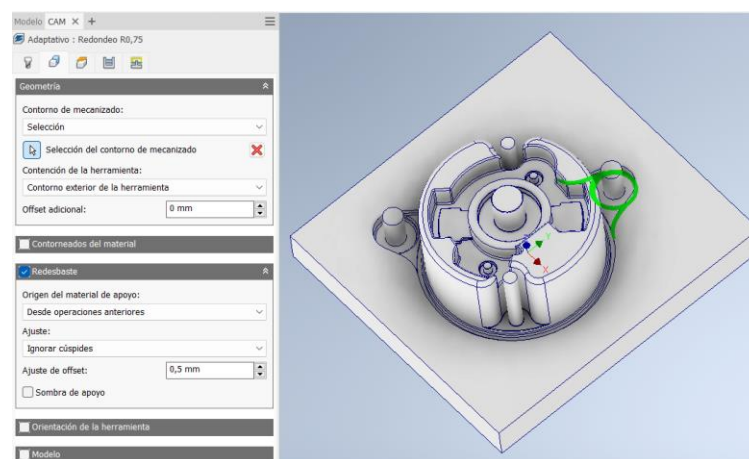


Figura 105. Pestaña "Geometría" redondeo R0,75 mm.

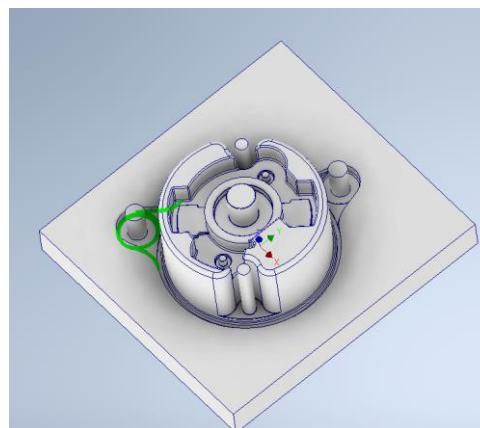


Figura 106. Pestaña "Geometría" redondeo R0,75mm

Respecto a la pestaña alturas los parámetros son los siguiente:

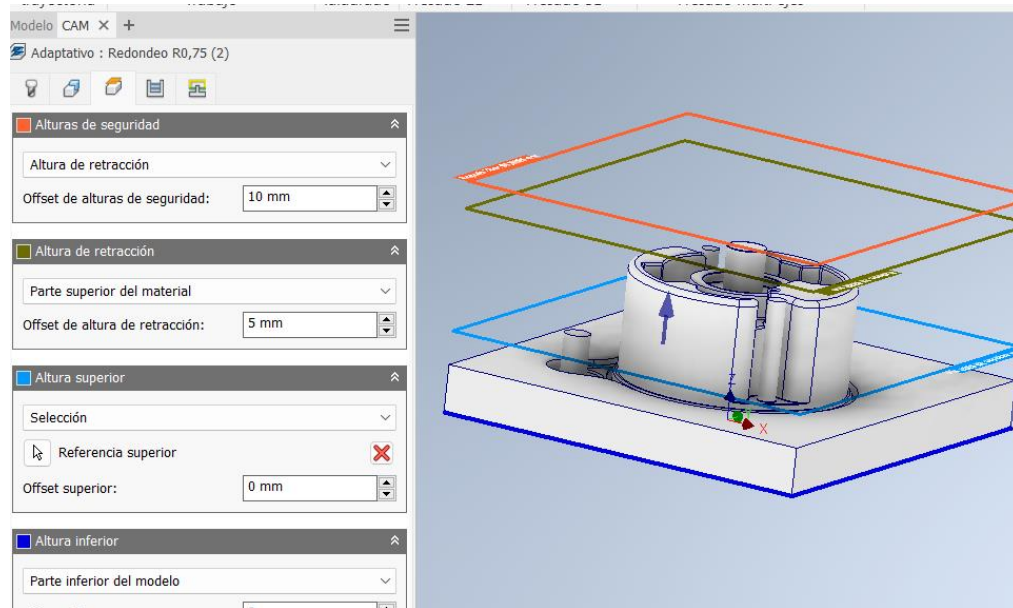


Figura 107. Pestaña "Alturas" redondeos R0,75 mm.

Los valores de los parámetros referentes a las pasadas de las herramientas corresponden con 0,6 mm de carga óptima y una sobrepasada máxima de 1 mm.

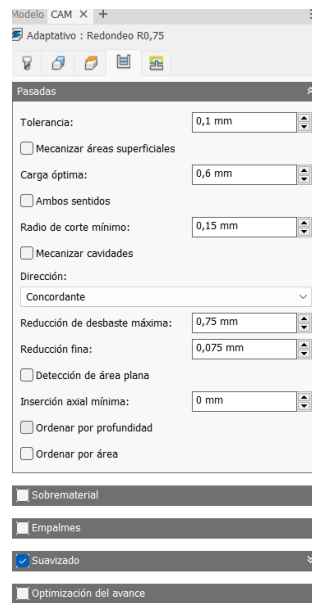


Figura 108. Pestaña "Pasadas" redondeos R0,75 mm

Nuevamente no habiendo cambios en la pestaña "Vinculación".

Con estos redondos ha concluido el mecanizado del contorno exterior. Estas operaciones de acabado han tenido una duración de 1 horas, 14 min aproximadamente, y con la simulación siguiente.

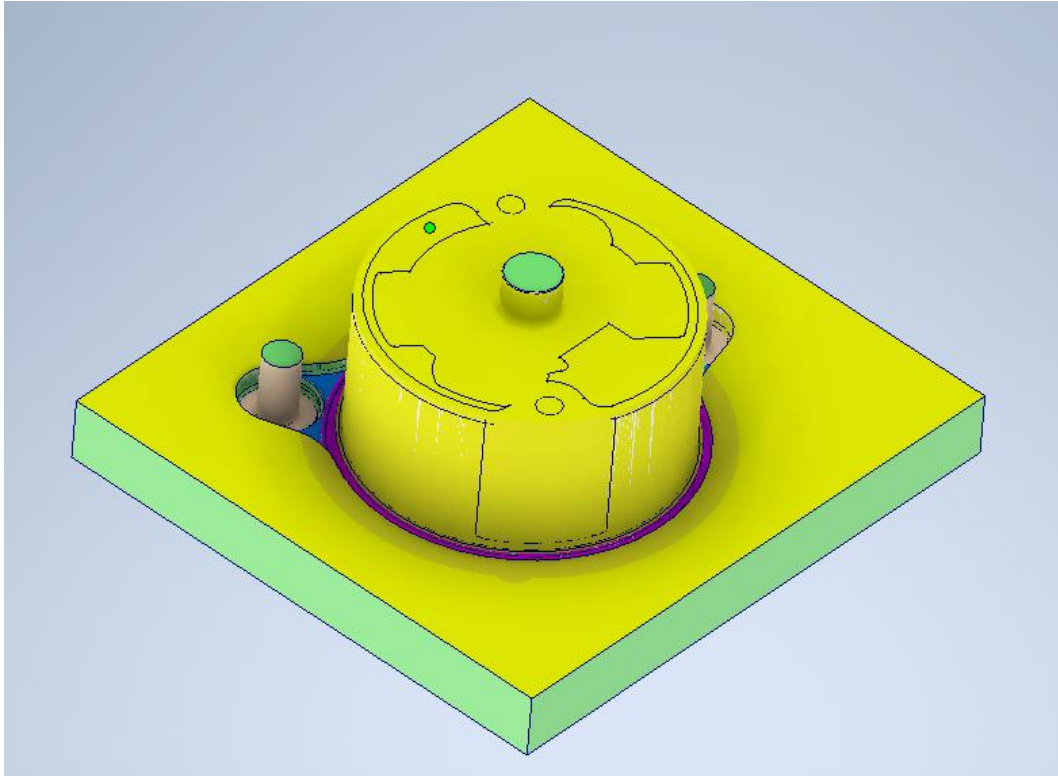


Figura 109. Simulación final contorno exterior.

### 6.5.1 Mecanizado contorno interior.

En este apartado se desarrollará una operación de desbaste, cinco de acabado y por último dos operaciones de acabado de redondeos.

#### 6.5.1.4 Operación de desbaste.

La finalidad de esta operación es la eliminación de máximo material en el menor tiempo posible. Se elige la operación “Adaptativo” incluida en la ficha “Fresado 3D”

Para ello se elige una fresa frontal de desbaste grueso pmx nz de diámetro 6 mm con los datos de corte idóneos calculados de la manera detallada en capítulos anteriores.



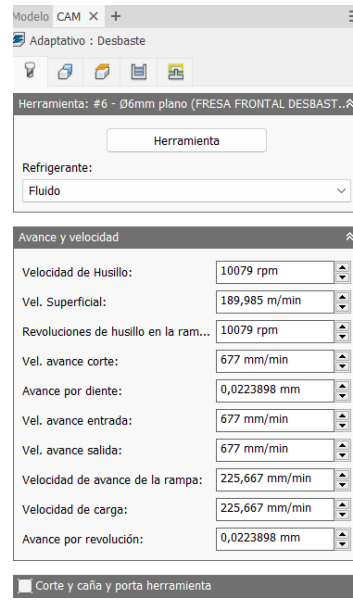


Figura 110. Pestaña "Herramienta" desbaste contorno interior.

El siguiente paso es la selección de la geometría a mecanizar. Se elige el contorno de mecanizado interior ilustrado en la siguiente figura:

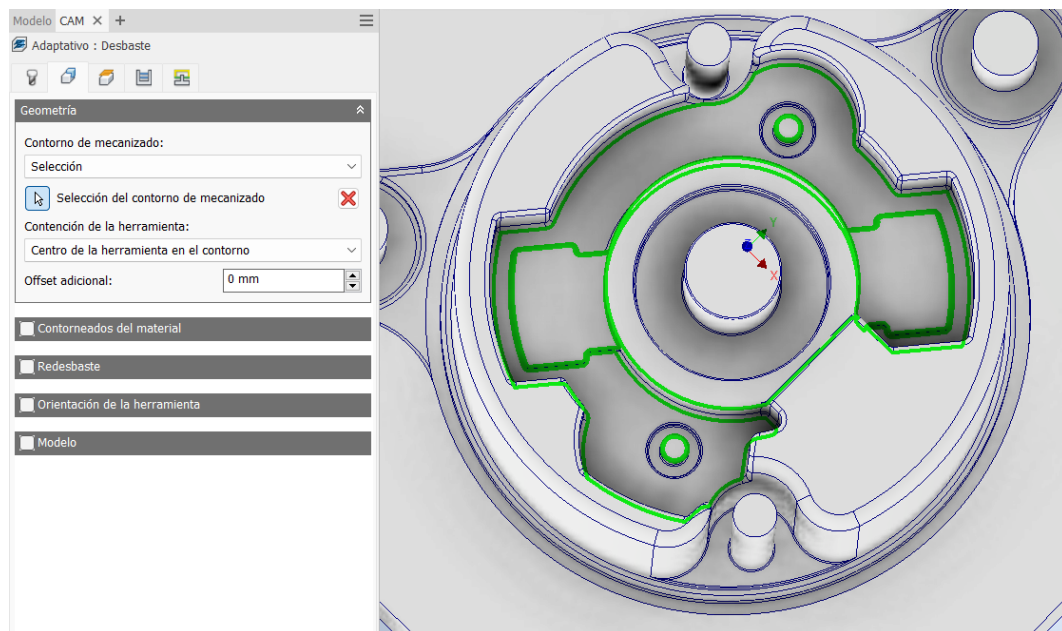


Figura 111. Pestaña "Geometría" desbaste contorno interior.

