



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

**ESTUDIO DEL MECANIZADO DE LA
CAVIDAD Y NÚCLEO DE UN MOLDE
CON INVENTOR CAM**

Autor:

Olandía Olea, Daniel

Tutor:

Delgado Urrecho, Javier

**CMIM-EGI-IM-
ICGMIPF/INGENIERÍA DE LOS
PROCESOS DE FABRICACIÓN**

Valladolid, Julio 2025



Resumen

La tecnología de la fabricación ha experimentado un crecimiento constante a lo largo del tiempo. Desde sus comienzos, hace más de 60 años, los sistemas CAD/CAM han evolucionado hasta convertirse en una herramienta esencial dentro de la industria actual. Estas plataformas ofrecen muchas ventajas en los procesos de fabricación, incrementando la productividad, minimizando errores de diseño y mecanizado, y mejorando significativamente la calidad de los productos finales.

El objetivo de este trabajo de fin de grado es evaluar la capacidad del software Inventor CAM, aunque no sea tan avanzado como otras opciones, para realizar el mecanizado de la cavidad y núcleo de un molde en aluminio. De este modo se intenta demostrar que este programa es útil, tanto para empresas que se dedican al mecanizado de moldes, como para instituciones educativas, donde se puede emplear como herramienta de enseñanza en el ámbito de la tecnología CAD/CAM.

Palabras Clave

INVENTOR CAM, MECANIZADO, FRESADO, CNC, MOLDES DE ALUMINIO.



Abstract

Manufacturing technology has experienced steady growth over time. Since its beginnings more than 60 years ago, CAD/CAM systems have evolved into essential tools within today's industry. These platforms offer many advantages in manufacturing processes, increasing productivity, minimizing design and machining errors, and significantly improving the quality of final products.

The aim of this undergraduate thesis is to evaluate the capabilities of the Inventor CAM software, even though it may not be as advanced as other options, in performing the machining of the cavity and core of an aluminum mold. The intention is to demonstrate that this software can be useful both for companies dedicated to mold machining and for educational institutions, where it can serve as a teaching tool in the field of CAD/CAM technology.

Keywords

INVENTOR CAM, MACHINING, MILLING, CNC, ALUMINUM MOLDS.



ÍNDICE

1. Introducción y objetivos.....	10
1.1. Introducción	10
1.2. Objetivos	12
1.3. Estructura del trabajo	13
2. Evolución de la tecnología CAD/CAM y su aplicación en la generación de moldes.....	14
2.1. Evolución del CAD	14
2.2. Evolución del CAM	15
2.3. Proceso de moldeo de plástico por inyección.....	16
3. Inventor Cam	19
3.1. Introducción a Inventor CAM.....	19
3.2. Entorno de trabajo en Inventor	20
3.3. Interfaz del módulo de Inventor CAM	27
3.4. Proceso general de mecanizado	28
3.4.1. Configuración	28
3.4.2. Creación de una biblioteca de herramientas	29
3.4.3. Programación de las estrategias de mecanizado.....	34
3.4.4. Simulación y verificación del mecanizado	38
3.4.5. Postprocesado	43
4. Mecanizado de un molde de aluminio 6061 T6-T651	45
4.1. Material del tocho de partida.....	45
4.2. Molde a mecanizar	48
4.3. Proceso paso a paso del mecanizado con Inventor CAM	49
4.3.1. Abrir archivo .step	49
4.3.2. Configuración del mecanizado	49
4.3.3. Selección de herramientas de corte y creación de la biblioteca de herramientas personalizada	51
4.4. Programación de las estrategias de desbaste	54
4.4.1. Planeado inicial del molde negativo	54



4.4.2.	Desbaste adaptativo.....	62
4.5.	Programación de las estrategias de acabado.....	67
4.5.1.	Contorneado.....	67
4.5.2.	Paralelo de la superficie plana inclinada	72
4.5.3.	Paralelo en el extremo cóncavo	77
4.5.4.	Espiral de acabado a la superficie esférica	81
4.5.5.	Mecanizado horizontal de acabado	85
4.5.6.	Acabado de radios menores	89
4.6.	Postprocesado	94
5.	Presupuesto	96
6.	Conclusiones	99
6.1.	Conclusiones y líneas de trabajo futuras	99
6.2.	Conclusiones personales	100
7.	Bibliografía	101
Anexo I.	Herramientas de corte	103



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de una máquina extrusora de tornillo.	17
Figura 2: Secuencia de movimientos en una máquina extrusora convencional.	17
Figura 3: Duración de las diferentes etapas del ciclo de inyección en una máquina convencional.	18
Figura 4: Logotipo Autodesk Inventor CAM.	19
Figura 5: Pantalla de inicio de Autodesk Inventor.	21
Figura 6: Pestaña “Archivo” en pantalla de inicio de Autodesk. Inventor.	22
Figura 7: Pestaña “Herramientas” en pantalla de inicio de Autodesk Inventor.	22
Figura 8: Ventana “Opciones” de la aplicación.....	22
Figura 9: Pestaña “CAM” en pantalla de inicio de Autodesk Inventor.....	23
Figura 10: Ventana “Opciones de CAM”.....	23
Figura 11: Pestaña “Colaborar” en pantalla de inicio de Autodesk Inventor.	23
Figura 12: Ventana automática de ayuda de Inventor.....	24
Figura 13: Entorno de trabajo en Autodesk Inventor.....	24
Figura 14: Pestaña “Modelo 3D” en la cinta de opciones.	25
Figura 15: Pestaña “Boceto” en la cinta de opciones.	25
Figura 16: Pestaña “Anotar” en la cinta de opciones.....	25
Figura 17: Pestaña “Inspeccionar” en la cinta de opciones.	26
Figura 18: Estilo visual en la pestaña “Vista” de la cinta de opciones.....	26
Figura 19: Interfaz Autodesk Inventor CAM	27
Figura 20: Pestañas de “Configuración”, “Material” y “Postprocesar” dentro de la ventana Configuración.	29
Figura 21: Biblioteca de herramientas de Inventor CAM.....	30
Figura 22: Creación de una nueva biblioteca de herramientas dentro de Inventor CAM	31
Figura 23: Opciones de generación de herramientas.....	31
Figura 24: Pestaña "Cortador" en la creación de nuevas herramientas.	32
Figura 25: Pestaña "Avance y velocidad" en la creación de nuevas herramientas.	33
Figura 26: Herramientas creadas en una biblioteca personalizada de Inventor CAM.....	33
Figura 27: Estrategias de mecanizado en la cinta superior de Inventor CAM.....	34
Figura 28: Pestaña "Herramientas" en estrategia de mecanizado.	34
Figura 29: Pestaña "Geometría" en estrategia de mecanizado.....	35
Figura 30: Pestaña "Alturas" en estrategia de mecanizado.	35

Figura 31: Representación de la altura superior en la pestaña Alturas.	36
Figura 32: Representación de altura inferior en la pestaña Alturas.	36
Figura 33: Representación de altura de seguridad en la pestaña Alturas.	36
Figura 34: Representación de altura de retracción en la pestaña Alturas. ...	36
Figura 35: Pestaña "Pasadas" en estrategia de mecanizado.	37
Figura 36: Pestaña "Vinculación" en estrategia de mecanizado.	38
Figura 37: Opción simular en la cinta de opciones superior de Inventor CAM.	39
Figura 38: Pestaña "Mostrar" en la ventana simulación.	39
Figura 39: Pestaña "Información" en la ventana simulación.	40
Figura 40: Pestaña "Estadísticas" en la ventana simulación.	41
Figura 41: Aspecto gráfico en la ventana de simulación.	41
Figura 42: Menú del reproductor de simulación.	42
Figura 43: Línea temporal del reproductor de simulación.	42
Figura 44: Cuadro emergente de ampliación de la información sobre la línea temporal.	42
Figura 45: Colisiones mostradas en rojo sobre la línea temporal.	43
Figura 46: Ventana "Ejecutar procesamiento posterior".	44
Figura 47: Molde positivo.	48
Figura 48: Molde negativo.	48
Figura 49: Cuadro de diálogo "Configuración".	50
Figura 50: Pestañas de "Configuración" y "Material" en el cuadro de dialogo configuración.	51
Figura 51: Biblioteca de herramientas.	52
Figura 52: Creación de herramienta, fresa plana. Pestaña "Cortador".	53
Figura 53: Creación de herramienta, fresa plana. Pestaña "Avance y velocidad".	54
Figura 54: Árbol de operaciones.	55
Figura 55: Pestaña "Herramienta" en estrategia de planeado.	56
Figura 56: Pestaña "Geometría" en estrategia de planeado.	56
Figura 57: Pestaña "Alturas" en estrategia de planeado.	57
Figura 58: Pestaña "Pasadas" en estrategia de planeado.	58
Figura 59: Pestaña "Vinculación" en estrategia de planeado.	59
Figura 60: Trayectorias de la herramienta en estrategia de planeado.	59
Figura 61: Captura de la simulación de la estrategia de planeado.	60
Figura 62: Pestaña "Información" dentro de la simulación.	61
Figura 63: Pestaña "Estadísticas" dentro de la simulación.	61
Figura 64: Pestaña "Herramienta" en estrategia de desbaste adaptativo.	62
Figura 65: Pestaña "Geometría" en estrategia de desbaste adaptativo.	63

Figura 66: Pestaña "Alturas" en estrategia de desbaste adaptativo.	64
Figura 67: Pestaña "Pasadas" en estrategia de desbaste adaptativo.	65
Figura 68: Pestaña "Vinculación" en estrategia de desbaste adaptativo.	65
Figura 69: Trayectorias seguidas por la herramienta en desbaste adaptativo.	66
Figura 70: Simulación final tras operaciones de planeado y desbaste adaptativo.	67
Figura 71: Pestaña "Herramienta" en estrategia de contorneado.	68
Figura 72: Pestaña "Geometría" en estrategia de contorneado.	69
Figura 73: Pestaña "Alturas" en estrategia de contorneado.	69
Figura 74: Pestaña "Pasadas" en estrategia de contorneado.	70
Figura 75: Pestaña "Vinculación" en estrategia de contorneado.	71
Figura 76: Trayectorias de estrategia de contorneado.	71
Figura 77: Captura tras la simulación de la operación de contorneado.	72
Figura 78: Pestaña "Herramienta" en estrategia de paralelo.	73
Figura 79: Pestaña "Geometría" en estrategia de paralelo.	74
Figura 80: Pestaña "Alturas" en estrategia de paralelo.	74
Figura 81: Pestaña "Pasadas" en estrategia paralelo.	75
Figura 82: Pestaña "Vinculación" en estrategia paralelo.	76
Figura 83: Trayectorias de la estrategia de paralelo.	76
Figura 84: Simulación del mecanizado tras la operación de paralelo.	77
Figura 85: Pestaña "Herramienta" en estrategia de paralelo cóncavo.	78
Figura 86: Pestaña "Geometría" en estrategia de paralelo cóncavo.	78
Figura 87: Pestaña "Alturas" en estrategia de paralelo cóncavo.	79
Figura 88: Pestaña "Pasadas" en estrategia de paralelo cóncavo.	80
Figura 89: Pestaña "Vinculación" en estrategia de paralelo cóncavo.	80
Figura 90: Simulación del mecanizado tras la operación de paralelo cóncavo.	81
Figura 91: Pestaña "Herramienta" en estrategia de acabado en espiral.	82
Figura 92: Pestaña "Geometría" en estrategia de acabado en espiral.	82
Figura 93: Pestaña "Alturas" en estrategia de acabado en espiral.	83
Figura 94: Pestaña "Pasadas" en estrategia de acabado en espiral.	84
Figura 95: Pestaña "Vinculación" en estrategia de acabado en espiral.	84
Figura 96: Simulación del mecanizado tras la operación de acabado en espiral.	85
Figura 97: Pestaña "Herramienta" en estrategia de acabado horizontal.	86
Figura 98: Pestaña "Geometría" en estrategia de acabado horizontal.	86
Figura 99: Pestaña "Alturas" en estrategia de acabado horizontal.	87
Figura 100: Pestaña "Pasadas" en estrategia de acabado horizontal.	87

Figura 101: Pestaña "Vinculación" en estrategia de acabado horizontal.....	88
Figura 102: Simulación del mecanizado tras la operación de acabado horizontal.	88
Figura 103: Pestaña "Herramienta" en estrategia de acabado de radios menores.	89
Figura 104: Pestaña "Geometría" en estrategia de acabado de radios menores.	90
Figura 105: Pestaña "Alturas" en estrategia de acabado de radios menores.	90
Figura 106: Pestaña "Pasadas" en estrategia de acabado de radios menores.	91
Figura 107: Pestaña "Vinculación" en estrategia de acabado de radios menores.	92
Figura 108: Trayectorias de la estrategia de acabado de radios menores. ...	92
Figura 109: Simulación del mecanizado tras la operación de acabado de radios menores.	93
Figura 110: Simulación del mecanizado del molde positivo.	94
Figura 111: Ventana postprocesado para obtención del código de control numérico.	95
Figura 112: Medidas geométricas del portaplaquitas.	103
Figura 113: Medidas geométricas de la plaquita.	104
Figura 114: Medidas geométricas de la fresa plana 8mm.	105
Figura 115: Medidas geométricas de la fresa de punta esférica 4mm.	107
Figura 116: Medidas geométricas de la fresa plana 6,35mm.	109
Figura 117: Medidas geométricas de la fresa de punta esférica 2mm.	111

1. Introducción y objetivos

1.1. Introducción

En este trabajo de fin de grado se abordará el estudio detallado del mecanizado de la cavidad y el núcleo de un molde de aluminio mediante el software de Autodesk, Inc. Inventor CAM. Los procesos de mecanizado se van a realizar mediante un fresado en 3 ejes. Estos procesos de mecanizado son cruciales para la fabricación de moldes en aluminio.