En la pestaña "Alturas", la altura superior se establece en el contorno superior y la altura inferior en la superficie inferior de los contornos seleccionados.

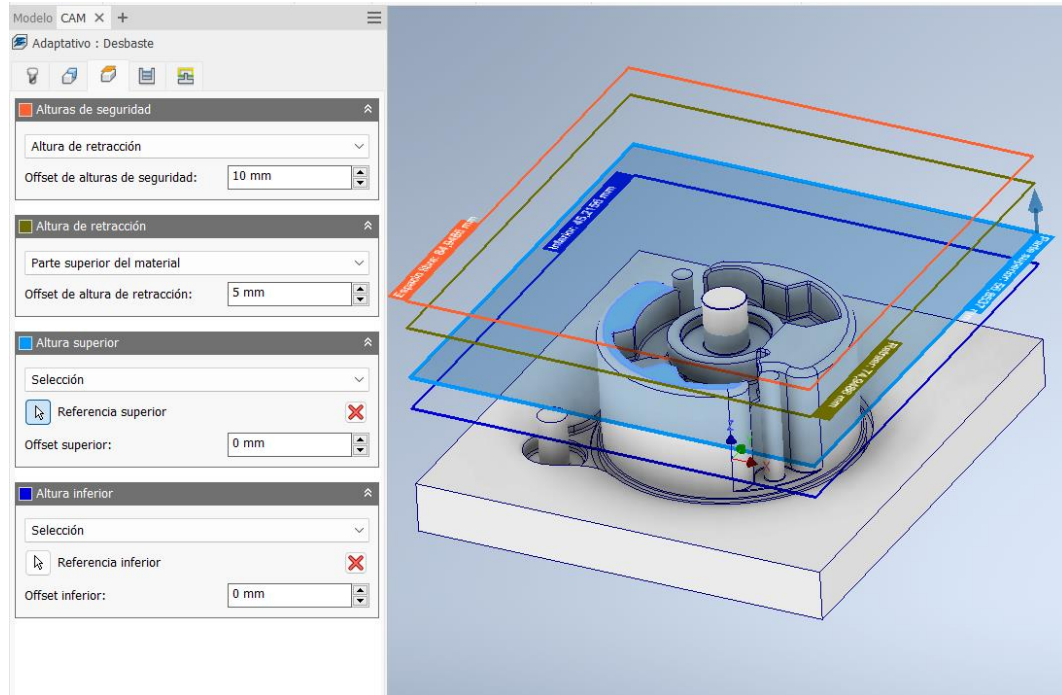


Figura 112. Pestaña "Alturas" desbaste contorno interior.

Lo relacionado con la trayectoria de la herramienta, se define en la pestaña "Pasadas". Siendo los valores más característicos la carga óptima de 2,4 mm, una reducción de desbaste máxima de 3mm. Al ser una operación de desbaste se activa la opción de sobre material con un valor de 0,5mm tanto axial como radial.

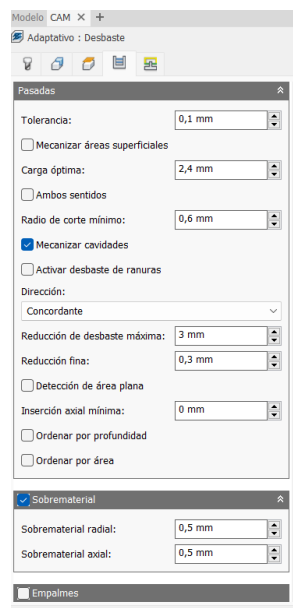


Figura 113. Pestaña "Pasadas" desbaste contorno interior.



No se modifican los valores por defecto de la pestaña “Vinculación”.

Esta operación tiene una duración de 26 min aproximadamente, dando lugar a la siguiente geometría final:

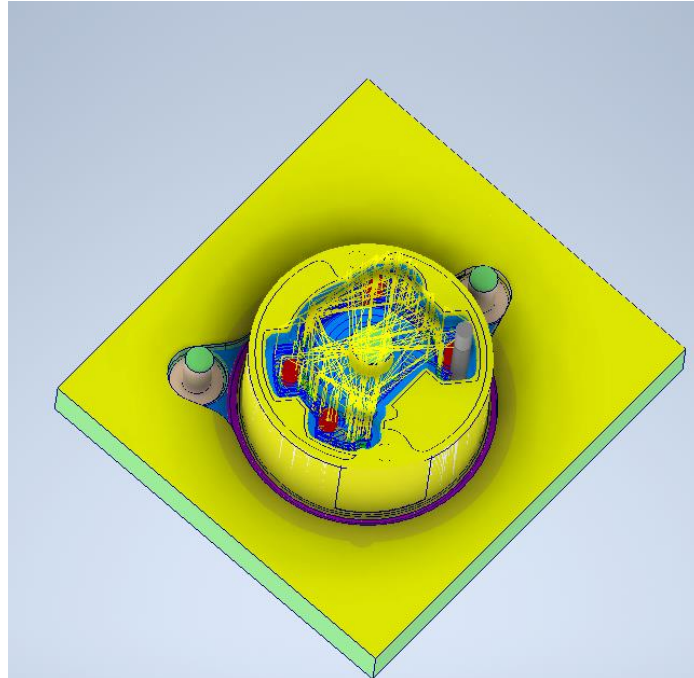


Figura 114. Simulación desbaste contorno interior.

### 6.2.5.2 Operaciones de acabado.

En la presente sección, se desarrollarán 5 operaciones de acabado en el contorno interior y dos operaciones de redondeo de R2,5 y R0,75 mm.

#### a) Acabado 2.1.

Se elige la operación “2d Cajeras” incluida en la ficha “Fresado 2D”. La herramienta utilizada para dicha operación es la misma usada para las operaciones de acabado 4 y 5 pudiéndose examinar en detalle en la Figura 91.

Continuamos con la selección de la geometría, eligiendo la cajera central y activando la opción de redesbaste con los datos correspondientes a la pasada operación de desbaste, como se puede observar en la siguiente figura.

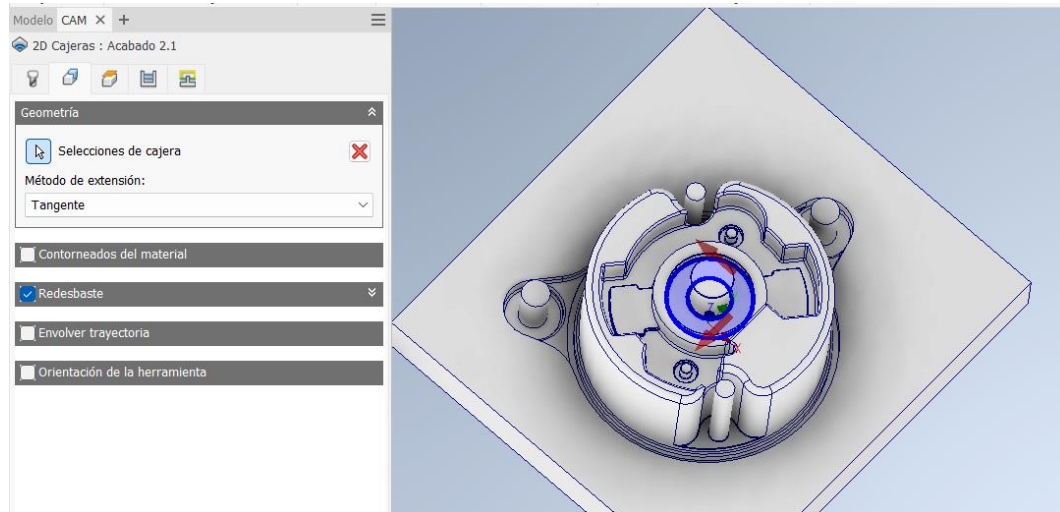


Figura 115. Pestaña "Geometría" acabado 2.1

En la pestaña “Alturas” se selecciona como altura superior la superficie superior del cilindro y como altura inferior la cajera.

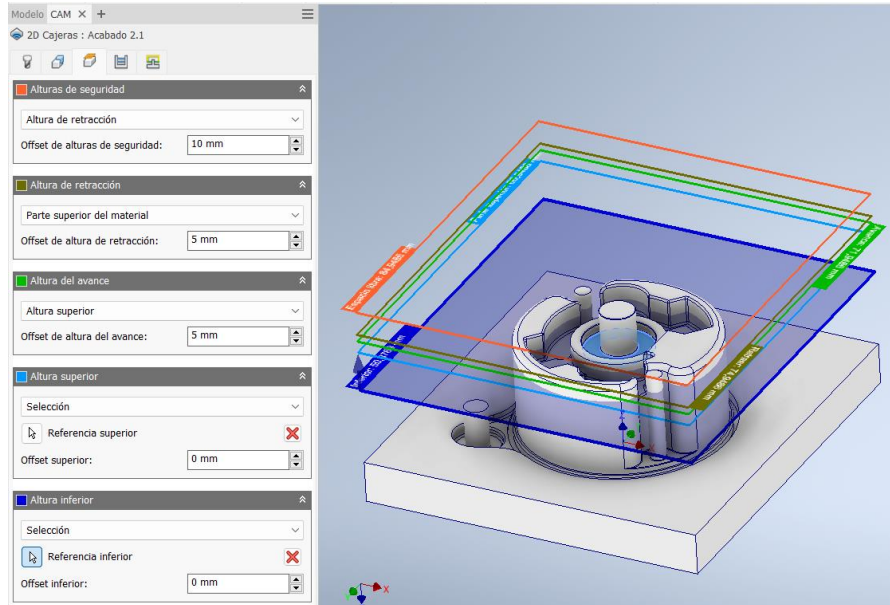


Figura 116. Pestaña "Alturas" acabado 2.1

Lo más relevante en la pestaña "Pasadas", sobrepasada máxima y una reducción de desbaste máxima de 3mm. Y como en la totalidad de operaciones la opción de suavizado activada. Dejando los demás valores con los determinados por Inventor.