En este trabajo se pondrá a prueba la capacidad del software Inventor CAM para poder realizar el mecanizado de moldes en aluminio, teniendo en cuenta



las diferentes particularidades y complejidades geométricas de las superficies a trabajar. Para lograr un acabado superficial óptimo se van a usar estrategias de fresado en 3 ejes, esenciales para dar una alta calidad de acabado a las piezas fabricadas. Las técnicas de moldeo de aluminio son comúnmente usadas en la producción de una gran variedad de componentes, desde piezas de automóviles hasta productos de uso común.

El trabajo se inicia con un pequeño repaso de la evolución en la tecnología CAM/CAD, destacando su gran importancia en la mejora de los procesos de fabricación y su creciente relevancia en la industria moderna.

Posteriormente, se va a realizar una leve introducción al software Inventor CAM, explorando sus principales funciones y capacidades en el ámbito del fresado.

Después se llevará a cabo una simulación del mecanizado de la cavidad y el núcleo del molde de aluminio con Inventor CAM, con el objetivo de evaluar su eficacia y precisión a la hora de realizar este tipo de trabajos. A partir de los resultados obtenidos, se sacarán conclusiones sobre la viabilidad y utilidad de este software en la industria.

Y por último se va a realizar un presupuesto sencillo, con un enfoque académico y centrado en las etapas de mecanizado de los moldes.

1.2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es poner a prueba el software Inventor Cam para obtener el programa de mecanizado de los moldes, en este caso vamos a probarlo para mecanizar un molde de aluminio. La intención es comprobar que este software es capaz de simular el mecanizado que necesitamos para generar el molde, el cual consiste en emplear diferentes estrategias de fresado continuo en 3 ejes.

Aunque existen otros softwares más completos que Inventor Cam, como pueden ser Mastercam, SolidWorks o Catia entre otros, en este trabajo se pretende averiguar si Inventor Cam puede realizar esos mecanizados de una manera competente sin depender de otros programas.

Se detallará el proceso general del mecanizado utilizando este software, creando una biblioteca de herramientas para nuestro mecanizado, generando las trayectorias en tres ejes, simulando las diferentes fases del mecanizado para comprobar que no hay errores o colisiones y, por último, generar el código de control numérico necesario para la máquina que va a realizar el mecanizado.

Otro de los objetivos principales de este trabajo es comprobar que el mecanizado es viable económicamente. Para ello se presentará un presupuesto de ejecución en el que se valorará el conjunto de operaciones involucradas hasta la obtención final de la pieza.

1.3. Estructura del trabajo

Este trabajo se divide en 4 capítulos principales. El primer capítulo es una introducción del trabajo realizado con una breve descripción de los objetivos y la justificación de estos.

En el segundo capítulo se realiza una introducción a la tecnología CAD/CAM en el que se explica en qué consiste esta tecnología y se hace un repaso de su evolución. También se añade una breve explicación del proceso de moldeo por inyección. De este modo, en este capítulo se relacionan aspectos fundamentales de la fabricación de moldes, como son el diseño, la fabricación de dichos moldes y el proceso de fabricación en el que van a ser empleados.

El tercer capítulo es una introducción al software Inventor CAM. En este capítulo se van a explicar de forma breve las principales herramientas con las que cuenta el programa. Se va a desarrollar cómo se configura un proceso de mecanizado, cómo se crean herramientas y una biblioteca personalizada para las mismas, cómo se generan las trayectorias de fresado en tres ejes, cómo se simula el conjunto de operaciones del mecanizado para comprobar si existen errores o colisiones y, por último, obtener el código de CNC que se necesita para enviarlo a la máquina para poder realizar el mecanizado.

En el cuarto capítulo se procede a describir cómo es el trabajo realizado con Inventor CAM, que es el objetivo principal de este trabajo. En este capítulo se van a representar con Inventor CAM todas las operaciones del mecanizado de los moldes, incluyendo una simulación final comprobando que no hay ningún error ni se producen colisiones antes de generar el código CNC.

Por último, se extraen conclusiones sobre el software y su capacidad para realizar el trabajo deseado y comentando su viabilidad para empresas que necesiten realizar este tipo de mecanizados.

2. Evolución de la tecnología CAD/CAM y su aplicación en la generación de moldes

Lo primero que hay que tener en cuenta antes de empezar a hablar sobre Inventor Cam, es que hay que conocer la tecnología CAD/CAM, qué usos tiene en la industria y su evolución hasta la actualidad.

La evolución de la tecnología CAD, cuyas siglas significan Diseño Asistido por Computadora, y CAM, que significa Fabricación Asistida por Computadora, ha sido fundamental para el desarrollo de la ingeniería, revolucionando la forma de diseñar y fabricar los productos. Desde sus inicios hasta la actualidad, estas tecnologías han experimentado avances significativos que han mejorado notablemente la eficiencia, precisión y capacidad de producción en una amplia gama de industrias.

A continuación, veremos una breve cronología de la evolución de estas tecnologías.

2.1. Evolución del CAD

Antes de la llegada de estas tecnologías, las empresas de ingeniería, arquitectura y fabricación contrataban a dibujantes que se dedicaban a realizar su trabajo de forma manual, con lápices, reglas, compases, etc.

Entre los años 50 y 60 se desarrolló el sistema “SKETCHPAD” por Ivan Sutherland en el MIT, que es considerado como el primer programa de CAD interactivo. En la misma década, General Motors desarrolló el sistema “DAC-1”, que fue uno de los primeros sistemas de la industria automotriz. (Sutherland, I. E. 2003).

En las décadas de los 60 y 70, se comenzaron a comercializar estos sistemas y aparecieron las primeras aplicaciones CAD desarrolladas por empresas como Autodesk, permitiendo a ingenieros y arquitectos generar diseños en 2D utilizando programas asistidos por computadora. Estas herramientas eran rudimentarias, pero fueron un primer paso para la automatización del diseño. (Geddes, 2020)

En los años 80 se comenzaron a desarrollar sistemas CAD más avanzados que permitían crear modelos en 3D. Esto proporcionó una representación más realista de los diseños y mejoró la capacidad de visualización.

En la década de los 90, la integración de la informática gráfica y la tecnología de modelado sólido llevaron a la popularización del CAD en la industria. Los sistemas CAD se hicieron más accesibles y fáciles de usar, lo que permitió a un número mayor de ingenieros y diseñadores utilizar estas herramientas en su trabajo diario.

Por último, desde inicios del 2000 hasta la actualidad, la evolución del CAD se ha centrado en la integración con otras tecnologías como la simulación o el análisis de elementos finitos. Los avances en inteligencia artificial y el aprendizaje automático también han comenzado a influir en el desarrollo de sistemas CAM más inteligentes y automatizados.

2.2. Evolución del CAM

Los primeros sistemas de CAD aparecieron en los años 50, surgieron junto con los sistemas CAM, pero en un primer momento se limitaban principalmente al control numérico de máquinas herramientas, como tornos y fresadoras.

En la década de los 70 los sistemas CAM se fueron sofisticando y ya permitían la programación de máquinas CNC (Control Numérico Computerizado) aumentando la variedad de procesos de fabricación en los que era aplicable, incluyendo el corte por láser y el mecanizado de alta velocidad. (Albarrán Ligeró, 2008)

Durante los años 80 y 90 se produjo una gran expansión en la capacidad y sofisticación de los sistemas CAM, incluida la optimización de rutas de herramientas, la simulación de procesos y la integración con sistemas CAD para obtener un mejor flujo de trabajo.

Por último, desde inicios del 2000 hasta la actualidad la evolución de los sistemas CAM ha estado marcada por la integración con tecnologías emergentes, como puede ser la impresión en 3D o la robótica. Los sistemas CAM modernos tienen capacidad para gestionar unos procesos de fabricación altamente complejos y ofrecen una mayor automatización y eficiencia. (Béjar Lagal, 2009)

En resumen, la tecnología CAD/CAM ha ido evolucionando de una forma constante a lo largo de los años y ha sido partícipe de grandes avances en ingeniería y en la fabricación. Desde sus inicios hasta el día de hoy, esta tecnología continúa transformando la forma de diseñar y fabricar productos, ofreciendo a ingenieros y diseñadores unas herramientas cada vez más poderosas para llevar a cabo su trabajo de una manera eficiente y precisa. (Dodok et al., 2017)

2.3. Proceso de moldeo de plástico por inyección

El moldeo de plástico por inyección es una técnica de manufactura ampliamente utilizada para producir grandes volúmenes de piezas. Este proceso implica la inyección de material plástico fundido en un molde, donde se enfría y solidifica hasta una temperatura a la que las piezas puedan ser extraídas sin deformarse y adquieran la forma deseada. Lo más común es utilizar esta técnica con materiales termoplásticos, aunque también se pueden usar termoestables.

El proceso de moldeo de plástico por inyección es el más utilizado; mediante este proceso se pueden fabricar piezas de gran diversidad de tamaños y formas, y varias piezas por ciclo. Los tiempos del ciclo de inyección suelen durar entre 10 y 30 segundos, aunque dependiendo de las piezas pueden ser superiores, lo que hace que sea un proceso de fabricación muy rápido. (Arribillaga, H, 2015)

Existen diferentes tipos de máquinas para realizar inyección de plástico que se han ido desarrollando a lo largo de la historia, las más comunes son: máquinas de pistón y máquinas de husillo. En la actualidad las más utilizadas son las máquinas de husillo, ya que proporcionan un calentamiento del material más uniforme y un mezclado más homogéneo y eficiente.

En las máquinas de husillo se realiza la inyección del material desde la cámara de plastificación, que es la que contiene el husillo en su interior. La rotación del husillo transforma parte de la energía mecánica en calor por fricción, que junto con el calentamiento de las paredes del cilindro, calientan el material para poder inyectarlo.

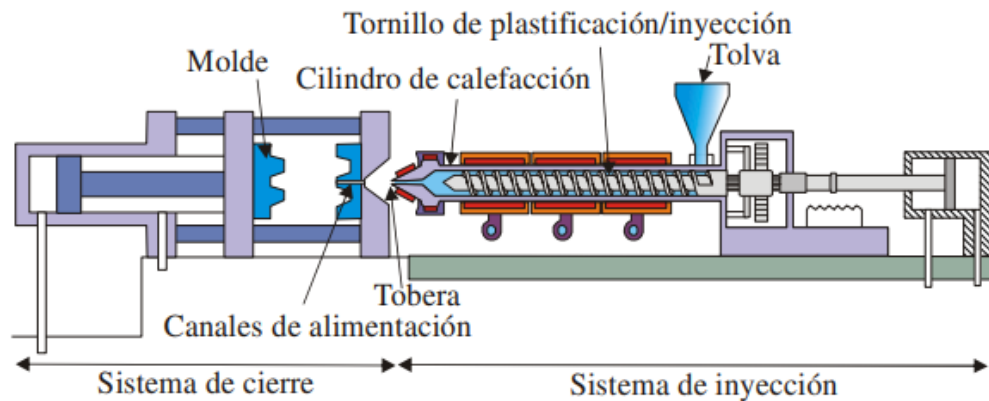


Figura 1: Diagrama de una máquina extrusora de tornillo.

El funcionamiento de estas máquinas consiste en girar el husillo de modo que el material fundido se acumula en la parte anterior del mismo. Para aumentar la capacidad de material fundido de la máquina el husillo retrocede lentamente, cuando hay suficiente material fundido, se detiene y posteriormente se desplaza hacia adelante inyectando el material.

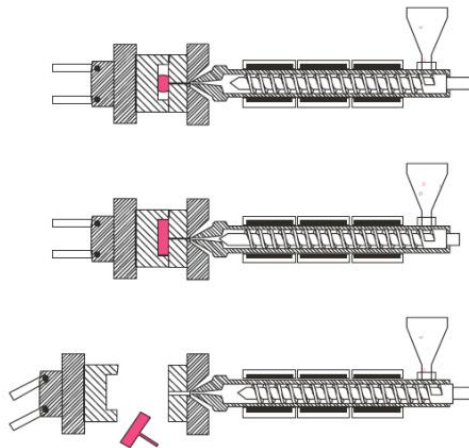


Figura 2: Secuencia de movimientos en una máquina extrusora convencional.

Estas máquinas constan principalmente de dos componentes: la unidad de inyección, que se encarga de fundir, homogeneizar, dosificar e inyectar el material plástico en la cavidad del molde, y la unidad de cierre que se encarga de mantener cerrado y alineado el molde durante la inyección. La capacidad de estos dos componentes puede variar de forma independiente y se seleccionan teniendo en cuenta las medidas de la pieza a fabricar.

A la hora de seleccionar la máquina de inyección hay que tener en cuenta diferentes parámetros, como pueden ser: la capacidad de inyección, la

capacidad de plastificación, la presión de inyección, la velocidad de inyección y la fuerza de cierre. (Alonso Alonso, G. 2017)

También hay que definir los tiempos de las diferentes fases que transcurren durante el ciclo completo de inyección, que son las siguientes: cierre del molde, avance de la unidad de inyección, llenado de inyección, compactación, retroceso de la unidad de inyección, enfriamiento, apertura del molde, extracción de la pieza y cierre del molde. (Beltrán, M. & Marcilla, A.)



Figura 3: Duración de las diferentes etapas del ciclo de inyección en una máquina convencional.

Además de todo lo dicho anteriormente, el molde debe tener algunas partes imprescindibles para poder realizar el proceso de inyección.

Las partes de alimentación del molde son el bebedero, los canales de alimentación y los ataques. El bebedero es la parte donde se apoya la boquilla y se introduce el material desde la unidad de inyección. Posteriormente el material pasa del bebedero a los canales de alimentación, donde se distribuye hacia las diferentes cavidades finales del molde. En la cavidad del molde se encuentran los ataques, que se encargan de adecuar la entrada del material.

La mazarota es el material que queda en el sistema de alimentación tras enfriarse. Este material es un residuo del proceso que se separa de la pieza.

Los sistemas de extracción separan la pieza del molde por medio de unos elementos llamados expulsores. Sin embargo, el sistema de vientos está compuesto por unos pequeños orificios que se realizan en el molde para que cuando se introduce el material puedan evacuar el aire del interior del molde.

3. Inventor Cam

3.1. Introducción a Inventor CAM

En este apartado hablaremos sobre el entorno de Inventor CAM, que es el software utilizado para el desarrollo de este TFG basado en el fresado de varios moldes.



Figura 4: Logotipo Autodesk Inventor CAM.

El software Inventor CAM es un complemento que está integrado dentro de Inventor y está desarrollado por Autodesk Inc. Estos son los propietarios del programa, y además tienen otros programas muy conocidos, como AutoCAD o Revit. La compañía Autodesk es una empresa líder en software de diseño y tecnología de fabricación; fue fundada en 1982 en California, Estados Unidos. Sus softwares son utilizados por profesionales y empresas en diversas industrias para crear, visualizar y simular proyectos complejos. Además, Autodesk está a la vanguardia de la tecnología, ya que también está explorando áreas como la inteligencia artificial, la realidad aumentada y la fabricación aditiva.

El hecho de que Inventor CAM esté diseñado para su funcionamiento dentro de Inventor hace que en el mismo entorno tengamos ambas tecnologías CAD/CAM integradas, lo que facilita en gran medida el desarrollo de productos desde la etapa de diseño hasta el proceso de fabricación de los mismos.

Al estar todo dentro del entorno de Inventor, evitamos tener que importar o exportar ficheros y modelos desde otros programas, eliminando la necesidad de tener que realizar pasos adicionales que pueden dar lugar a cometer errores. Esto nos supone grandes beneficios mejorando la calidad del diseño y reduciendo el tiempo empleado en el desarrollo de los productos. Otro de los beneficios destacables, es que cualquier modificación en el diseño del producto se trasladará automáticamente, modificando y generando nuevas

estrategias y trayectorias en el mecanizado, esto sucede porque los dos softwares están integrados dentro de Inventor.

Esta es la razón por la que el flujo de trabajo es perfecto para desarrollar productos en cualquiera de sus fases, ya que disponemos de todas las herramientas CAD/CAM en el mismo entorno.

Inventor CAM ofrece la posibilidad de realizar diferentes operaciones de mecanizado, como las siguientes:

- Operaciones de taladrado: es un proceso con el que se pueden crear gran variedad de tipos de agujeros, como pueden ser taladrado simple, roscado y perforado.
- Estrategias de fresado 2D: también reciben el nombre de fresado de 2.5 ejes. Se trata de operaciones que se suelen usar para piezas rectangulares con cajeras y mecanizados simples en talleres.
- Estrategias de fresado 3D: son operaciones de mecanizado para piezas con curvas y formas complejas.
- Estrategias de fresado en 5 ejes simultáneos y fresado 3+2: esta operación crea rutas para las herramientas de fresado de 4 y 5 ejes para el mecanizado de superficies avanzado.
- Estrategias de torneado: se utiliza para mecanizar piezas cilíndricas y la programación de tornos CNC.
- Corte bidimensional por chorro de agua, láser o plasma: son operaciones para realizar cortes en superficies por medio de diferentes métodos.

3.2. Entorno de trabajo en Inventor

En el siguiente apartado realizaremos una breve descripción de la interfaz del programa Inventor CAM, que es la que más nos interesa, ya que es el tema principal de este TFG. Empezaremos describiendo la interfaz del programa y después nos centraremos en el apartado CAM, haciendo más hincapié en el fresado 3D.

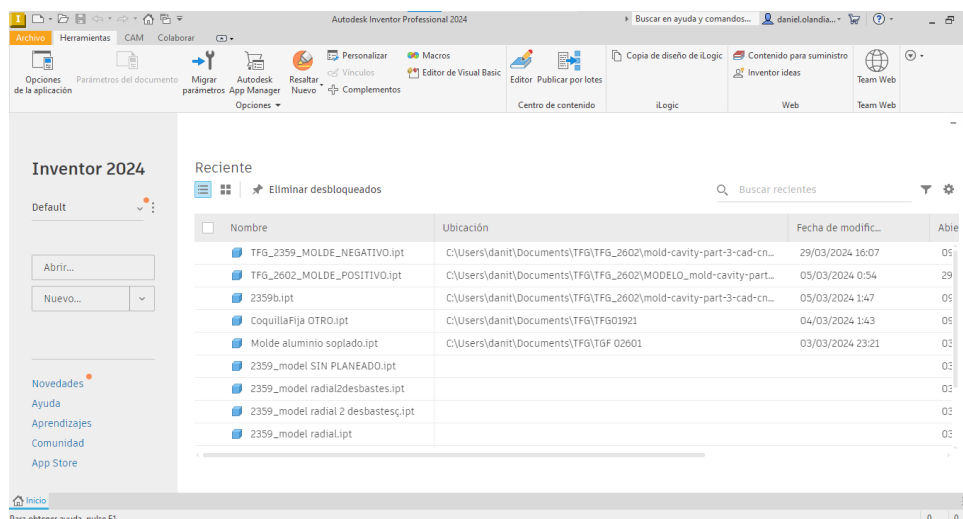


Figura 5: Pantalla de inicio de Autodesk Inventor.

Antes de introducir la parte CAM de Inventor, comenzamos viendo de forma muy breve la interfaz de Inventor para poder conocer algunas de las funciones básicas, como pueden ser abrir un archivo o crear uno nuevo.

Lo primero que observamos al abrir el programa es la pantalla de inicio, en la que podemos ver diferentes apartados y acciones. En el cuadro de la izquierda, podemos observar que hay un desplegable en el que la opción por defecto es “Default”, con la que podremos abrir o crear un proyecto de diseño mecánico. La otra opción disponible en ese desplegable es la de “Inventor Electrical Project” que es para crear un proyecto eléctrico.

Un poco más abajo podemos ver los cuadros para abrir un proyecto ya iniciado o crear uno nuevo, en el que nos da las opciones de comenzar de cero o también nos permite abrir archivos .STP o .ITP si queremos importar un modelo 3D generado con Inventor y otros softwares de CAD.

En el centro de la ventana podemos ver la sección principal titulada como “Reciente” en la que el programa nos muestra los últimos archivos en los que hemos estado trabajando con Inventor.

En la parte superior podemos ver diferentes pestañas, que son las siguientes:

- **Archivo:** en la que se aparece un desplegable en el que nos dan las opciones de abrir un archivo nuevo o uno ya existente, diferentes tipos de guardado y otras opciones entre las que se encuentra la posibilidad de exportar el archivo a diferentes formatos.

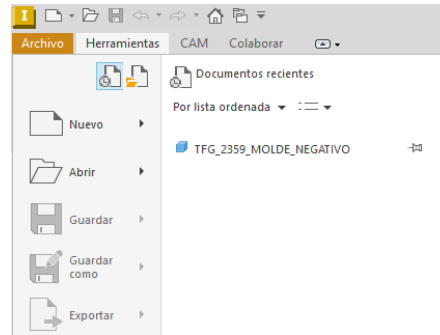


Figura 6: Pestaña “Archivo” en pantalla de inicio de Autodesk.

- **Herramientas:** en esta pestaña tenemos la posibilidad de configurar la interfaz y las opciones de Inventor si entramos en las “Opciones de la aplicación”.

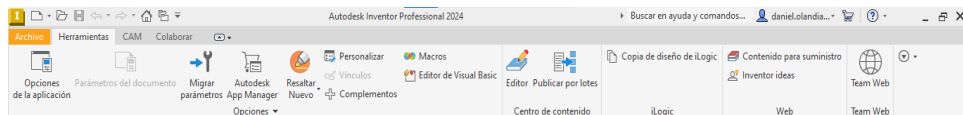


Figura 7: Pestaña “Herramientas” en pantalla de inicio de Autodesk Inventor.

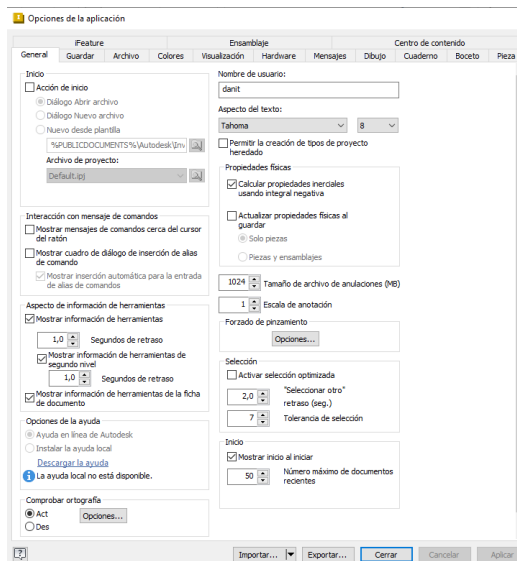


Figura 8: Ventana “Opciones” de la aplicación.

- **CAM:** en esta pestaña podemos crear nuevos archivos o abrir alguno ya existente, tenemos la posibilidad de acceder a las opciones de CAM, a la biblioteca de las herramientas que vamos a usar, podemos acceder a la ayuda de Autodesk Inventor, también tenemos a nuestra

disposición la opción de aprender a través de vídeos en YouTube y la posibilidad de examinar ejemplos ya creados.

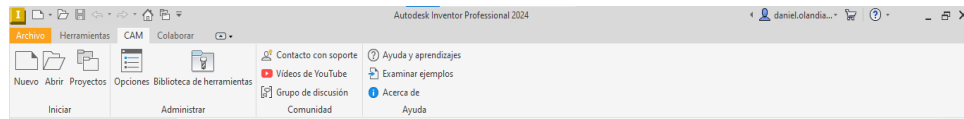


Figura 9: Pestaña “CAM” en pantalla de inicio de Autodesk Inventor.

Dentro de las opciones de CAM tenemos muchas posibilidades para configurar el programa a nuestro gusto.

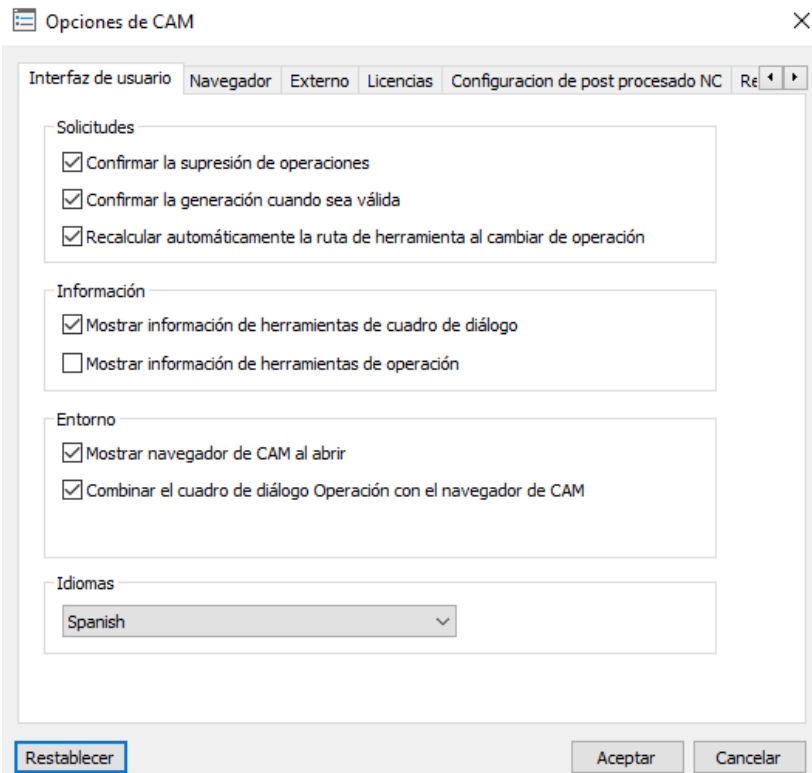


Figura 10: Ventana “Opciones de CAM”.

- Colaborar: es la última de las pestañas y en ella tenemos diferentes funciones para poder realizar un trabajo colaborativo con otros usuarios de la aplicación. Hay dos maneras de colaborar: gestionando modelos compartidos o intercambiando información.

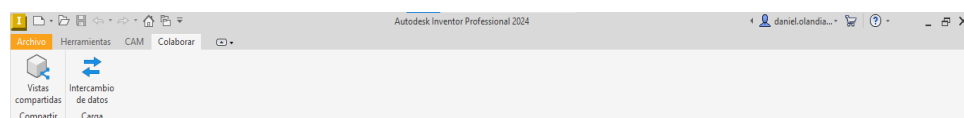


Figura 11: Pestaña “Colaborar” en pantalla de inicio de Autodesk Inventor.

En cuanto a la ayuda de Inventor, es muy sencilla de consultar ya que cada vez que se deja el cursor sobre cualquier botón se despliega una ventana de forma automática con una breve descripción sobre dicha función o configuración. Además, en muchas ocasiones también se muestra un pequeño ejemplo o símbolo gráfico muy intuitivo, ambos son de gran ayuda a la hora de entender la función de dicho botón.

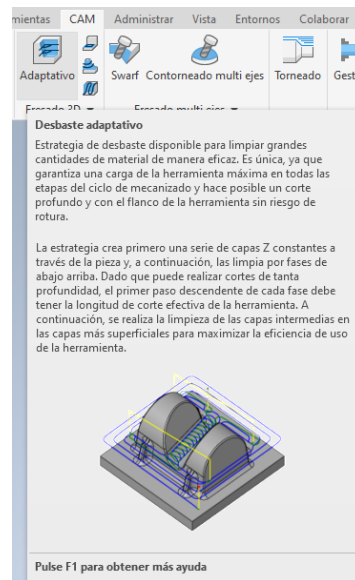


Figura 12: Ventana automática de ayuda de Inventor.

Cuando creamos un archivo nuevo o abrimos uno ya existente, la interfaz del programa cambia y aparecen multitud de herramientas que nos van a permitir realizar el diseño la pieza (CAD), el mecanizado y la simulación de la misma (CAM).