No se modifica los valores predeterminados por el programa en la pestaña "Vinculación".

#### b) Acabado 2.2.

Se elige la operación "Adaptativo" incluida en la ficha "Fresado 3D". Se selecciona la herramienta del fabricante izar, fresa frontal acabado hsse 8% co 3z aluminio larga de diámetro 2,5mm.

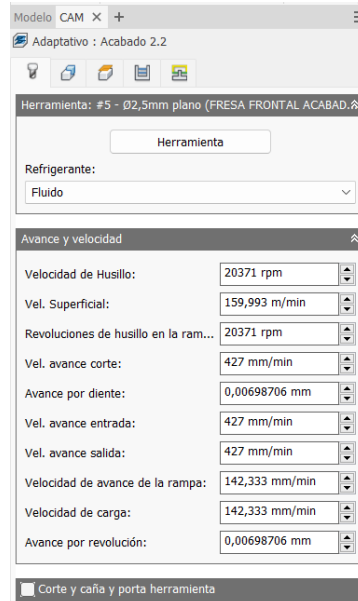


Figura 117. Pestaña "Herramienta" acabado 2.2.

En la pestaña “geometría” la selección coincide con la del desbaste anteriormente mencionado, Figura 111, añadiendo la opción de redesbaste desde operaciones anteriores para solo eliminar el material restante. Con lo referente a las alturas, están coincidiendo exactamente con las del desbaste, Figura 112.

Continuando con lo referente a “Pasadas”, se establece una carga óptima de 0,6 mm y una reducción de desbaste máxima de 2mm.

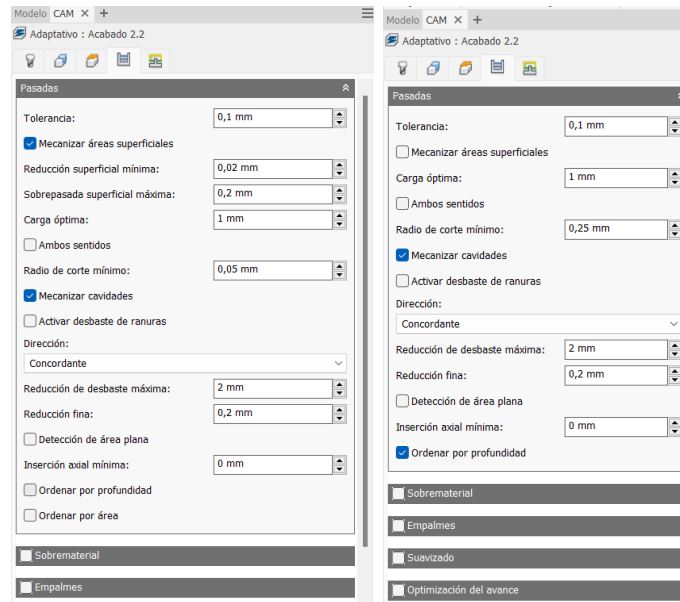


Figura 118. Pestaña "Pasadas" acabado 2.2

De manera análoga a otras operaciones no se añaden modificaciones a la pestaña “Vinculación”.

c) Acabado 2.3.

Se elige la operación “Cajera” incluida en la ficha “Fresado 3D”. Para esta estrategia se usa del fabricante izar una fresa metal duro 2z uso general de 1,5 mm de diámetro con los siguientes datos de corte:

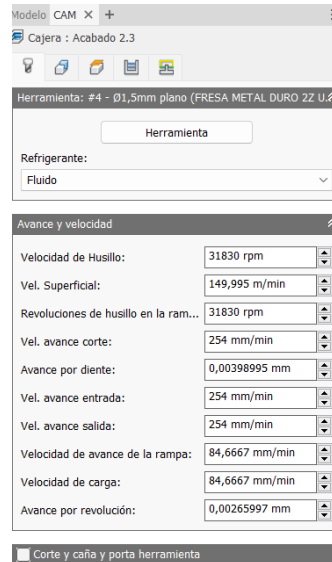


Figura 119. Pestaña "Herramienta" "acabado 2.3"

En “Geometría” se selecciona dos cajeras pequeñas no mecanizadas anteriormente, nuevamente activando la opción redesbaste.

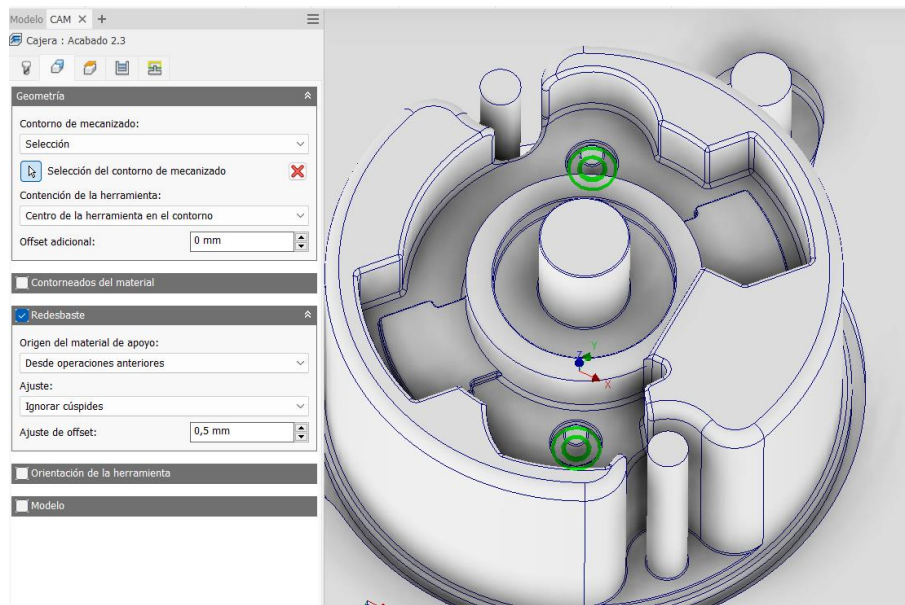


Figura 120. Pestaña "Geometría" acabado 2.3.

Siguiendo con “Pasadas” se establece un sobrepasado manual máxima del 50% del diámetro de la herramienta.

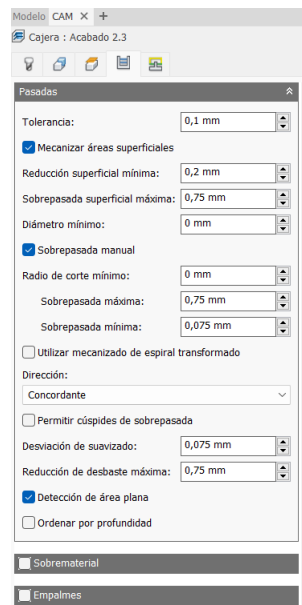


Figura 121. Pestaña "Pasadas" acabado 2.3.

Se modifican los valores en la pestaña “Vinculación”.

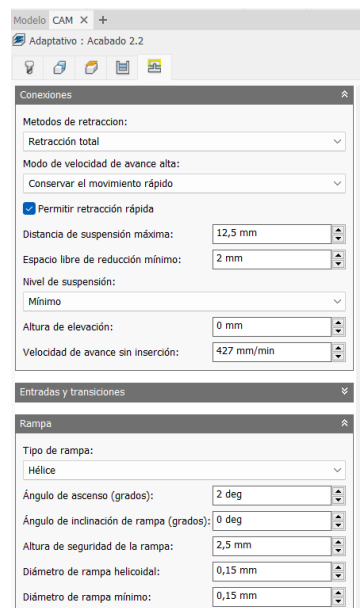


Figura 122. Pestaña "Vinculación" acabado 2.2

d) Acabado 2.4 y 2.5.

Estas operaciones tienen en común todos los parámetros de las pestañas a excepción de la geometría.

Haciendo uso de la operación “Cajera” en la ficha “Fresado 3D”. Se utiliza una fresa de izar de 3mm de diámetro, fresa metal duro 3z aluminio pulido espejo 45°.

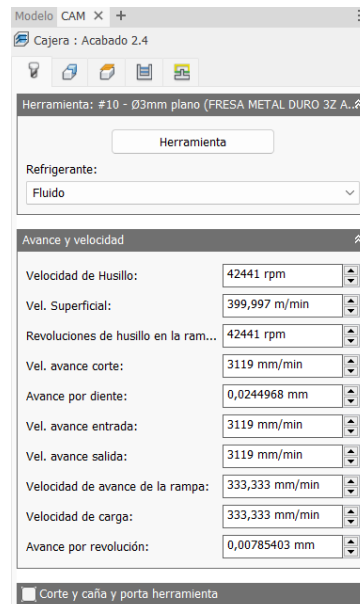


Figura 123. Pestaña "Herramienta" acabado 2.4 y 2.5.

En la pestaña de “geometría” se selecciona los contornos inferiores siendo diferentes para cada acabado.

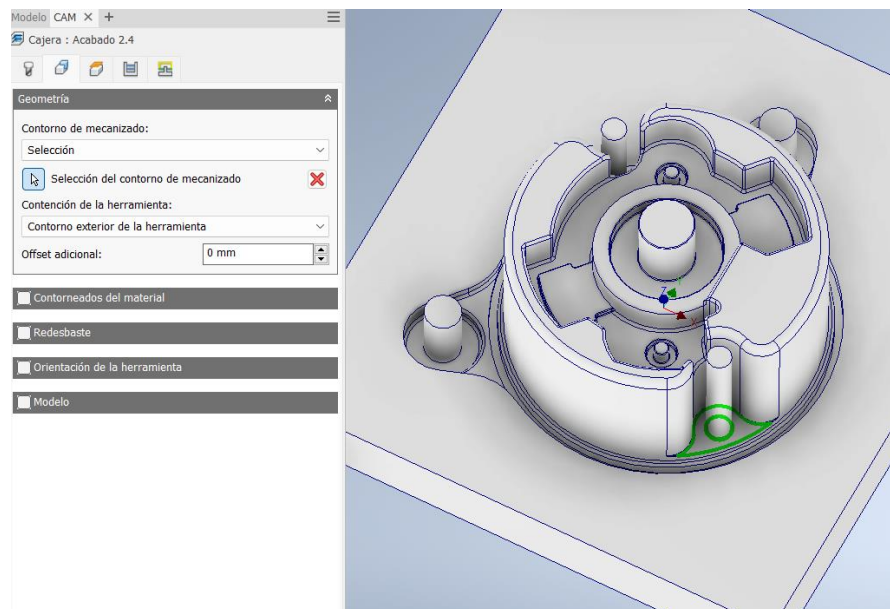


Figura 124. Pestaña "Geometría" acabado 2.4.



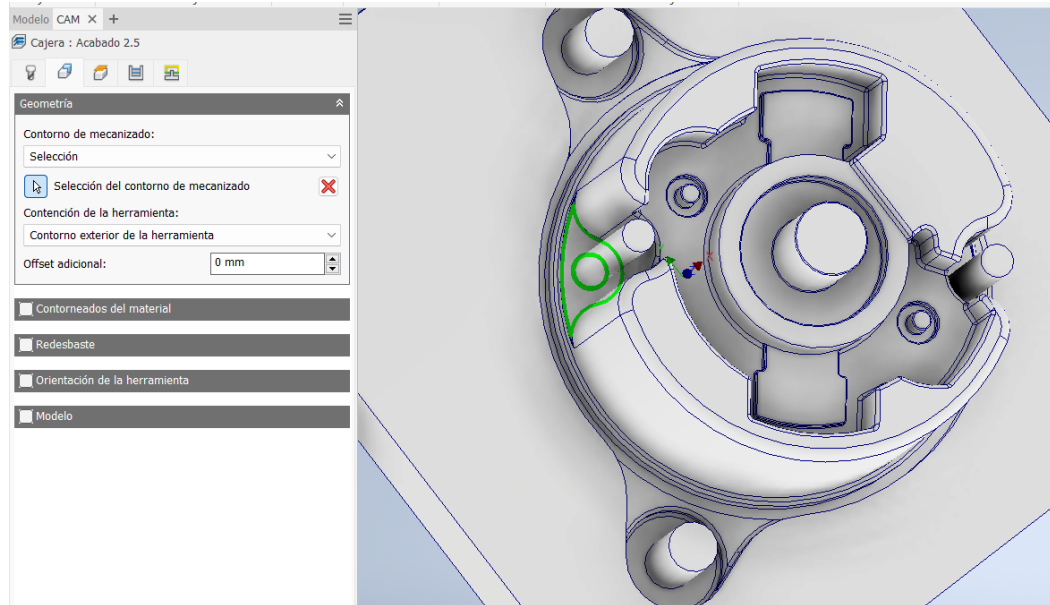


Figura 125. Pestaña "Geometría" acabado 2.5.

Se establece una sobrepasada manual máxima y una reducción de desbaste máxima de 1mm en "Pasadas". Para esta operación se desactiva el suavizado.

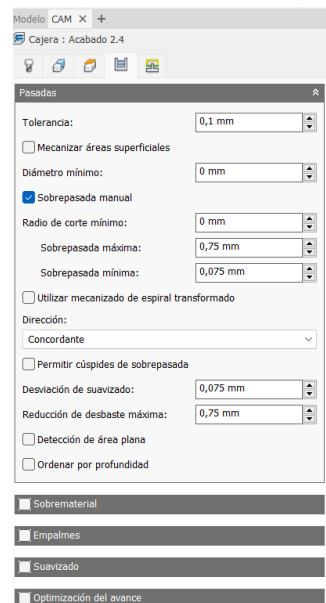


Figura 126. Pestaña "Pasadas" acabados 2.4 y 2.5.

En esta ocasión se si modifican los parámetros de "Vinculación", se disminuyen los parámetros asociados a la rampa tipo hélice para poder a llevar a cabo la operación.



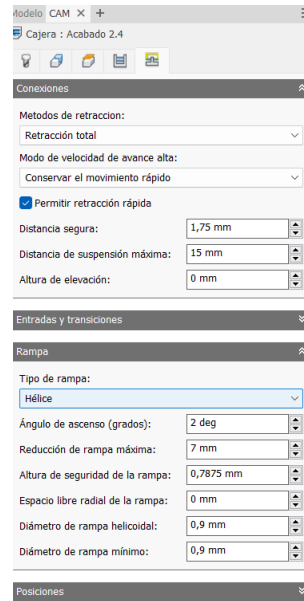


Figura 127. Pestaña "Vinculación" acabados 2.4 y 2.5.

e) Acabado de redondeo R2,5 mm.

Haciendo uso de la operación "Cajera" en la ficha "Fresado 3D". La herramienta usada es del fabricante iscar, fresa económica hemisféricas de metal duro integral extra larga de diámetro 5 mm.

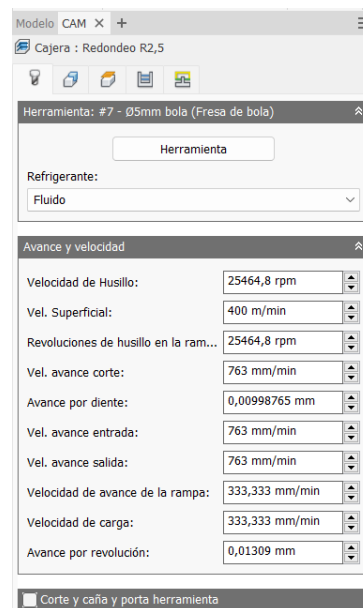


Figura 128. Pestaña "Herramienta" redondeo R2,5 mm.

Seleccionamos las aristas superior e inferior del redondeo en la pestaña "Geometría".

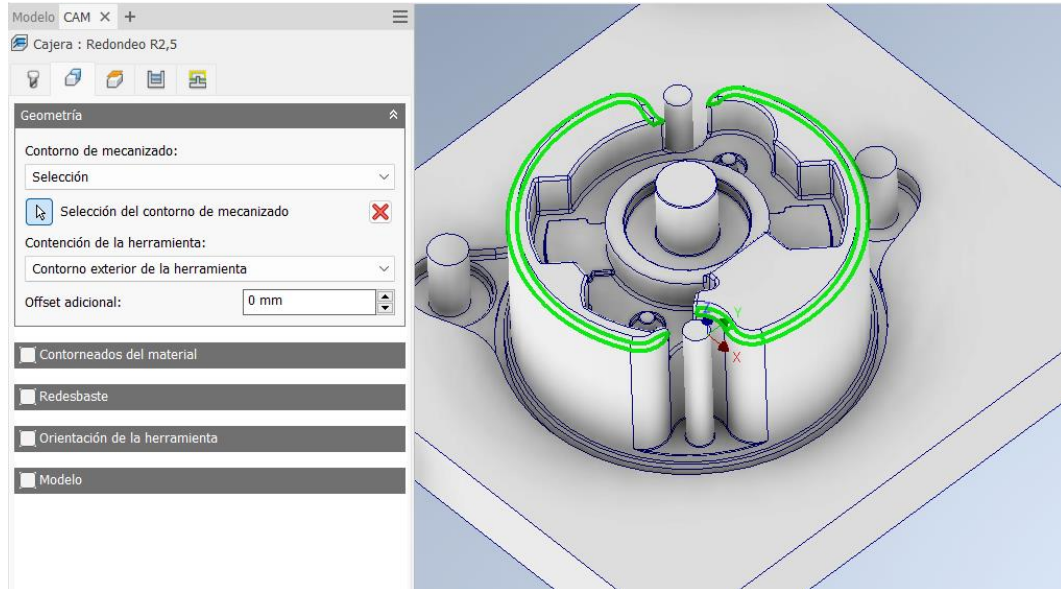


Figura 129. Pestaña "Geometría" redondeo R2,5 mm.

Respecto a "Alturas" se pueden apreciar en la siguiente figura:

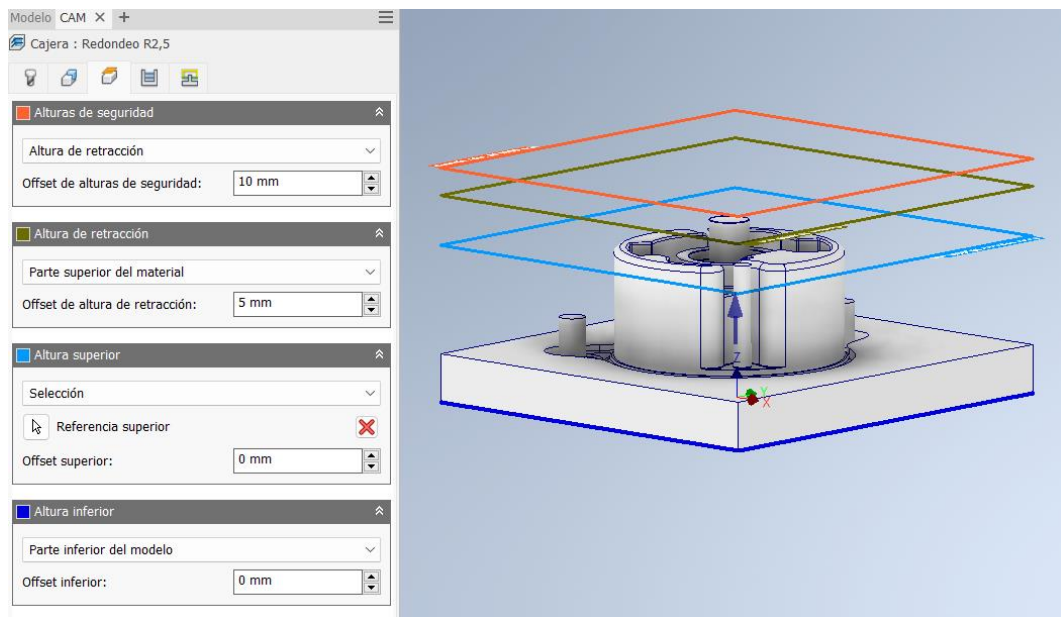


Figura 130. Pestaña "Alturas" redondeo R2,5 mm.

Los parámetros de "Pasadas" se establecen en, sobrepasada manual máxima y reducción de desbaste máxima de 3 mm.

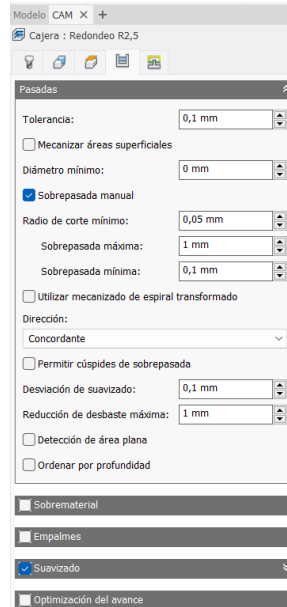


Figura 131. Pestaña "Pasadas" redondeo R2,5 mm.

No se modificarán los valores proporcionados por Inventor en la pestaña "Vinculación".

f) Acabado de redondeo R0,75 mm.