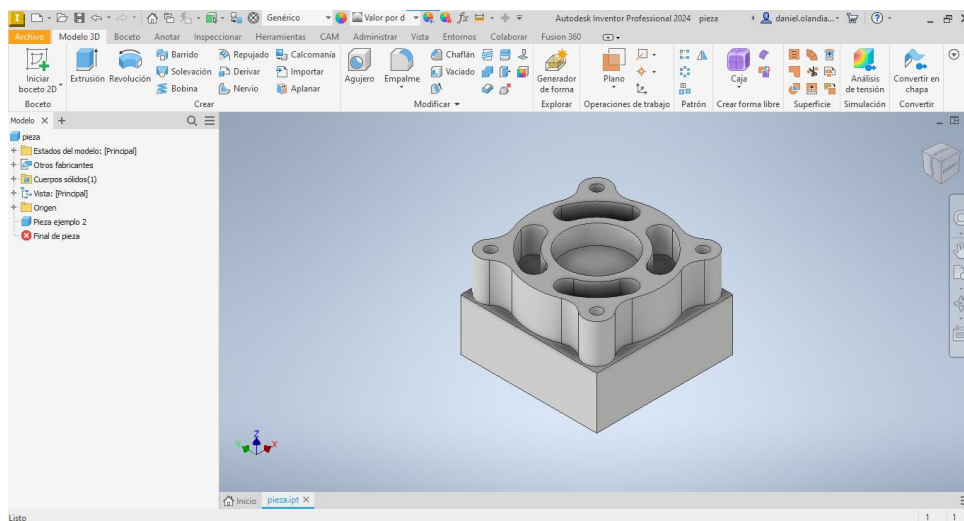


Figura 13: Entorno de trabajo en Autodesk Inventor.

En la parte superior de la Figura 13 podemos observar cómo en la cinta superior, que va de extremo a extremo de la pantalla, tenemos todas las opciones que ofrece el programa. Esta cinta tiene diferentes pestañas que a su vez están divididas en diferentes paneles. En la parte izquierda de la Figura 13 aparece una ventana de navegación del modelo.

Las dos primeras pestañas son “modelo 3D” y “boceto”, las cuales nos ofrecen herramientas para realizar el diseño 3D de las piezas (CAD).

En la Figura 14 vemos las operaciones que nos ofrece la pestaña de “modelo 3D”, como pueden ser extrusión, revolución o empalme.

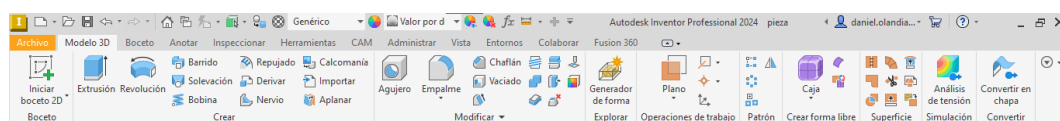


Figura 14: Pestaña “Modelo 3D” en la cinta de opciones.

En la Figura 15 tenemos las operaciones de la pestaña “boceto”, que nos sirven para crear líneas, círculos e incluso añadir texto sobre el diseño.

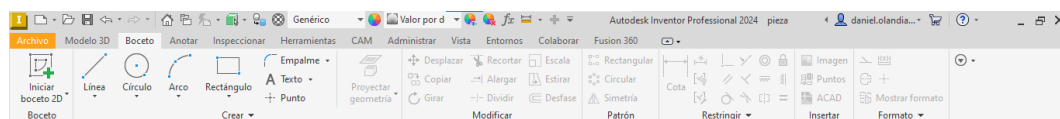


Figura 15: Pestaña “Boceto” en la cinta de opciones.

La siguiente pestaña es la de “anotar” en la cual tenemos todas las opciones para añadir a los bocetos como pueden ser cotas, tolerancias, acabados superficiales, etc.

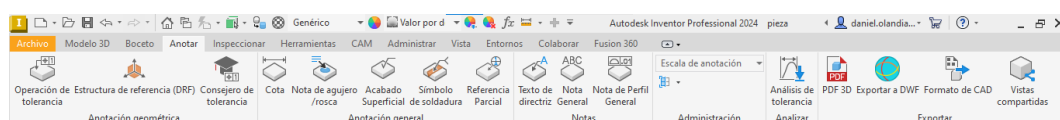


Figura 16: Pestaña “Anotar” en la cinta de opciones.

La siguiente pestaña es “inspeccionar”, en la cual disponemos de diferentes herramientas con las que podemos medir distancias del modelo o realizar diferentes tipos de análisis, como pueden ser de superficie, curvatura o tolerancia.

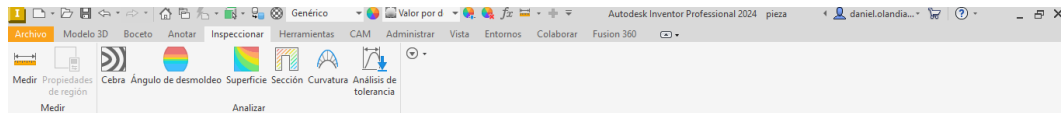


Figura 17: Pestaña “Inspeccionar” en la cinta de opciones.

En la pestaña “vista” se pueden modificar las opciones de visualización, como activar o desactivar la visión de boceto, las cotas de boceto, seleccionar vistas seccionadas de una pieza o el estilo visual de la misma.

Por lo general, el estilo visual que más se suele utilizar es el de “sombreado con aristas”, ya que ver las aristas es de gran utilidad para usarlas de referencia y también nos ayudan a revisar operaciones de mecanizado en el entorno CAM.

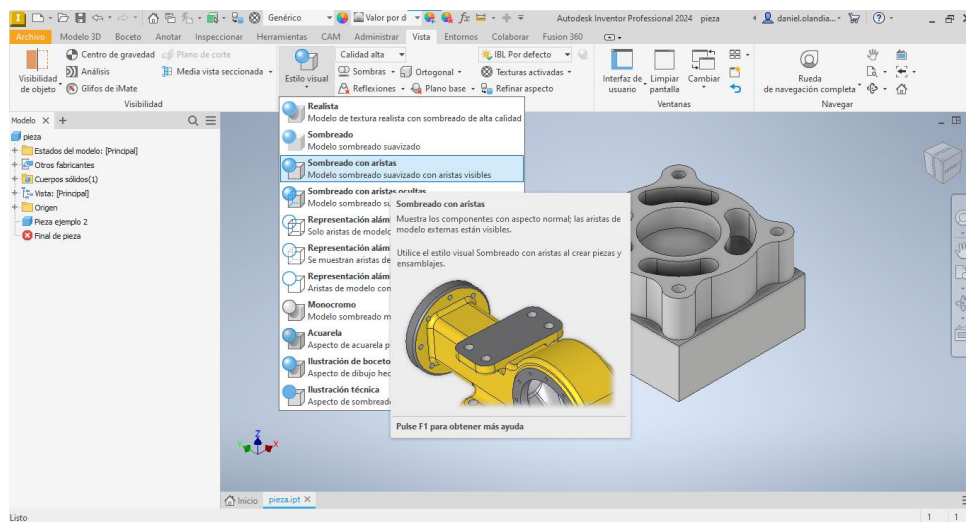


Figura 18: Estilo visual en la pestaña “Vista” de la cinta de opciones.

Después de haber comentado de una forma general el entorno de Inventor, vamos a acceder a Inventor CAM, que es donde se va a desarrollar el mecanizado de los moldes, que son el objetivo de este trabajo. Para acceder a dicho entorno tenemos la pestaña CAM en la cinta de opciones.

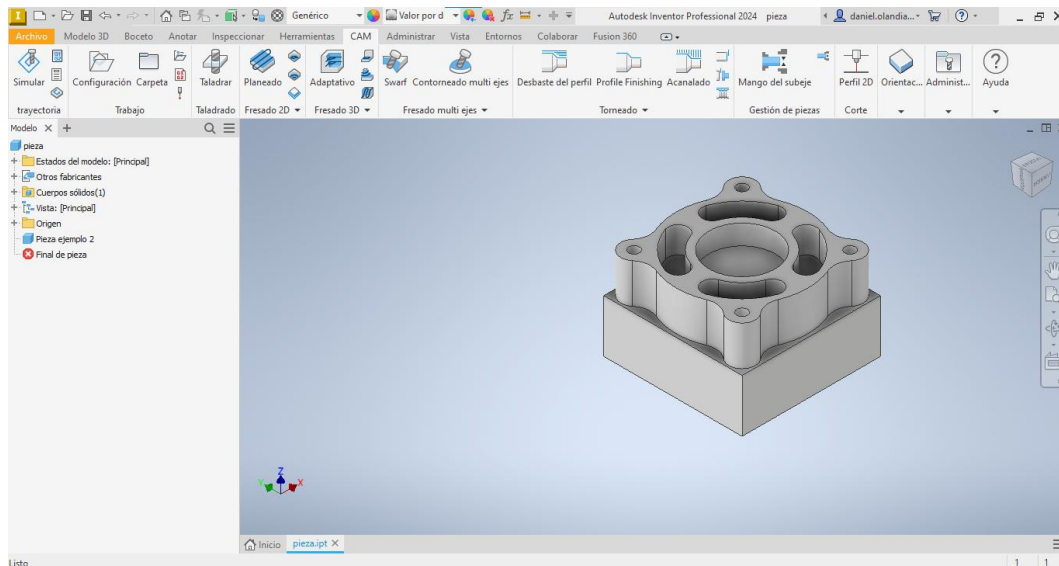


Figura 19: Interfaz Autodesk Inventor CAM

A continuación, nos centraremos en cómo sería un proceso de mecanizado general con este software.

3.3. Interfaz del módulo de Inventor CAM

Como ya hemos comentado al principio, Inventor CAM es un complemento integrado dentro de Inventor, unificando así el flujo de trabajo entre CAD y CAM en el mismo entorno y facilitando en gran medida el diseño de fabricación de piezas, ya que podemos realizar el diseño 3D de la pieza, generar las trayectorias y procesos de mecanizado para la fabricación de la pieza y diferentes tipos de simulaciones. Todo esto hace que a la hora de fabricar una pieza determinada se puedan detectar posibles errores del proceso, calcular el tiempo que va a llevar el mecanizado y cada una de sus operaciones y de esta forma podríamos modificar parámetros del mecanizado a nuestro antojo según quisiéramos, por ejemplo, para disminuir el tiempo total de mecanizado. En conclusión, podemos decir que combinar CAD/CAM nos permite optimizar todo el proceso de fabricación de la pieza a mecanizar antes de llevarlo a cabo.

En este trabajo nos vamos a centrar únicamente en el apartado CAM de Inventor, debido a que el CAD no nos hace falta porque los modelos de los moldes que se van a mecanizar han sido proporcionados en formato .step.

Para acceder al entorno de fabricación asistida por ordenador tenemos la pestaña CAM en la cinta superior de opciones. Dentro de esta pestaña

tenemos todas las opciones de estrategias de mecanizado que nos ofrece el programa, como pueden ser fresado de 2.5 ejes hasta 5, diferentes estrategias de torneado y estrategias de perfil en 2D para corte por chorro de agua, plasma o láser. También tenemos a nuestra disposición la biblioteca de herramientas, la posibilidad de realizar una simulación de las operaciones, además tenemos la opción de crear la hoja de taller y realizar el Postprocesado, con el que generamos el código para la máquina de CNC.


3.4. Proceso general de mecanizado

En este apartado vamos a exponer todos los pasos a seguir para poder generar un programa de mecanizado en Inventor CAM, los cuales son:

1. Crear la configuración. Es el primer paso que debemos realizar y es uno de los más importantes, ya que vamos a seleccionar el tipo de operación que vamos a realizar (fresado, torneado, corte, etc.), la máquina con la que vamos a llevar a cabo el proceso, vamos a definir las dimensiones del tocho a mecanizar, seleccionaremos el sistema de agarre de la pieza y también estableceremos el origen y orientación del sistema de coordenadas de trabajo (STC).
2. Crear una biblioteca de herramientas personalizada en la que se almacenan las herramientas seleccionadas para realizar las operaciones de mecanizado.
3. Seleccionar las operaciones adecuadas para realizar el mecanizado de nuestra pieza. Para ello debemos seleccionar las herramientas que vamos a usar en cada operación y los parámetros de corte adecuados.
4. Simular las trayectorias de las herramientas de cada operación para comprobar que no haya ningún error y se produzcan con éxito. Con las simulaciones podemos ver cómo se elimina todo el material y que no se produzcan colisiones entre herramienta, pieza, sistema de sujeción, entre otros posibles parámetros, cómo sería el tiempo de mecanizado.
5. Postprocesado. Con el postprocesado generamos el código CNC que trasladaremos a la máquina con las instrucciones para realizar el mecanizado.

3.4.1. Configuración

La configuración del proyecto es el primer paso y el más importante. El botón de configuración se encuentra en la pestaña CAM en el panel “trabajo”, en ella

vamos a configurar las condiciones de trabajo básicas para la programación CNC. Si hacemos clic en el icono  aparece un cuadro de diálogo con tres pestañas como vemos en la Figura 20.