Usando la operación "Adaptativo". La fresa a utilizar, fresa hemisférica de Metal Duro Integral de 1,5mm de diámetro cuyo fabricante es iscar, también ha sido en los anteriores redondeos del contorno exterior, se puede observar sus datos de corte en la pasada Figura 104.

A continuación, se procede a seleccionar la geometría necesaria para la operación:

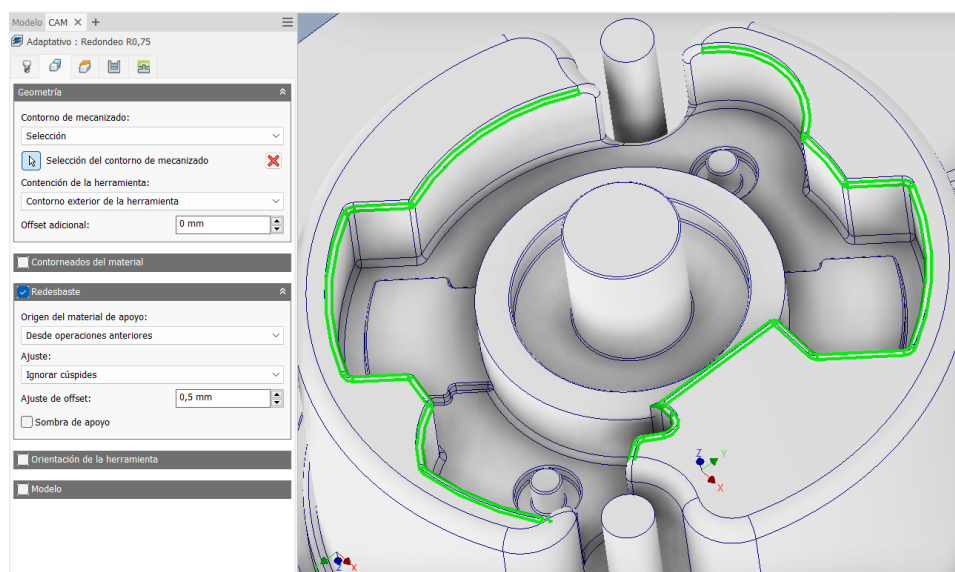


Figura 132. Pestaña "Geometría" redondeo R0,75 mm.

Los parámetros de "Alturas" se selecciona la arista superior del redondeo como altura superior y la inferior como altura inferior.

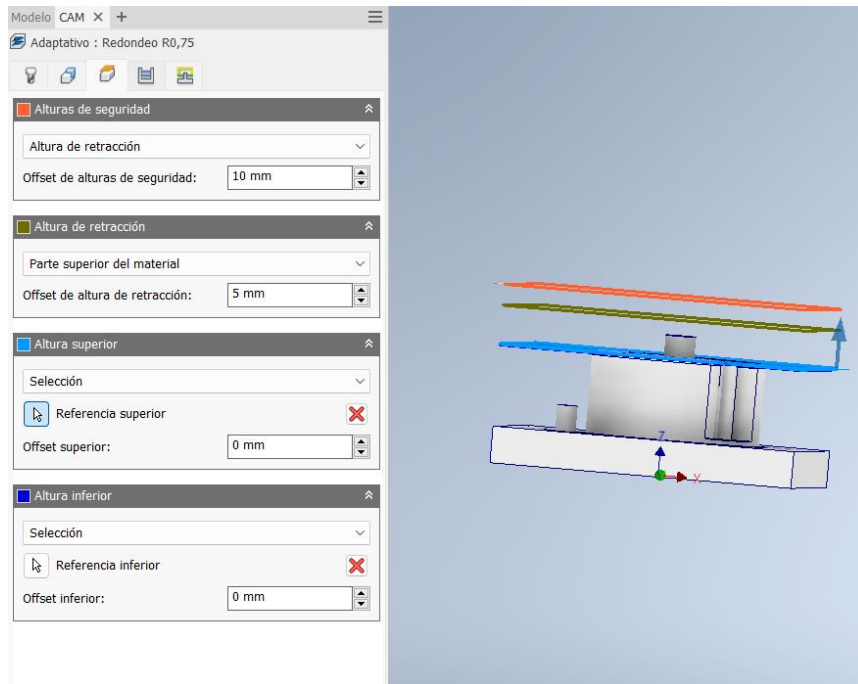


Figura 133. Pestaña " Alturas" redondeo R0,75 mm.

En la pestaña "Pasadas" se mantienen los valores determinados por Inventor, a excepción de la sobrepasada manual que se establece en 1mm.

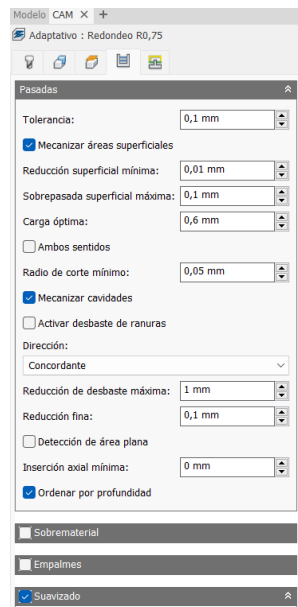


Figura 134. Pestaña "Pasadas" redondeo R0,75 mm.

La pestaña "Vinculación" se mantiene con los valores originales proporcionados por el programa.

Con esta última operación de redondeo se da por finalizado tanto el acabado como el mecanizado del postizo.

El acabo tiene una duración aproximada de 1 hora y 6 min. Dando todo ello una duración total del mecanizado del postizo:

Dando lugar al final de la simulación del mecanizado.

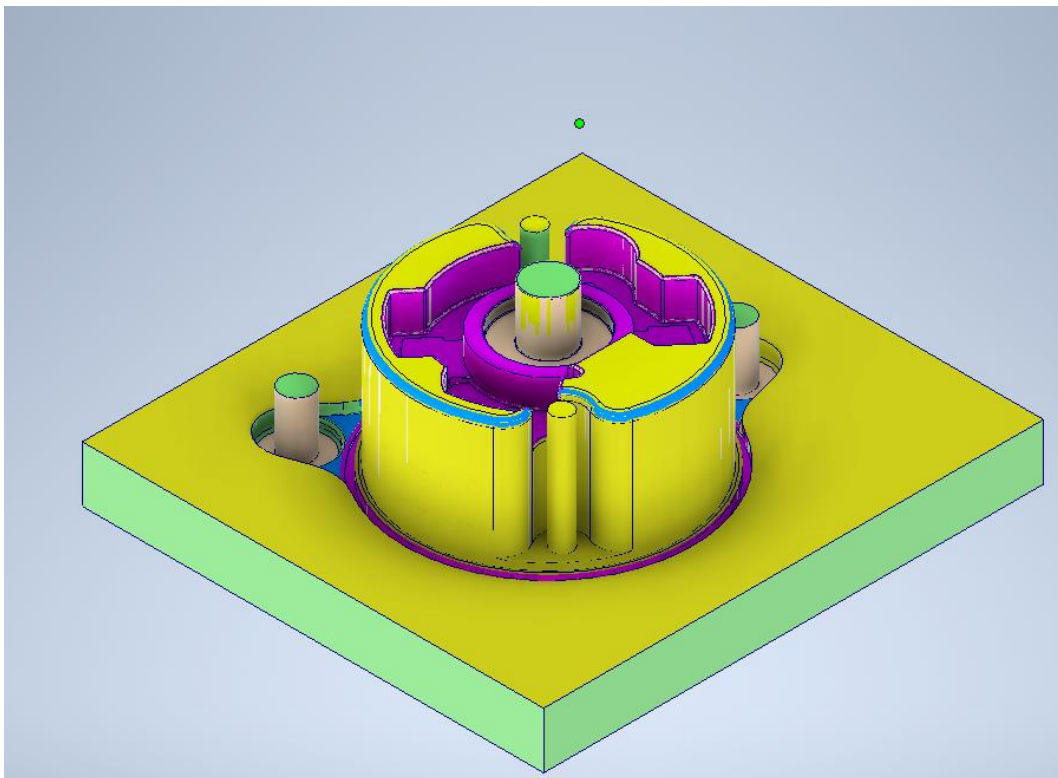


Figura 135. Simulación final postizo.

## 6.6 Verificación del proceso y postproceso.

Tras completar el mecanizado de la pieza, utilizaremos la función "Simular" de Inventor CAM para revisar el resultado. Una vez aprobado, generaremos el código CNC que una máquina podría interpretar para fabricar esta pieza en la realidad.

### 6.6.1. Simulación de las operaciones.

Se simula ambas partes del molde, dando lugar a las duraciones vistas en la siguiente figura:

Estadísticas (Cavidad)	
Tiempo de mecanizado:	0:33:56
Distancia de mecanizado:	18,1962 m
Operaciones:	8
Cambios de herramienta:	5

Estadísticas (Postizo)	
Tiempo de mecanizado:	3:15:26
Distancia de mecanizado:	211,779 m
Operaciones:	21
Cambios de herramienta:	13

Figura 136. Estadísticas simulación, cavidad(izq.) y postizo(dcha.).

Durante las simulaciones se comprueba que todas las operaciones se han realizado correctamente y que no aparición de colisiones durante ellas, líneas rojas verticales en la línea de tiempo.

A continuación, se mostrará una comparación de la simulación del mecanizo respecto a la pieza 3D de ambas partes del molde.

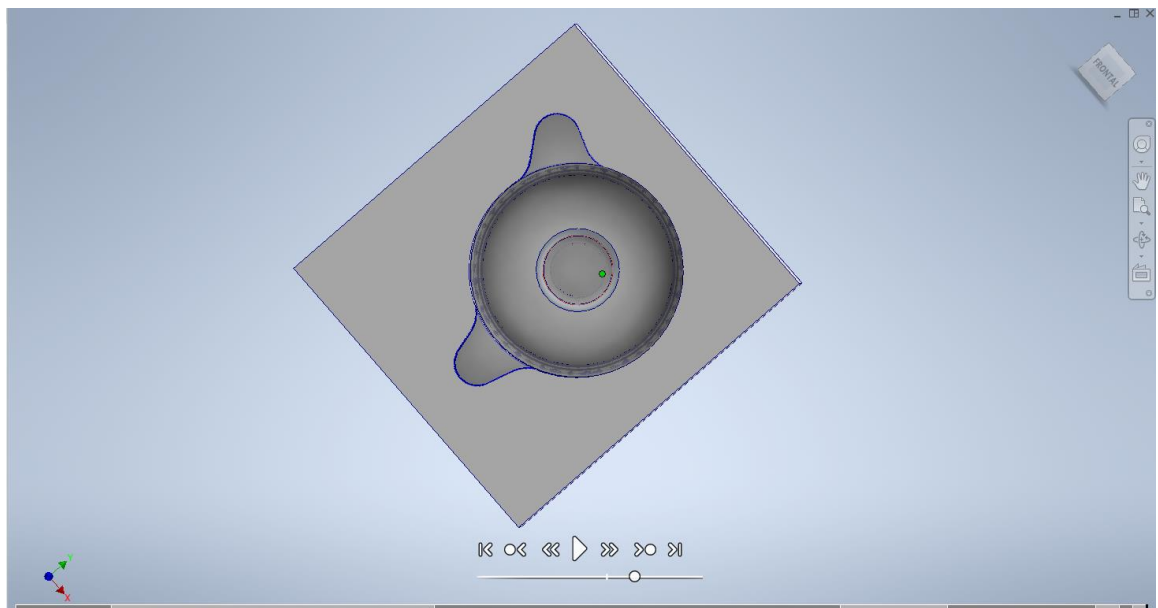


Figura 137. Comparación de la simulación de la cavidad con pieza 3D de referencia.

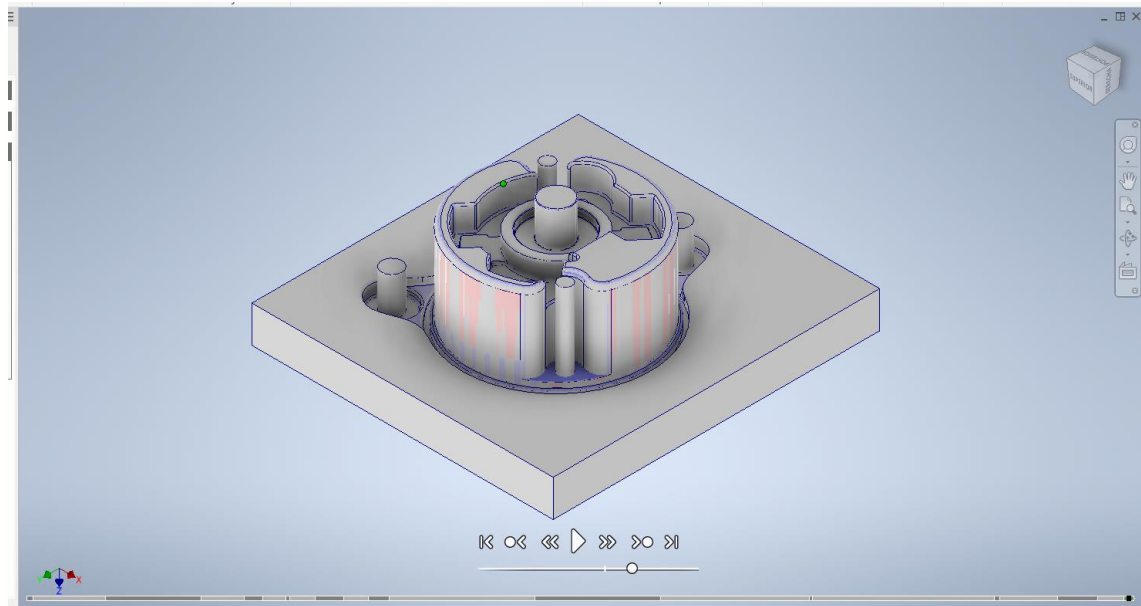


Figura 138. Comparación de la simulación del postizo con pieza 3D de referencia.

Los tonos azulados indican áreas donde aún queda material por mecanizar, mientras que los rojizos señalan zonas donde se ha mecanizado demasiado. No obstante, las tolerancias generales logradas son excelentes y cumplen con los requisitos establecidos para un molde de esta naturaleza y uso.

### 6.6.2 Generación del código CNC.

El último paso, consiste en la generación del código línea a línea que necesita una máquina de control numérico para reproducir las trayectorias que hemos programado en Inventor CAM.

Los siguientes pasos se tienen que realizar en ambas parte del molde para generar los dos códigos CNC para su fabricación, por simplicidad se explicara la obtención de código para la cavidad, realizándose de la misma manera para el postizo.

Para lograrlo pulsaremos el botón de post procesar, incluido en la dicha de trayectoria, dando paso a la siguiente ventana.



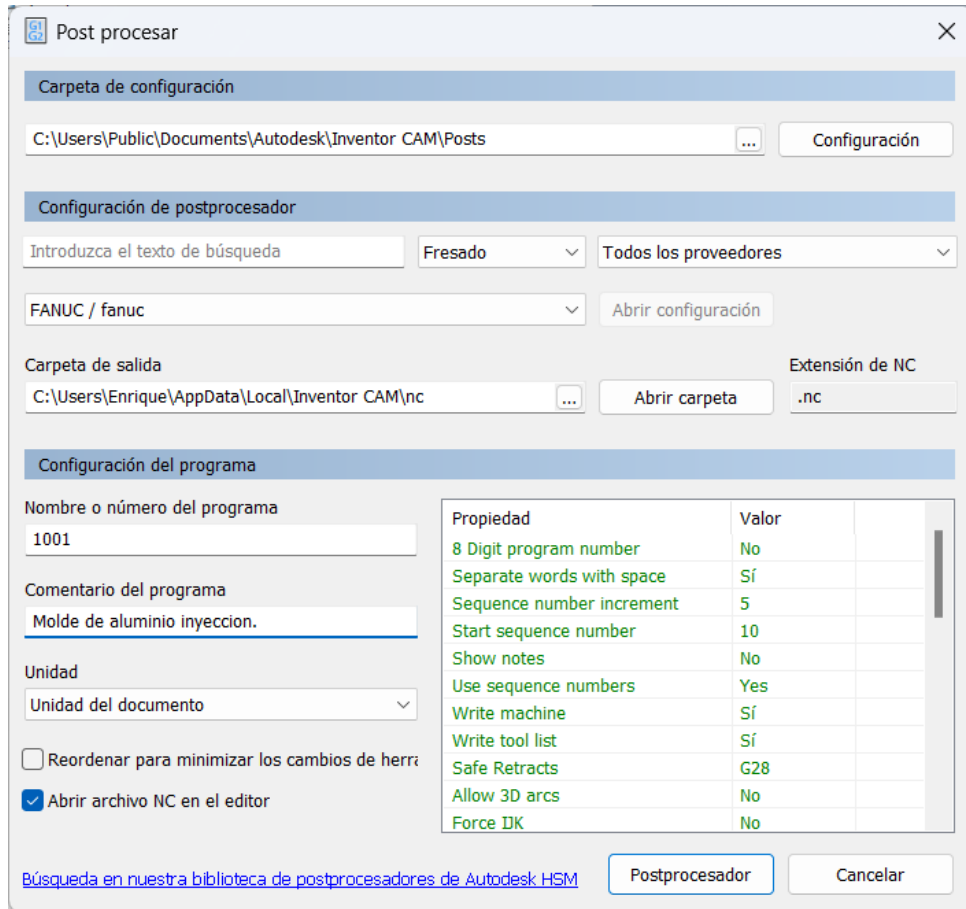


Figura 139. Ventana "Post procesar"

Seleccionaremos un post procesador entre los ofrecidos, optando por un FANUC / fanuc, ya que es común encontrarlo en el ámbito industrial de Valladolid. Este utiliza un lenguaje muy difundido llamado G-code, ampliamente conocido y extendido.

Tras seleccionar la carpeta de destino y escribir el nombre del programa, que suele ser un número, clicaremos en el botón de "postprocesador" de la parte inferior. Lo que nos abre una nueva ventana del programa Autodesk HSM con las líneas de código generado, se puede ver un extracto en la siguiente figura:





```
§
O1001 (MOLDE DE ALUMINIO INYECCION.)
(MQUINA)
( PROVEEDOR AUTODESK)
( DESCRIPTION GENERIC 3-AXIS)
(T1 D=112.5 CR=0. TAPER=45DEG - ZMIN=65. - FRESADO DE C
ARA)
(T2 D=14. CR=0. - ZMIN=12.28 - FRESA CON PUNTA PLANA)
(T4 D=16. CR=0. - ZMIN=12.78 - FRESA CON PUNTA PLANA)
(T5 D=10. CR=5. - ZMIN=23.265 - FRESA DE BOLA)
(T6 D=6. CR=3. - ZMIN=12.28 - FRESA DE BOLA)
N10 G90 G94 G17 G49 G40 G90
N15 G21
N20 G28 G91 Z0.
N25 G90

(PLANEADO)
N30 T1 M06
N35 T4
N40 S2690 M03
N45 G17 G90 G94
N50 G54
N55 M08
N60 G00 X73.046 Y-3.126
N65 G43 Z88. H01
N70 G00 Z76.75
N75 G18 G03 X61.796 Z65.5 I-11.25 F6456.
N80 G01 X5.
N85 X-149.
N90 G17 G02 Y49.438 J26.282
N95 G01 X5.
N100 G03 Y102.003 J26.282
N105 G01 X-149.
```

Figura 140. Extracto de código CNC generado.



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

## 7. PRESUPUESTO DE MECANIZADO.

En este apartado , elaboraremos un presupuesto sencillo utilizando un enfoque académico para calcular el costo de la etapa de mecanizado de las dos mitades del molde. El coste del material inicial de los moldes no se tomará en cuenta, así como los impuestos se puedan aplicar como el IVA.

Clasificaremos los cálculos de los costes en mano de obra , costos directos e indirectos.

### Mano de obra y hora de máquina

En cuanto a la mano de obra diferenciamos:

- El trabajo de un ingeniero de fabricación quien programaría las estrategias de mecanizado y generación del código CNC. Aproximadamente a un ingeniero experimentado la conllevaría dos hora de trabajo.
- Operario, oficial de primera, el encargado de la puesta en marcha, calibración, cambio de herramientas, ...etc. Se aproximará a que el operario estará presente durante el tiempo de mecanizado, aproximadamente dos hora y media

A estos costes laborales hay sumarles el coste que con lleva el uso de la máquina, cuya duración es de dos horas y media. La máquina tiene supone un gasto de 100€/h.

### Costes directos.

Se tomarán solo en cuenta el coste de las herramientas, obtenidos de los catálogos de los propios fabricantes)

- Plaquitas planear: Precio: 156.50 €, Amortización: 2%.
- Fresa frontal 16mm: Precio: 123.40 €, Amortización: 77%.
- Fresa frontal 14mm: Precio: 73.52 €, Amortización: 15%.
- Fresa de bola 10mm: Precio: 136.85 €, Amortización: 1%.
- Fresa de bola 6mm: Precio: 64.40 €, Amortización: 1%.
- Fresa frontal 22mm: Precio: 123.40 €, Amortización: 100%.
- Fresa frontal 10mm: Precio: 23.39 €, Amortización: 36%.
- Fresa frontal 4mm: Precio: 16.73 €, Amortización: 38%.
- Fresa frontal 2mm: Precio: 13.67 €, Amortización: 25%.
- Fresa de bola 1.5mm: Precio: 96.02 €, Amortización: 37%.
- Fresa frontal 6mm: Precio: 36.08 €, Amortización: 87%.