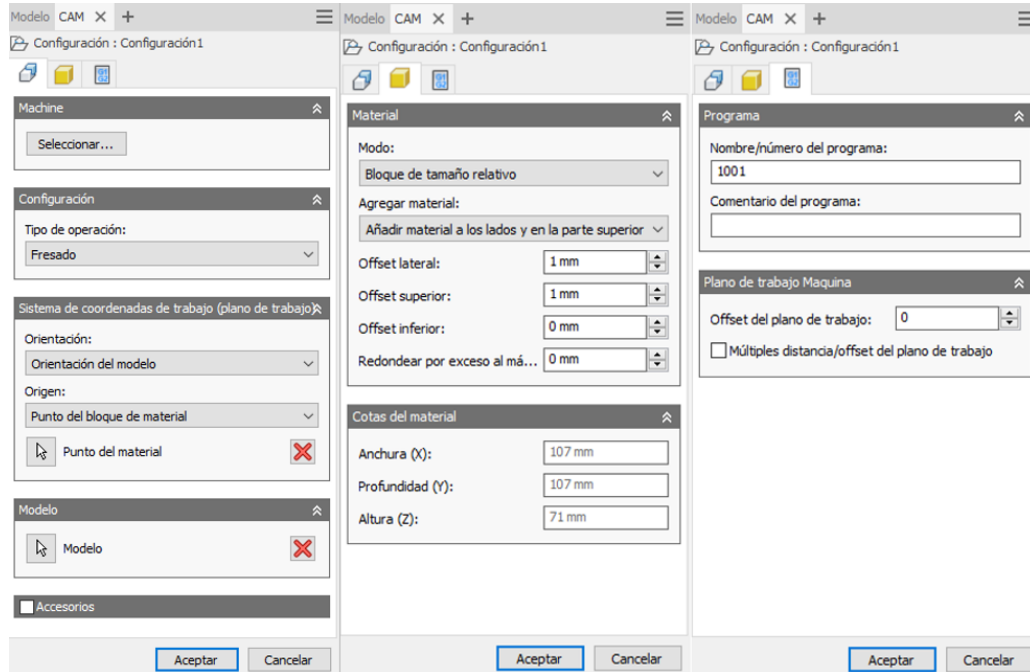



Figura 20: Pestañas de “Configuración”, “Material” y “Postprocesar” dentro de la ventana Configuración.

- Pestaña configuración: en ella se va a seleccionar el tipo de máquina a utilizar, el tipo de operación que se va a realizar, tenemos que definir el origen y la orientación del STC, seleccionar el modelo que se va a mecanizar y los sistemas de sujeción (no es necesario añadirlos en la simulación).
- Pestaña material: en esta ficha se va a definir el tocho de material inicial antes de comenzar el mecanizado, para ello debemos definir el modo, que es la forma que va a tener el tocho inicial, con las dimensiones reales.
- Pestaña postprocesar: en esta ficha se va a definir el nombre/número del programa CNC, también se puede añadir un comentario y definir el plano de trabajo.

3.4.2. Creación de una biblioteca de herramientas

Antes de comenzar con las operaciones de mecanizado es recomendable crear una biblioteca de herramientas personalizada en la que tendremos todo

lo que vamos a necesitar para mecanizar nuestra pieza. Al tener nuestra propia biblioteca vamos a tener nuestras herramientas ordenadas para acceder a ellas de una forma rápida y sencilla.

Para crear la biblioteca de herramientas, debemos hacer clic en el icono  que está situado en la cinta superior de la pestaña CAM, dentro del subgrupo “administrar”, y se nos desplegará la siguiente ventana Figura 21.

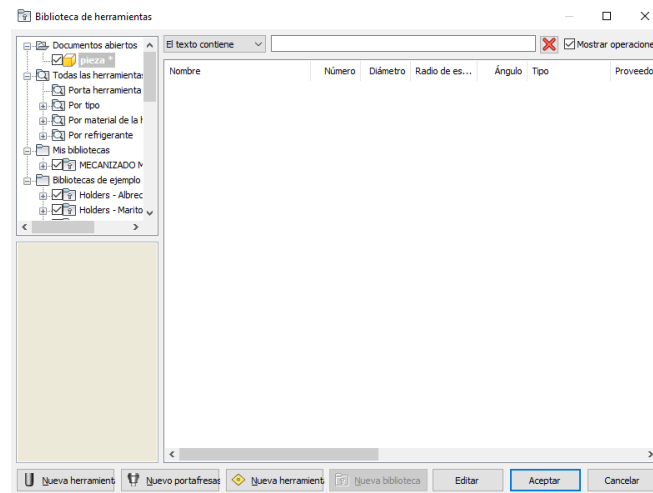


Figura 21: Biblioteca de herramientas de Inventor CAM.

En esta ventana tenemos a la izquierda un árbol en el que podemos acceder a las “Bibliotecas de ejemplo” que vienen definidas por defecto en el programa y también a “Mis bibliotecas”, en la que podremos crear una nueva biblioteca personalizada para poder almacenar las herramientas que vamos a usar en el proceso de mecanizado.

Haciendo clic derecho sobre “Mis bibliotecas” se nos despliegan diferentes opciones y entre ellas está la opción de “Nueva biblioteca”, como se muestra en la Figura 22.

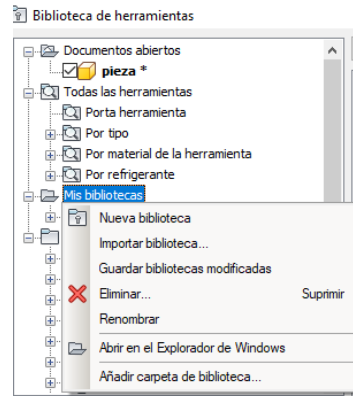


Figura 22: Creación de una nueva biblioteca de herramientas dentro de Inventor CAM

Si hacemos clic sobre “Nueva biblioteca” estaremos creando una nueva biblioteca de herramientas en la que introduciremos los útiles de corte que queramos en ella. Para introducir las herramientas tenemos en la parte inferior de la ventana diferentes botones con los que podemos crear el utillaje, portaherramientas o crear una nueva biblioteca de herramientas como vemos en la Figura 23.

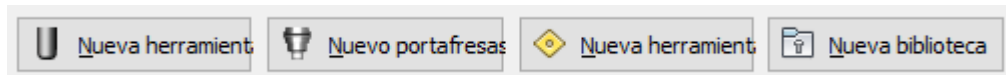


Figura 23: Opciones de generación de herramientas.

Una vez que ya sabemos qué herramienta queremos crear, pulsamos en “nueva herramienta” y nos aparecerá la siguiente ventana, Figura 24, donde procederemos a introducir todos los datos de nuestra herramienta.

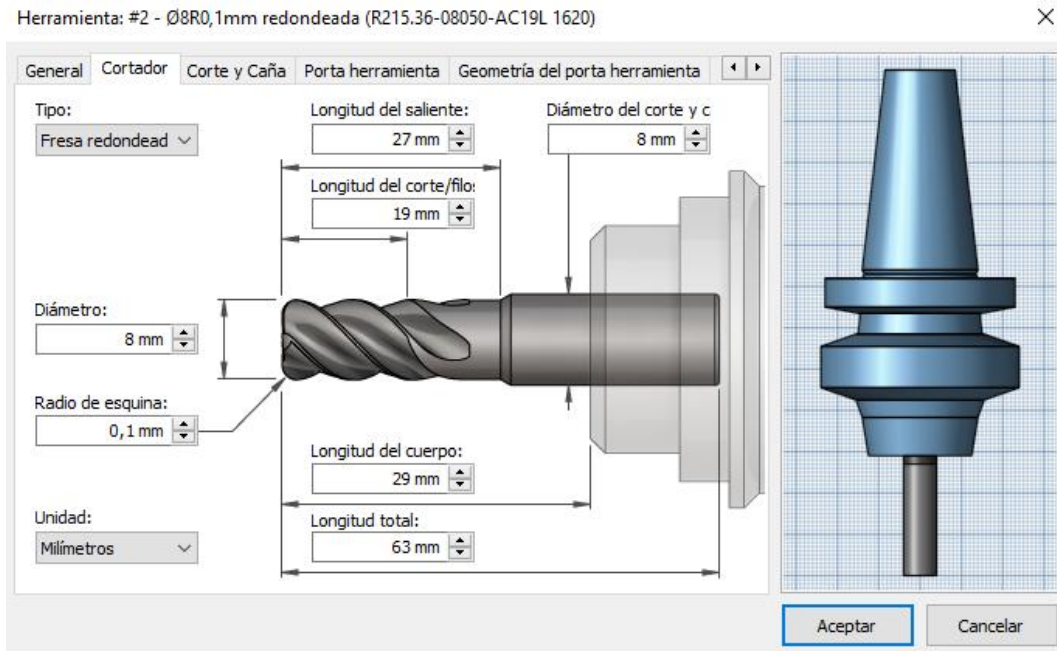


Figura 24: Pestaña "Cortador" en la creación de nuevas herramientas.

En esta ventana existen diferentes pestañas en las que podremos configurar y definir la herramienta. En la pestaña "General" podemos añadir información sobre la herramienta como podrían ser su número de referencia, el material con el que está hecho, su denominación o su proveedor, entre otros. En la figura anterior se muestra la pestaña "Cortador" en la que podemos configurar los datos geométricos de la herramienta. Esta es la pestaña más importante a la hora de definir una herramienta junto con la pestaña "Avance y velocidad".

En la pestaña "Avance y velocidad", que vemos en la Figura 25, se introducen los datos de las velocidades que nos recomienda el fabricante en su catálogo para la herramienta que estamos creando.

Herramienta: #2 - Ø8R0,1mm redondeada (R215.36-08050-AC19L 1620)

Corte y Caña Porta herramienta Geometría del porta herramienta Avance y velocidad

Velocidad

Velocidad de Husillo: 17984,5 rpm = Vel. Superficial: 452 m/min

Revoluciones de husillo: 17984,5 rpm

Cortador

Número de cortes/filo: 6 Paso de rosca: 0 mm

Velocidades de avance

Vel. avance corte: 19315,4 mm/min = Avance por diente: 0,179 mm

Vel. avance entrada: 19315,4 mm/min

Vel. avance salida: 19315,4 mm/min

Velocidad de avance c: 6438,45 mm/min

Velocidades de avance vertical

Velocidad de carga: 6438,45 mm/min = Avance por revolución: 0,358 mm

Velocidad de avance d: 6438,45 mm/min

Rotación del eje

☒ Sentido horario
☐ Sentido antihorario

Aceptar Cancelar

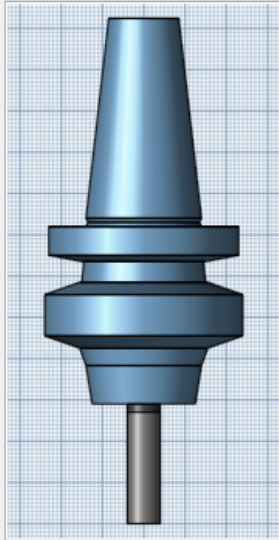


Figura 25: Pestaña "Avance y velocidad" en la creación de nuevas herramientas.

Cuando terminemos de crear todas las herramientas que vamos a necesitar, las tendremos disponibles en la biblioteca personalizada y nos aparecerán en la pantalla, como podemos ver en la Figura 26. Desde esa biblioteca personalizada podremos seleccionarlas durante el proceso de generación de las trayectorias

El texto contiene

☒ Mostrar operaciones

Nombre	Número	Diámetro	Radio de es...	Ángulo	Tipo	Proveedor	ID de pro...	Descripción	Comentario	Velocidad d...	Avi
#1 - Ø8R0,1mm redonde...	1	8 mm	0,1 mm		Fresa redond...	SANDVIK	R215.36...	R215.36-08050-A...	R215.36-08050-A...	17984,5	
Adaptativo1										17984,5	
#2 - Ø4mm bola (18230-...	2	4 mm	2 mm		Fresa de bola	SANDVIK	18230-0...	18230-0400-XA 1...	18230-0400-XA 1...	30478,2	
Adaptativo2										30478,2	
Radial1										30478,2	
Contorneado1										30478,2	
Paralelo1										30478,2	
#3 - Ø6,35R0,397mm red...	3	6,35 mm	0,397 mm		Fresa redond...	SANDVIK	RA215.2...	RA215.26-1650AA...	RA215.26-1650AA...	18000	
Horizontal										18000	
#4 - Ø2mm bola (18230-...	4	2 mm	1 mm		Fresa de bola	SANDVIK	18230-0...	18230-0200-XA 1...	18230-0200-XA 1...	71778,9	
Acabado de radios menor...										71778,9	

Figura 26: Herramientas creadas en una biblioteca personalizada de Inventor CAM.

El proceso de crear las herramientas antes de generar las trayectorias de mecanizado es de gran utilidad para poder ordenar los útiles que se van a usar. Esto cobra más importancia en mecanizados con gran cantidad de operaciones y, por lo tanto, de herramientas distintas, por lo que ayuda a seleccionar las herramientas de una forma más rápida.

3.4.3. Programación de las estrategias de mecanizado

Tras haber realizado la configuración de la operación y creado la biblioteca de herramientas, lo siguiente que debemos hacer es generar las trayectorias de mecanizado sobre el tocho hasta obtener la geometría deseada y conseguir la pieza final. Para lograr nuestro objetivo, Inventor CAM dispone de una gran variedad de estrategias, como podemos ver en la Figura 27. Tenemos la posibilidad de realizar fresados en varios ejes, torneados o corte por láser, chorro de agua o plasma.

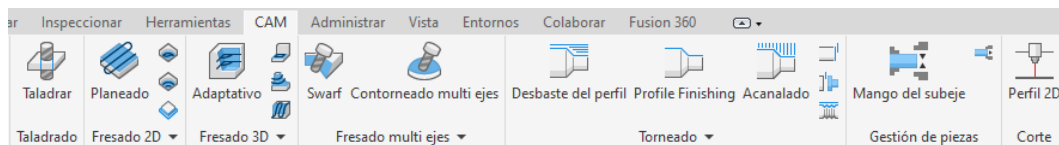


Figura 27: Estrategias de mecanizado en la cinta superior de Inventor CAM.

A continuación, vamos a comentar de forma genérica los pasos a seguir para crear una estrategia; en nuestro caso vamos a mostrarlo con una operación de fresado adaptativo, dentro de la cual tendremos varias pestañas que coinciden con cualquiera de las demás operaciones. En cada pestaña vamos a poner unos ajustes específicos que varían con cada operación, pero es necesario revisar las cinco pestañas al configurar cualquier operación.

La primera pestaña se llama “Herramientas”, en ella debemos seleccionar los útiles de corte que vamos a usar en esta operación y ajustar los parámetros recomendados por el fabricante.

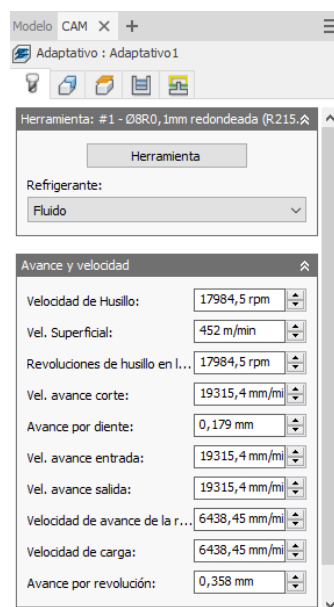


Figura 28: Pestaña "Herramientas" en estrategia de mecanizado.

La segunda pestaña se llama “Geometría”, en esta pestaña debemos indicar al programa sobre qué área de trabajo debe calcular las trayectorias. También tenemos más ajustes, como puede ser “Redesbaste”, que nos sirve solo para el material que no hemos podido eliminar en una operación anterior.

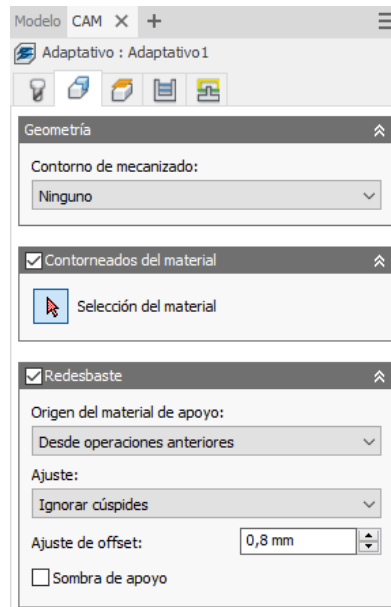


Figura 29: Pestaña "Geometría" en estrategia de mecanizado.

La tercera pestaña es “Alturas”, en ella debemos configurar los distintos niveles que necesita el programa para realizar la operación.

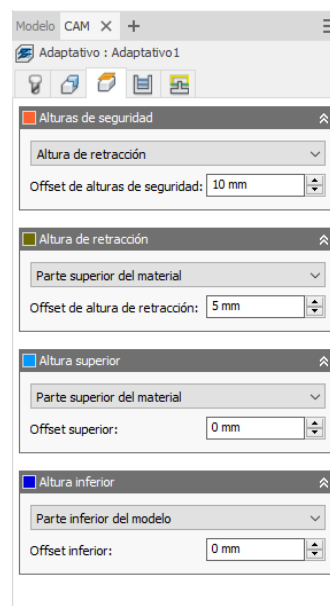


Figura 30: Pestaña "Alturas" en estrategia de mecanizado.

Las principales alturas que debemos definir son:

- La altura superior define el nivel más alto del corte y es la primera posición donde existe material para mecanizar.

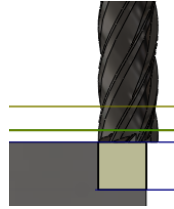


Figura 31: Representación de la altura superior en la pestaña Alturas.

- La altura inferior define la profundidad del mecanizado final y la menor profundidad a la que desciende en el material.



Figura 32: Representación de altura inferior en la pestaña Alturas.

- La altura de seguridad o de espacio libre es el primer nivel al que la herramienta se desplaza en su camino hacia el principio de la ruta de la herramienta.



Figura 33: Representación de altura de seguridad en la pestaña Alturas.

- La altura de retracción es el nivel al que la herramienta se desplaza antes de la siguiente pasada de corte, es decir, entre una pasada de corte y la siguiente.

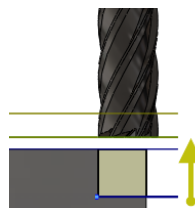


Figura 34: Representación de altura de retracción en la pestaña Alturas.

- La altura del avance es el nivel por encima del cual la herramienta se desplaza con velocidad de avance.

La cuarta pestaña es “Pasadas”, en ella se configuran parámetros de la operación, como el material que debemos dejar en operaciones de desbaste para las posteriores operaciones de acabado; se debe determinar si la operación se va a realizar en una o varias pasadas de profundidad y las profundidades máximas de dichas pasadas, si se va a realizar una sobrepasada o pasada lateral, la dirección de las pasadas, etc. Una de las opciones que usamos en varias operaciones es el suavizado, en el que debemos determinar la tolerancia que queremos obtener, esta opción nos ayuda a reducir el tamaño del código sin que afecte a la precisión.

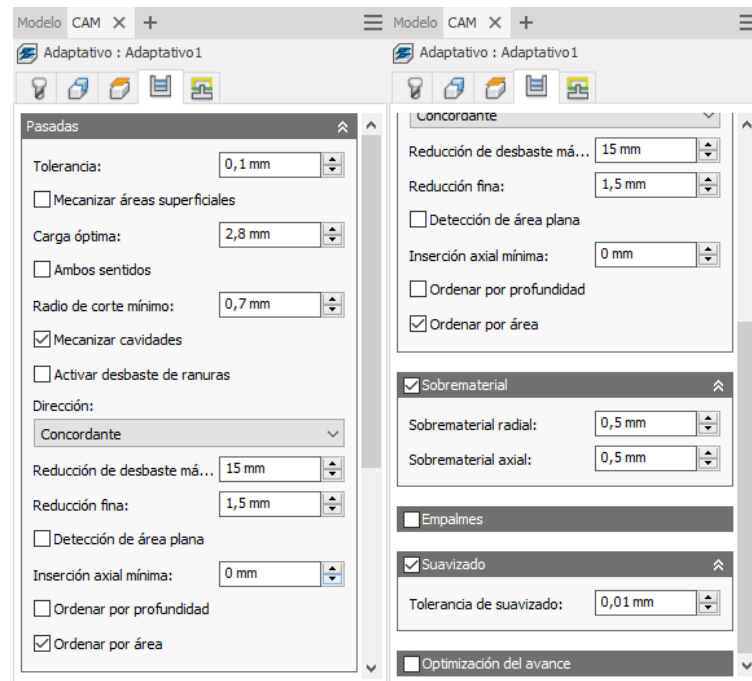


Figura 35: Pestaña “Pasadas” en estrategia de mecanizado.

La quinta y última pestaña es “Vinculación”. En esta pestaña se van a establecer los movimientos que va a realizar la herramienta entre cortes: entrada y salida de la herramienta, la forma de retracción de la herramienta, etc.

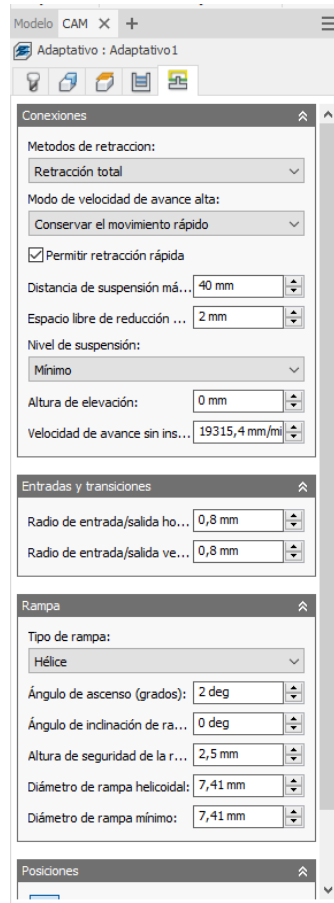



Figura 36: Pestaña “Vinculación” en estrategia de mecanizado.

3.4.4. Simulación y verificación del mecanizado

Una vez que ya se han generado las estrategias de mecanizado apropiadas para obtener la pieza final, se procede a simular el proceso con el objetivo de optimizarlo al máximo. Esto nos permite poder visualizar cómo será el resultado final de la pieza de forma virtual antes de proceder con mecanizado de forma física, podemos calcular los tiempos de mecanizado e intentar reducirlos si es posible, así como verificar posibles colisiones entre herramientas, portaherramientas o partes móviles de la máquina que puedan afectar al resultado final de nuestra pieza.

Para realizar la simulación del mecanizado tenemos que hacer clic en el símbolo  en el panel “Trayectoria” que aparece en la cinta superior, como podemos ver en la Figura 37.

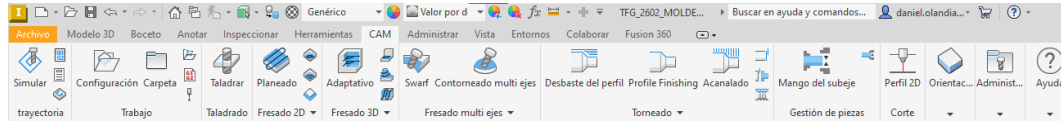


Figura 37: Opción simular en la cinta de opciones superior de Inventor CAM.

Una vez que ya hemos hecho clic en el símbolo de “Simular”, se nos abrirá una ventana con tres pestañas.

La primera pestaña se llama “Mostrar” y en ella tenemos diferentes opciones de visualización. Se puede hacer que veamos o no la herramienta, el portaherramientas o que lo veamos transparente. La trayectoria la podemos activar o desactivar y también podemos seleccionar si queremos ver todas las trayectorias de las herramientas, la ruta de la herramienta antes o después de la posición actual o solo la de la operación actual. En cuanto al material, si la tenemos activa, podremos ver el proceso de eliminación de material y nos ofrece varias opciones como la de “Detener al producirse una colisión”.

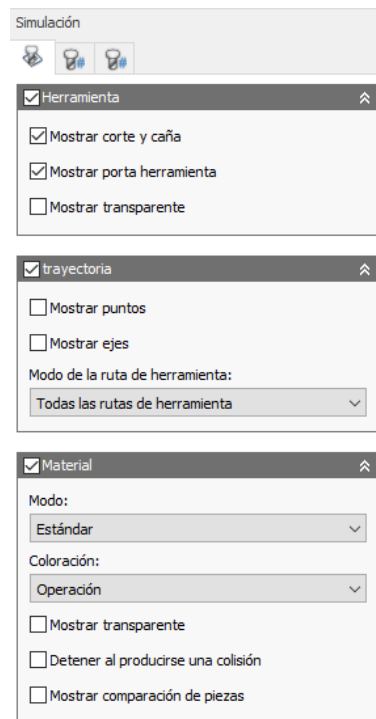


Figura 38: Pestaña "Mostrar" en la ventana simulación.

En la pestaña “Información” tenemos disponibles los datos sobre la posición actual de la herramienta, mediante coordenadas X, Y, Z, y la máquina. También una descripción sobre la operación en curso en la que aparecen informaciones como son la herramienta utilizada y el tiempo de mecanizado total de cada ruta de herramienta. La ventana “Verificación” es de especial importancia, ya que tenemos información muy relevante. En esta ventana podemos ver si en la simulación se produce alguna colisión, el volumen final e inicial de la operación, y el valor “distancia”, en el que se muestra la distancia mínima entre el material y la superficie del modelo después de la operación, lo que nos permite conocer si hay material sobrante después de haber realizado la operación o si se eliminó todo el material por completo.

Posición	
Posición X:	-0,784838 mm
Posición Y:	-9,1054 mm
Posición Z:	15 mm
Velocidad de Husillo:	17984,5 rpm Sentido horario
Velocidad de avance:	Rápido
Movimiento:	Rápido

Operación	
Descripción:	Adaptativo 1
Tipo:	Desbaste adaptativo
Herramienta:	#1 - Ø8R0,1mm redonde...
Offset de trabajo:	#0
Configuración:	Configuración3
Tiempo:	0:00:41 (100,0%) Nueva...

Máquina	
Descripción:	3 ejes
Inclinación:	0,000°
Giro:	0,000°

Verificación	
Colisiones detectadas:	Ninguno
Volumen:	97,2075 cm ³ (50,6%)
Volumen inicial:	192 cm ³
Distancia:	No disponible

Cerrar

Figura 39: Pestaña "Información" en la ventana simulación.

Por último, tenemos la pestaña “Estadísticas”, en la que podemos encontrar el tiempo total de mecanizado, la distancia total de la ruta de la herramienta durante la simulación, el número de operaciones y los cambios de herramienta empleados en el mecanizado, como podemos observar en la Figura 40.

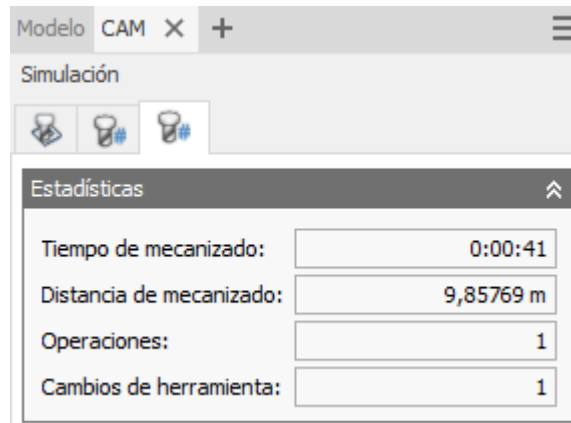


Figura 40: Pestaña "Estadísticas" en la ventana simulación.

El aspecto gráfico durante la simulación es el de la Figura 41.