- Fresa frontal 2.5mm: Precio: 17.08 €, Amortización: 41%.
- Fresa frontal 1.5mm: Precio: 13.67 €, Amortización: 11%
- Fresa frontal 3mm: Precio: 24.61 €, Amortización: 22%.
- Fresa de bola 5mm: Precio: 67.72 €, Amortización: 18%.

**Costes indirectos.**

A cada unidad fabricada se le adjudican unos gastos indirectos, en este caso 125€ en concepto de gestoría y administración y 75€ de logística y transporte.

<b>Coste por hora de recurso.</b>			
<b>Concepto</b>	<b>Precio/hora (€/h)</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Subtotal</b>
Ingeniero	125	2	250
Operario	75	4	300
Maquina	100	4	400
<b>Coste directo</b>			
<b>Herramienta</b>	<b>Precio (€)</b>	<b>Amortización(%)</b>	<b>Subtotal(€)</b>
Plaquetas planear	156,50 €	2	3,13
Fresa frontal 16mm	123,40 €	77	95,018
Fresa frontal 14mm	73,52 €	15	11,03 €
Fresa de bola 10mm	136,85 €	1	1,37 €
Fresa de bola 6mm	64,40 €	1	0,64 €
Fresa frontal 22mm	123,40 €	100	123,40 €
fresa frontal 10mm	23,39 €	36	8,42 €
Fresa frontal 4mm	16,73 €	38	6,36 €
Fresa frontal 2mm	13,67 €	25	3,42 €
Fresa de bola 1,5mm	96,02 €	37	35,53 €
Fresa frontal 6mm	36,08 €	87	31,39 €
Fresa frontal 2,5mm	17,08 €	41	7,00 €
Fresa frontal 1,5mm	13,67 €	11	1,50 €
fresa frontal 3mm	24,61 €	22	5,41 €
Fresa de bol 5mm	67,72 €	18	12,19 €
<b>Costes indirectos</b>			
<b>Concepto</b>	<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Subtotal</b>
Gestoría y administración	150,00 €	1	150,00 €
Logística	50,00 €	1	50,00 €
<b>Beneficio industrial</b>			
25%			373,95 €
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>			<b>1.669,76 €</b>

## 8. CONCLUSIONES.

Las conclusiones sacadas de la realización de este trabajo de fin de grado se dividirán en dos enfoques distintos, académico y personal.

### 8.1 Conclusiones académicas.

En primer lugar se llevó a cabo breve explicación sobre los orígenes, evolución e importancia de la tecnología Cam. Se continuó exponiendo el proceso de moldeo para el cual tiene la finalidad industrial el molde a mecanizar, moldeo por inyección.

A continuación, se desarrolló de manera genérica la manera de trabajar con el software Autodesk Inventor Cam. Consistiendo en unas nociones básicas para que una persona sin conocimientos previos del programa pueda iniciarse en su uso.

En el capítulo principal de este trabajo de fin de grado, se lleva a cabo la programación de las estrategias de mecanizado de un molde destinado a la producción en serie de carcasas de compresor.

Se observa el hecho de que las operaciones sencillas como “2D Cajeras” o “Cajera” necesitan menos capacidad computacional que las operaciones más complejas como “2D desbaste adaptativo” o “Adaptativo”, necesitando estas últimas de más tiempo para el cálculo de la operación. Además, operaciones tienen una duración de mecanizado más larga y trayectorias de herramientas más intrincadas .

Por último, y como líneas de trabajos futuras, la realización de un molde desde sus primeras etapas, desarrollando desde su diseño 3D y ensamblaje de las piezas que lo componen a su fabricación, pasando por la programación de su mecanizado con tecnología Cam.

### 8.2 Conclusiones personales.

Desde una perspectiva personal, este trabajado me ha servido el conocimiento de la navegación y obtención de información de catálogos de herramientas de los fabricantes. También me ha permitido ahondar más en los conocimientos adquiridos en las asignaturas de Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación que figuran en el plan de estudios del Grado de Ingeniería Mecánica de la Escuela de ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid, así como en la tecnología Cam menos conocida que



la Cad, pero que tiene como hemos comprobado previamente una importancia industrial.

La aplicación práctica de Inventor Cam, me ha permitido expandir mi conocimiento de programación de estrategias de mecanizado y simulación de este, lo que es útil en el mercado laboral asociado a esta industria.



## 9. BIBLIOGRAFIA.

### 9.1 Libros, artículos y trabajos.

MATOS GONZÁLEZ, F. (2022). *Mecanizado de un molde de acero para fundición en coquilla mediante Autodesk Inventor CAM*. Trabajo Fin de Grado. Valladolid: Universidad de Valladolid.

HERNÁNDEZ MATEOS, A.(2024). *Estudio del mecanizado de un molde para soplado con Inventor CAM*. Trabajo Fin de Grado. Valladolid: Universidad de Valladolid.

Ferré Masip, R. (2009). *Fabricación asistida por computador-CAM: ( ed.)*. Barcelona, Spain: Marcombo. Recuperado de <https://elibro-net.ponton.uva.es/es/lc/uva/titulos/45840>.

Hernández Castellano, Pedro M, and Sandra Taboada Pirotte. *Desarrollo de un producto en material plástico por inyección. 1*. Las Palmas de Gran Canaria: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica, 2015. Print.

Morton-Jones, D. H. (2003). *Procesamiento de plásticos: inyección, moldeo, hule, PVC*. México: Limusa.

Chang, T.-C., Wysk, R. A., & Wang, H.-P. (2005). *Computer-Aided Manufacturing*. Pearson Prentice Hall.

Rosato, D. V., & Rosato, M. G. (2000). *Injection molding handbook*. Springer Science & Business Media.

### 9.2 Bibliografía web

Autodesk. (2024, febrero 26). *Help*. Consultado el 26 de Junio de 2024, de <https://help.autodesk.com/view/INVCAM/2020/ESP/?guid=GUID-25B71382-B155-4A3C-B1F8-B9931EA3DAA9>

Polylanema. (n.d.). *Alumoldreg – 500*. Consultado el 27 de junio de 2024 de <https://www.polylanema.pt/es/aluminios-tecnicos/alumoldreg-ndash-500/>



Mingosmartfactory. *CAM: Computer-Aided Manufacturing – Manufacturing explained*. Consultado el 12 de junio de 2024, de <https://www.mingosmartfactory.com/cam-computer-aided-manufacturing-manufacturing-explained>

Plastek Group. *Tipos de moldeo de plástico*. Consultado el 19 de junio de 2024, de <https://www.plastekgroup.com/es/blog/types-of-plastic-molding/>

Todo en Polímeros. (n.d.). *Procesos de Moldeo*. Consultado el 19 de junio de 2024, de <https://todoenpolimeros.com/procesos-de-moldeo/>

Izar Cutting Tools SAL. (2024). *Catálogo industrial 2024*. Izar Cutting Tools SAL. Recuperado de <https://www.izartool.com/es/descargas/catalogos>

Sandvik Coromant. (2024). *Recomendaciones de herramientas en Coroplus Toolguide*. Sandvik Coromant. Consultado del 20 de junio de 2024 de <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/tools/coroplus-toolguide/tool-recommendation>

Iscar. (n.d.). *Ecatalog Applications*. Consultado el 23 de junio de 2024 de <https://www.iscar.com/Ecatalog/Applications.aspx?mapp=ML>



## ANEXO.

### I. DATOS DE LAS HERRAMIENTAS.

#### Fresa planeadora

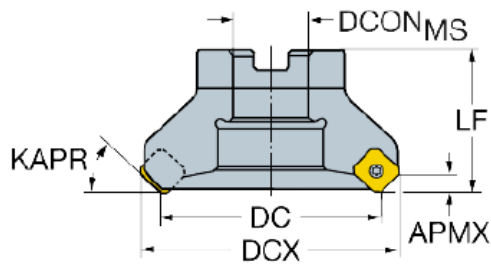


Figura 141. Portaherramientas de la fresa planeadora

Fabricante	Sandvik
Código Iso	R245-100Q32-12H
Angulo de filo (KAPR)	45 deg
Diámetro de corte	100 mm
Diámetro máximo de corte	112,5 mm
Número de elementos de corte	10
Profundidad de corte máxima (APMX)	6 mm
Diámetro de conexión (DCONMS)	32 mm
Longitud funcional (LF)	50 mm
Velocidad de giro máxima	11.300 rpm
Peso elemento	1,488 kg

– Portaherramientas.

– Plaquetas.

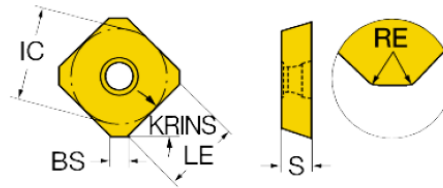


Figura 142. Plaquetas fresa planeadora.

Fabricante	Sandvik
Código Iso	R245-12T3
Clasificación de material, nivel 1	K, N
Diámetro del agujero de fijación	4,1 mm
Número de filos	4
Diámetro del círculo inscrito (IC)	13,4 mm
Longitud efectiva del filo (LE)	10 mm
Longitud filo Wiper (BS)	2,3 mm
Ángulo de filo principal (KRINS)	45 deg
Ángulo de desprendimiento	15 deg
Grosor de plaquita (S)	3,9688 mm

Fresa frontal de desbaste grueso pmx din844nr nz de 16mm

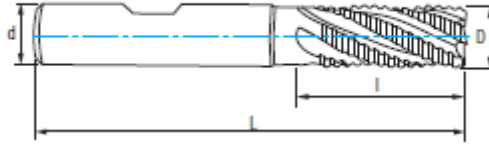


Figura 143. Fresa frontal desbaste 16 mm.

Fabricante	Izar
Referencia	6640
N° Articulo	20909
Diámetro de corte (D)	16 mm
Diámetro de conexión(d)	16 mm
Longitud total(L)	92 mm
Longitud del filo de corte(l)	32 mm
N° de filos	5
Ángulo Helice	30°
Profundidad de corte máxima	1xD
Sobrepasada máxima	1xD

Fresa frontal acabado hsse 8% co 3z aluminio larga de 14mm

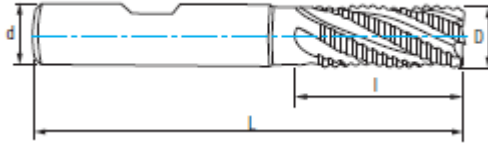


Figura 144. Fresa frontal acabado 14 mm.