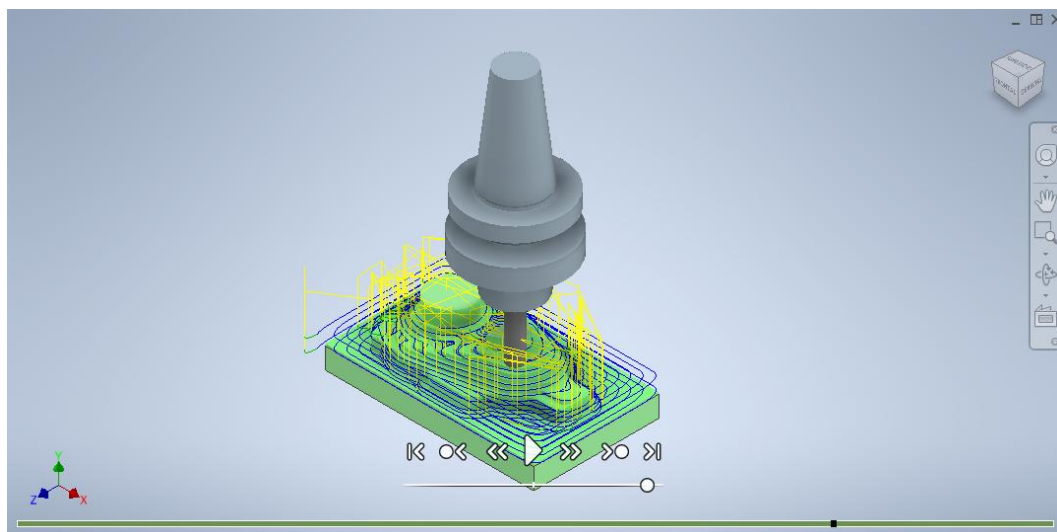


Figura 41: Aspecto gráfico en la ventana de simulación.

En esta ventana se nos muestra la simulación y podemos ver la pieza que vamos a mecanizar, el material o el tocho de partida, las trayectorias del mecanizado y también podemos ver la herramienta y el portaherramientas.

En la parte inferior tenemos todo lo referente a la reproducción de la simulación. Tenemos diferentes botones con los que podemos manejar la

simulación como pueden ser -de dentro afuera- “play” o “pausa” para reproducir o parar la simulación, ir al siguiente movimiento, ir a la siguiente operación o ir al final. Justo debajo de dichos botones tenemos una barra con un círculo blanco con el que vamos a controlar la velocidad de reproducción de la simulación.

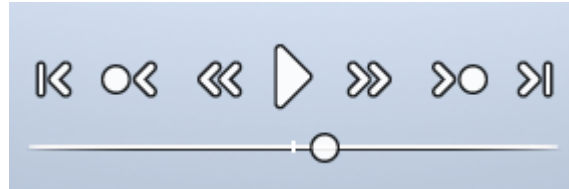


Figura 42: Menú del reproductor de simulación.

Y por debajo del conjunto de botones de la Figura 42, podemos observar la línea de tiempo del reproductor de simulación, en la que se nos muestran las diferentes operaciones que se reproducirán durante la representación. Si seleccionamos el nodo de operaciones del archivo, la simulación se realizará sobre el total del conjunto actuaciones que se van a realizar a la pieza. En la línea de tiempo podemos ver cómo el programa diferencia entre una operación y otra cambiando el color de la misma: en verde aparece la operación en curso y el resto de las operaciones aparecen en tonos grises.



Figura 43: Línea temporal del reproductor de simulación.

Si se deja el cursor del ratón sobre la barra de tiempo durante una operación, aparece un cuadro emergente ampliando la información del tiempo de mecanizado, la herramienta empleada o el tipo de estrategia que se está utilizando en esa operación.

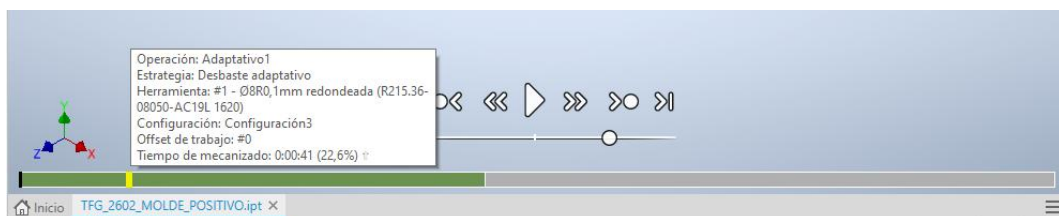


Figura 44: Cuadro emergente de ampliación de la información sobre la línea temporal.

En el caso de que al realizar la simulación se detecte alguna colisión entre distintos elementos del mecanizado, como pueden ser el portaherramientas y la pieza, aparecerán líneas rojas en la línea de tiempo del reproductor de

simulación y nos informará del tipo de colisión y el momento exacto de esta, por lo que podremos visualizar la colisión. En la Figura 45 podemos ver cómo nos indica las colisiones en la línea de tiempo con una raya roja y marcando de color rojo el portaherramientas y la herramienta.

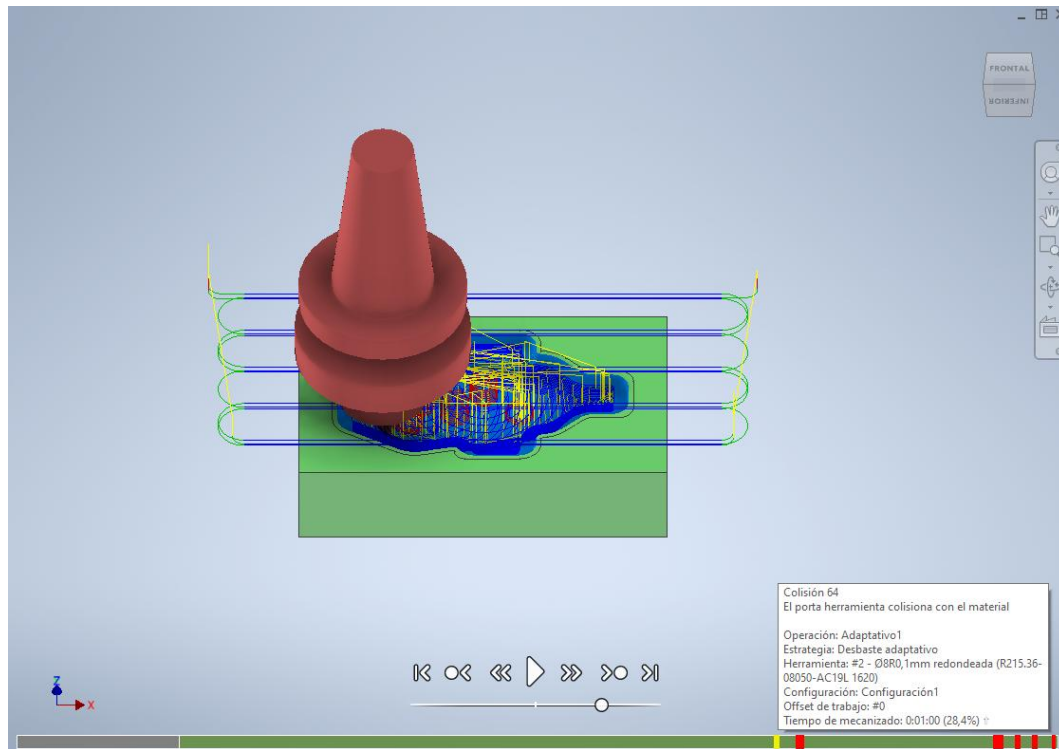


Figura 45: Colisiones mostradas en rojo sobre la línea temporal.

3.4.5. Postprocesado

El paso final del programa de mecanizado consiste en generar el código necesario para programar las operaciones en la máquina CNC. Para ello en la cinta superior, dentro del panel “trayectoria”, tenemos el botón “Post procesar” . Al hacer clic en “post procesar” se nos despliega la pantalla de la Figura 46.

En esta ventana debemos seleccionar la configuración de postprocesado que vamos a utilizar. Lo primero que debemos hacer es seleccionar la carpeta de salida donde guardaremos el código y escribir el número o nombre del programa. Una vez que ya hemos completado estos datos, hacemos clic en “Postprocesador” y después en “guardar”. El código se abrirá en un editor donde podremos modificarlo si fuese necesario antes de enviarlo a la máquina de CNC.

Post procesar

Carpeta de configuración

Configuración

Configuración de postprocesador

Introduzca el texto de búsqueda Todo Todos los proveedores

Acramatic / acramatic Abrir configuración

Carpeta de salida

Abrir carpeta Extensión de NC

Configuración del programa

Nombre o número del programa

Comentario del programa

Unidad

☐ Reordenar para minimizar los cambios de herrami

☒ Abrir archivo NC en el editor

Propiedad	Valor
Separate words with space	Sí
Sequence number increment	5
Start sequence number	10
Use sequence numbers	No
Write machine	Sí
Write tool list	Sí
Safe Retracts	M26
Optional stop	Sí
Preload tool	Sí
Radius arcs	No

[Búsqueda en nuestra biblioteca de postprocesadores de Autodesk HSM](#) Postprocesador Cancelar

Figura 46: Ventana "Ejecutar procesamiento posterior".

4. Mecanizado de un molde de aluminio

6061 T6-T651

Una vez que ya hemos reconocido el entorno de Inventor CAM y cómo funciona de forma general, se va a realizar el mecanizado de un molde de aluminio mediante dicho programa para poner a prueba sus capacidades y comprobar si es capaz de realizar este tipo de trabajos. Para ello vamos a utilizar estrategias de fresado 3D, sin necesitar otros programas más potentes y comunes en la industria.

4.1. Material del tocho de partida

Lo primero que debemos conocer es el material del molde que vamos a mecanizar, esto es importante a la hora de seleccionar las herramientas de corte que vamos a necesitar y establecer los parámetros adecuados en cada operación.

El material del que se compone el tocho de partida es un aluminio 6061-T651, es un material muy utilizado en la industria por su gran versatilidad, propiedades mecánicas y su bajo coste. Este material tiene un tratamiento térmico denominado T651, se trata de un estirado para aliviar las tensiones internas y luego se envejece artificialmente para aumentar su resistencia. Se utiliza habitualmente para realizar diferentes componentes en la industria automovilística y aeronáutica entre otros. Hay que considerar algunas características y factores que aseguren un proceso eficiente y de alta calidad. A continuación, se detallan las principales características y algunas consideraciones importantes para el mecanizado de esta aleación:

- En cuanto a su composición, está formada principalmente por aluminio, magnesio y silicio, lo que le proporciona una buena relación entre resistencia y peso.
- Respecto a sus propiedades mecánicas:
 - Alta resistencia a la tracción y dureza moderada.
 - Buena maquinabilidad y soldabilidad.
 - Excelente resistencia a la corrosión.
 - Buenas propiedades térmicas y conductividad eléctrica.

- Los tratamientos térmicos que se le suelen aplicar son templeado y envejecido artificialmente, con ello se consigue mejorar de forma significativa la resistencia mecánica.

A la hora de realizar mecanizados con aluminio 6061 debemos tener en cuenta que las herramientas de corte deben ser de tungsteno o de nitruro de titanio (TiN) para obtener una mejor durabilidad y precisión, y las herramientas reafilables deben tener un filo adecuado para evitar un desgaste prematuro. Este debe tener ángulos de desprendimiento mayores que los aplicados para el mecanizado de acero. Las velocidades de corte deben ser elevadas, entre 300-900 m/min, y usar unos avances moderados, entre 0,1-0,5 mm/rev. Son ideales debido a la baja dureza del material. Para evitar que se forme embotamiento, es decir, que se acumule el material en la superficie de corte, se deben usar refrigerantes a base de agua para evitar sobrecalentamientos y mejorar la vida útil de las herramientas, también ayuda a reducir la fricción y mejorar el acabado superficial. Ya que el aluminio 6061 tiende a formar rebabas, se debe realizar un desbarbado posterior al mecanizado.

Composición química del aluminio 6061-T651

- Aluminio 95.9-98,6%
- Magnesio 0,8-1,2%
- Silicio 0,4-0,8%
- Hierro 0-0,7%
- Cobre 0,15-0,35%
- Cromo 0,04-0,35
- Zinc 0-0,25%
- Manganeso 0-0,15%
- Titanio 0-0,15%
- Residuales 0-0,15%

Propiedades mecánicas

PROPIEDAD	VALOR
Dureza Brinell	93 HB
Módulo de Young	69 GPa
Elongación a la rotura	11 %
Límite de fatiga	95 MPa
Coeficiente de Poisson	0,33
Módulo de cizalladura	26 GPa
Esfuerzo cortante	210 MPa
Resistencia a la tracción última	320 MPa

Propiedades térmicas

PROPIEDAD	VALOR
Calor específico	900 J/Kg °K
Conductividad térmica	170 W/m °K
Expansión térmica	24 $\mu\text{m/m } ^\circ\text{K}$
Punto de fusión	650° C
Calor latente de fusión	400 J/g

Otras propiedades

PROPIEDAD	VALOR
Densidad	2,7 g/cm ³
Difusividad térmica	68 mm ² /s

Principales aplicaciones del Aluminio 6061 T651

- En la industria automotriz para piezas de automóviles, como estructuras de chasis, carrocerías, paneles, soportes de motor y componentes interiores.
- En la industria civil se emplea en la construcción de estructuras arquitectónicas, como fachadas, ventanas, puertas, barandillas y escaleras.
- En la industria naval, por su buena resistencia en entornos marinos, se utiliza para la construcción de embarcaciones, barcos de recreo, yates y otros componentes marinos, como mástiles.

Los tochos de partida van a tener unas dimensiones de:

- Molde positivo: 100 x 60 x 32 mm offset superior 4 mm
- Molde negativo: 100 x 60 x 28 mm offset superior 3 mm

Ambos tochos tienen material adicional en la parte superior, 4 mm en el caso del molde positivo y 3 mm en el negativo, en comparación con el molde final para poder lograr un mejor acabado. En la parte inferior como en los laterales no tiene material adicional.

4.2. Molde a mecanizar

Los modelos en 3D de los moldes a mecanizar en Inventor CAM han sido proporcionados en formato .step. Los archivos .step guardan la geometría 3D de las piezas y son compatibles con muchos programas, entre ellos Inventor. El molde está compuesto por dos partes que deben encajar con exactitud entre ambos.