Fabricante	Izar
Referencia	4432
N° Articulo	44561
Diámetro de corte (D)	14 mm
Diámetro de conexión(d)	12 mm
Longitud total(L)	110 mm
Longitud del filo de corte(l)	53 mm
N° de filos	3
Ángulo Hélice	45°
Profundidad de corte máxima	1-2xD
Sobrepasada máxima	1xD

### Fresa de bola 10mm

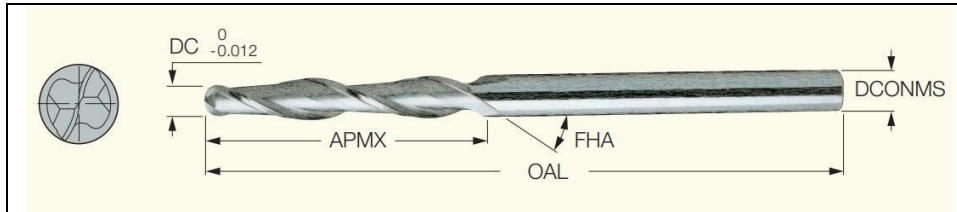


Figura 145. Fresa de bola de 10 mm.

Fabricante	ISCAR
Designación	EB-A2 10-60C10E150
Diámetro de corte nominal (DC)	10 mm
Número de elementos de filos	2
Profundidad de corte máxima (APMX)	60 mm
Diámetro de conexión (DCONMS)	10 mm
Longitud total (OAL)	150 mm
Ángulo de desahogo de viruta (FHA)	30°
Tolerancia del radio de esquina (RETOL)	+/- 0.012 mm

### Fresa de bola 6mm

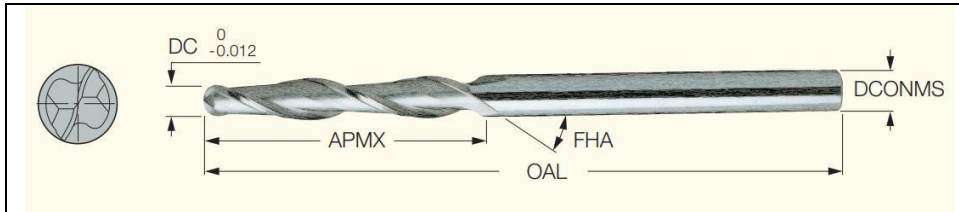


Figura 146. Fresa de bola 6 mm.

Fabricante	ISCAR
Designación	EB-A2 06-50C06E150
Diámetro de corte nominal (DC)	6 mm
Número de elementos de filos	2
Profundidad de corte máxima (APMX)	50 mm
Diámetro de conexión (DCONMS)	6 mm
Longitud total (OAL)	150 mm
Ángulo de desahogo de viruta (FHA)	30°
Tolerancia del radio de esquina (RETOL)	+/- 0.012 mm

Fresa frontal de desbaste grueso pmx din844nr nz de 16mm.

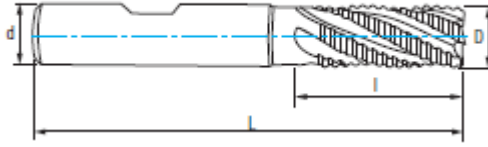


Figura 147. Fresa frontal desbaste de 16 mm

Fabricante	Izar
Referencia	6640
N° Articulo	21078
Diámetro de corte (D)	22 mm
Diámetro de conexión(d)	22 mm
Longitud total(L)	104 mm
Longitud del filo de corte(l)	28 mm
N° de filos	5
Ángulo Hélice	30°
Profundidad de corte máxima	1xD
Sobrepasada máxima	1xD

Fresa frontal acabado hsse 8% co 3z aluminio larga de 10mm

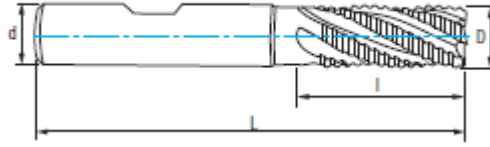


Figura 148. Fresa frontal acabado de 10 mm

Fabricante	Izar
Referencia	4432
N° Articulo	44555
Diámetro de corte (D)	10 mm
Diámetro de conexión(d)	10 mm
Longitud total(L)	95 mm
Longitud del filo de corte(l)	45 mm
N° de filos	3
Ángulo Hélice	45°
Profundidad de corte máxima	1-2xD
Sobrepasada máxima	1xD



Fresa frontal acabado hsse 8% co 3z aluminio larga de 4mm

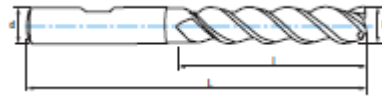


Figura 149. Fresa frontal acabado de 4 mm.

Fabricante	Izar
Referencia	4432
N° Articulo	77457
Diámetro de corte (D)	4 mm
Diámetro de conexión(d)	6 mm
Longitud total(L)	63 mm
Longitud del filo de corte(l)	19 mm
N° de filos	3
Ángulo Hélice	45°
Profundidad de corte máxima	1-2xD
Sobrepasada máxima	1xD

Fresa frontal de desbaste grueso pmx din844nr nz de 6mm.

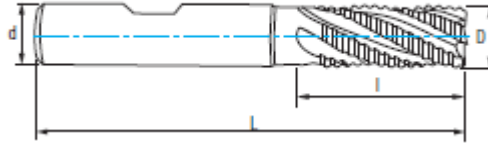


Figura 150. Fresa frontal desbaste de 6 mm.

Fabricante	Izar
Referencia	6640
N° Articulo	20903
Diámetro de corte (D)	6 mm
Diámetro de conexión(d)	6mm
Longitud total(L)	66 mm
Longitud del filo de corte(l)	13 mm
N° de filos	4
Ángulo Hélice	30°
Profundidad de corte máxima	1xD
Sobrepasada máxima	1xD

Fresa metal duro 2z uso general 1,5 mm.

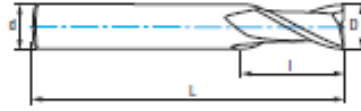


Figura 151. Fresa metal duro uso general de 1,5 mm.

Fabricante	Izar
Referencia	9421
N° Articulo	33610
Diámetro de corte (D)	1,5 mm
Diámetro de conexión(d)	3 mm
Longitud total(L)	38mm
Longitud del filo de corte(l)	3 mm
N° de filos	2
Ángulo Hélice	30°
Profundidad de corte máxima	0,5 -1xD
Sobrepasada máxima	1xD

Fresa frontal acabado hsse 8% co 3z aluminio larga de 2,5 mm.

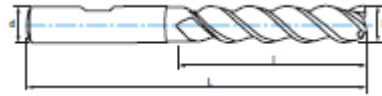


Figura 152. Fresa frontal acabado de 2,5 mm

Fabricante	Izar
Referencia	4432
N° Articulo	77454
Diámetro de corte (D)	2,5 mm
Diámetro de conexión(d)	6 mm
Longitud total(L)	56 mm
Longitud del filo de corte(l)	12 mm
N° de filos	3
Ángulo Hélice	45°
Profundidad de corte máxima	1-2xD
Sobrepasada máxima	1xD

**Fresa metal duro 3z aluminio pulido espejo 45° de 3mm***Figura 153. Fresa aluminio pulido espejo de 3 mm*

Fabricante	Izar
Referencia	9439
N° Articulo	30438
Diámetro de corte (D)	3 mm
Diámetro de conexión(d)	3mm
Longitud total(L)	38 mm
Longitud del filo de corte(l)	8 mm
N° de filos	3
Ángulo Hélice	45°
Profundidad de corte máxima	0,5-1xD
Sobrepasada máxima	1xD

## Fresa metal duro 3z aluminio pulido espejo 45° de 2mm



Figura 154. Fresa aluminio pulido de 2 mm.

Fabricante	Izar
Referencia	9439
N° Articulo	30438
Diámetro de corte (D)	2 mm
Diámetro de conexión(d)	3 mm
Longitud total(L)	38 mm
Longitud del filo de corte(l)	6mm
N° de filos	2
Ángulo Hélice	30°
Profundidad de corte máxima	0,5-1xD
Sobrepasada máxima	1xD

### Fresa de bola 5mm

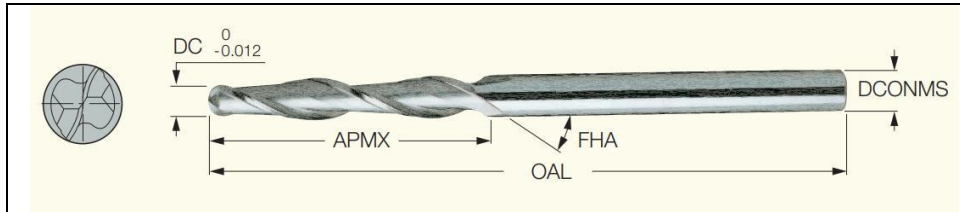


Figura 155. Fresa de bola de 5 mm

Fabricante	ISCAR
Designación	EB-A2 05-40C05E100
Diámetro de corte nominal (DC)	5 mm
Número de elementos de filos	2
Profundidad de corte máxima (APMX)	40 mm
Diámetro de conexión (DCONMS)	5 mm
Longitud total (OAL)	10 mm
Ángulo de desahogo de viruta (FHA)	30°
Tolerancia del radio de esquina (RETOL)	+/- 0.012 mm

### Fresa de bola 1,5mm

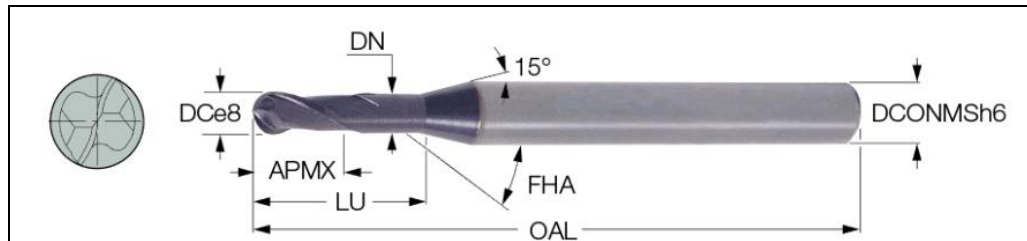


Figura 156. Fresa de bola de 1,5 mm.

Fabricante	ISCAR
Designación	EB-A2 015-023/06C4M45
Diámetro de corte nominal (DC)	1,5 mm
Número de elementos de filos	2
Profundidad de corte máxima (APMX)	40 mm
Longitud utilizable (LU)	6 mm
Diámetro de conexión (DCONMS)	4mm
Longitud total (OAL)	45 mm
Ángulo de desahogo de viruta (FHA)	30°