En las siguientes figuras, Figura 47 y Figura 48, se muestran los dos modelos en 3D proporcionados, que es como deben quedar los moldes tras su mecanizado.

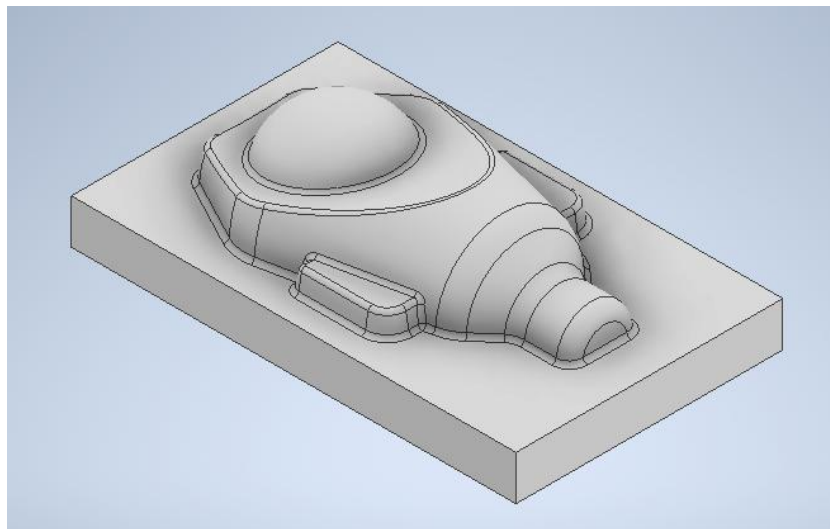


Figura 47: Molde positivo.

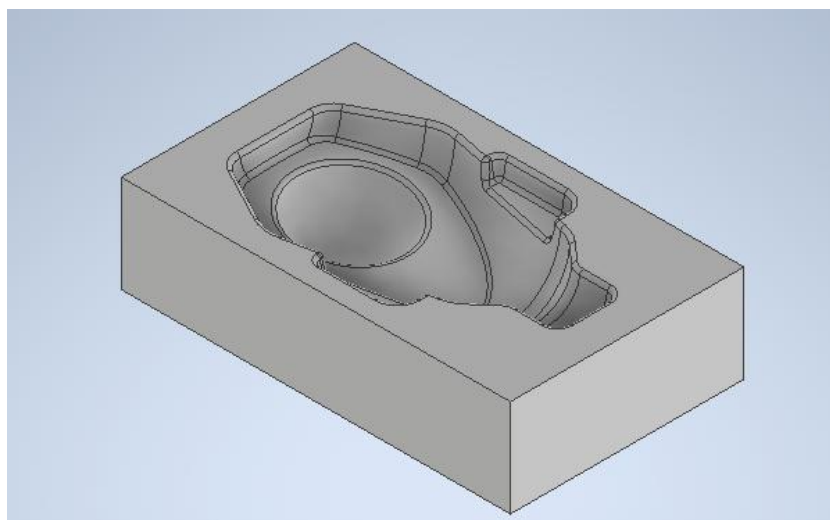


Figura 48: Molde negativo.

4.3. Proceso paso a paso del mecanizado con Inventor CAM

En este apartado se van a mecanizar con Inventor CAM los moldes mostrados en la Figura 47 y Figura 48 para mostrar cómo es el proceso con este programa y poner a prueba la capacidad del mismo para realizar este tipo de trabajos.

Se va a mostrar de forma detallada el mecanizado del molde negativo y, de forma más breve, el mecanizado del molde positivo, ya que comparten algunas de las operaciones, herramientas y parámetros de mecanizado.


Lo primero que debemos hacer es crear la configuración del mecanizado y seleccionar los útiles de corte que mejor se adapten a cada operación, introduciendo en el software todos los datos geométricos y parámetros de corte recomendados por el fabricante. Después de haber seleccionado los elementos de corte se va a crear una librería, en la que se almacenarán las herramientas que vamos a utilizar durante el mecanizado. Esto nos va a ayudar a encontrar nuestros útiles para las estrategias de mecanizado. Todas las herramientas han sido seleccionadas con la ayuda de Sandvik Toolguide, excepto la fresa de planeado que se ha seleccionado del catálogo online de ISCAR. En el apartado Anexos, al final del trabajo, se muestran todas las herramientas seleccionadas con sus características más importantes.

Después de haber configurado el mecanizado y creado la biblioteca de herramientas se procederá a generar las diferentes trayectorias de corte, para después poder realizar la simulación y verificación de las mismas, evitando de este modo posibles errores en el mecanizado. Por último, se generará el código CNC para enviarlo a la máquina fresadora y realizar los mecanizados deseados.

4.3.1. Abrir archivo .step

Lo primero que debemos hacer es introducir la geometría del modelo 3D del molde, para ello debemos abrir el archivo .step en Inventor CAM. .step es un formato común entre diferentes softwares, se usa principalmente para poder intercambiar datos entre programas.

4.3.2. Configuración del mecanizado

Es el primer paso y el más importante a la hora de realizar un proyecto de programación de CNC. Para ello, debemos hacer clic en el icono , dentro

del panel “Trayectoria” en la pestaña CAM, y se abre el siguiente cuadro de diálogo:

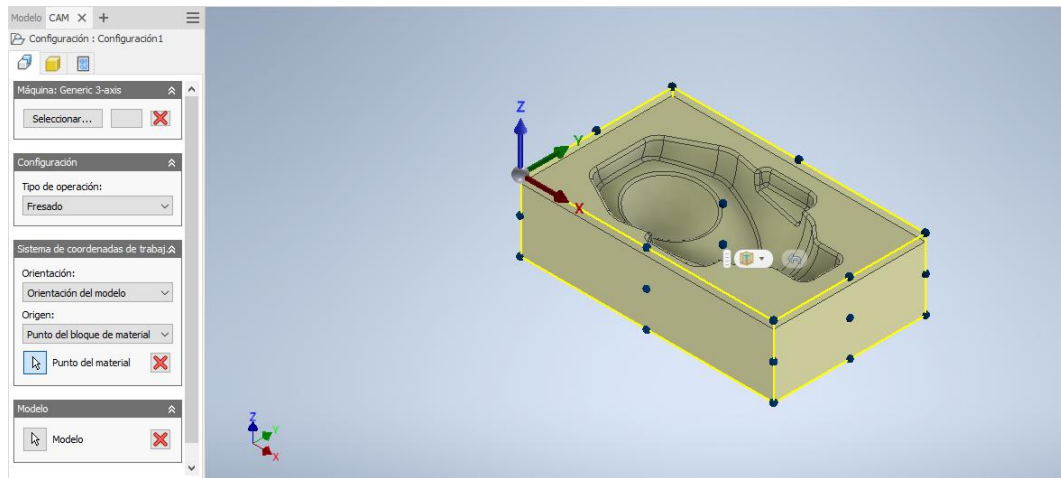


Figura 49: Cuadro de diálogo “Configuración”.

El cuadro que nos aparece a la izquierda tiene tres pestañas, en las que se van a configurar las siguientes opciones y parámetros:

- El tipo de operación que queremos realizar, en nuestro caso un fresado.
- La máquina con la que vamos a realizar el fresado, una máquina Universal de 3 ejes.
- El STC (sistema de coordenadas de trabajo), debemos seleccionar el punto en el que queremos ubicar el cero, y también orientar los ejes a nuestro gusto. En nuestro caso hemos seleccionado el origen en la parte superior del tocho en el extremo izquierdo, el eje Z en vertical ascendente y el eje X hacia la derecha, como podemos ver en la Figura 49.
- En “Modelo” se debe seleccionar la pieza final, el molde en nuestro caso. En caso de haber varios modelos que se deban tener en cuenta para el mecanizado, habría que seleccionarlos todos.
- En “Accesorios” se pueden seleccionar los diferentes elementos de fijación de nuestra pieza, como pueden ser tornillos, abrazaderas o portabrocas. En este caso no se van a seleccionar, ya que no es relevante durante el mecanizado y no va a ocasionar problemas de colisión entre la herramienta de corte y estos elementos de fijación.
- En la pestaña “Material” se establecen las dimensiones de nuestro tocho de partida. En nuestro caso le vamos a añadir 3 mm de material

en la parte superior del modelo para poder rectificar la cara superior y darle la dimensión real a nuestro tocho de partida.

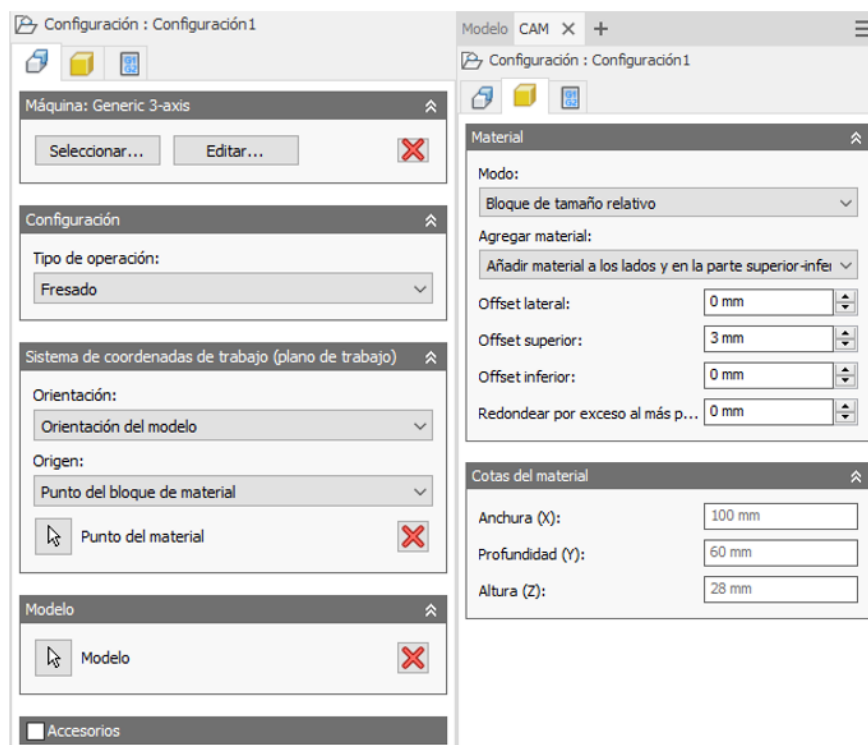



Figura 50: Pestañas de "Configuración" y "Material" en el cuadro de dialogo configuración.

4.3.3. Selección de herramientas de corte y creación de la biblioteca de herramientas personalizada

El siguiente paso del proceso es seleccionar las herramientas de corte más adecuadas para cada operación. Para encontrar los útiles se ha utilizado el catálogo online de ISCAR y el buscador de Sandvik Toolguide. Al final del trabajo en el Anexo I se encuentran todo el utillaje empleado con sus características geométricas.

Teniendo las herramientas que se van a utilizar ya seleccionadas, se procede a crear una biblioteca de herramientas en Inventor CAM, esto es una gran ayuda a la hora de trabajar, ya que cuando estemos creando las estrategias de mecanizado, ya tendremos creadas las herramientas y el trabajo será más ágil.

Para crear una biblioteca de herramientas se hace clic en el icono , tras lo cual se abrirá la de herramientas de Inventor CAM. En la ventana de la

izquierda podemos ver diferentes opciones, entre las cuales aparece “Mis bibliotecas”, donde se puede crear una biblioteca personalizada para el mecanizado y añadir las herramientas de corte con los datos proporcionados por el fabricante.

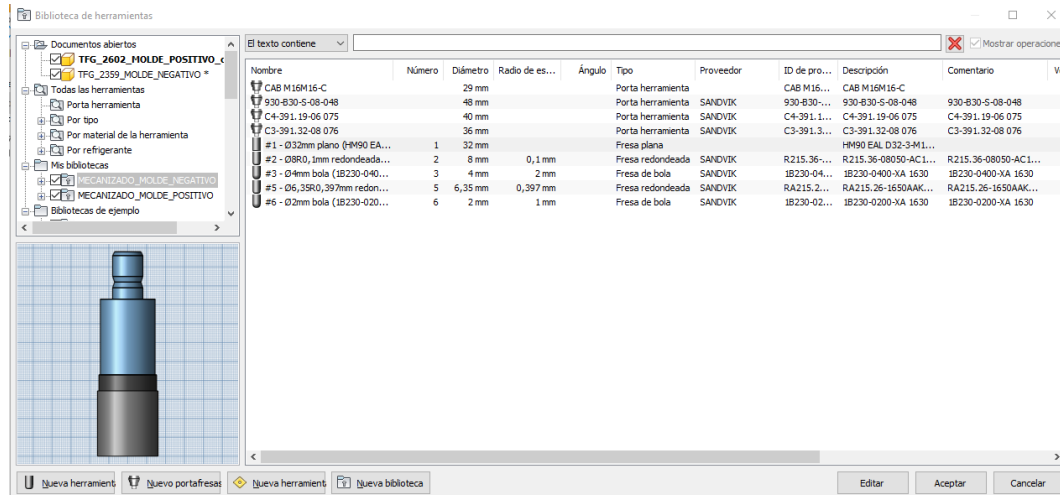


Figura 51: Biblioteca de herramientas.

Una vez que tenemos creada la biblioteca, creamos las herramientas seleccionadas, tal y como se mostró en el capítulo 4.4.2. “Creación de una biblioteca de herramientas”.

A continuación, se va a mostrar un ejemplo de cómo crear una herramienta de corte. Para las demás el procedimiento será similar, por lo que se omite.

En la operación de planeado se ha usado la herramienta recomendada por ISCAR en su catálogo online. La fresa consta de una cabeza portaplaquitas de fresado a 90° denominada “HM90 EAL D32-3-M16-15-JHP” que monta plaquitas “HM90 AXCR 1505” especiales para el mecanizado de aluminio.

Haciendo clic en “Nueva herramienta” dentro de la biblioteca de herramientas, se despliega la siguiente ventana de la Figura 52.

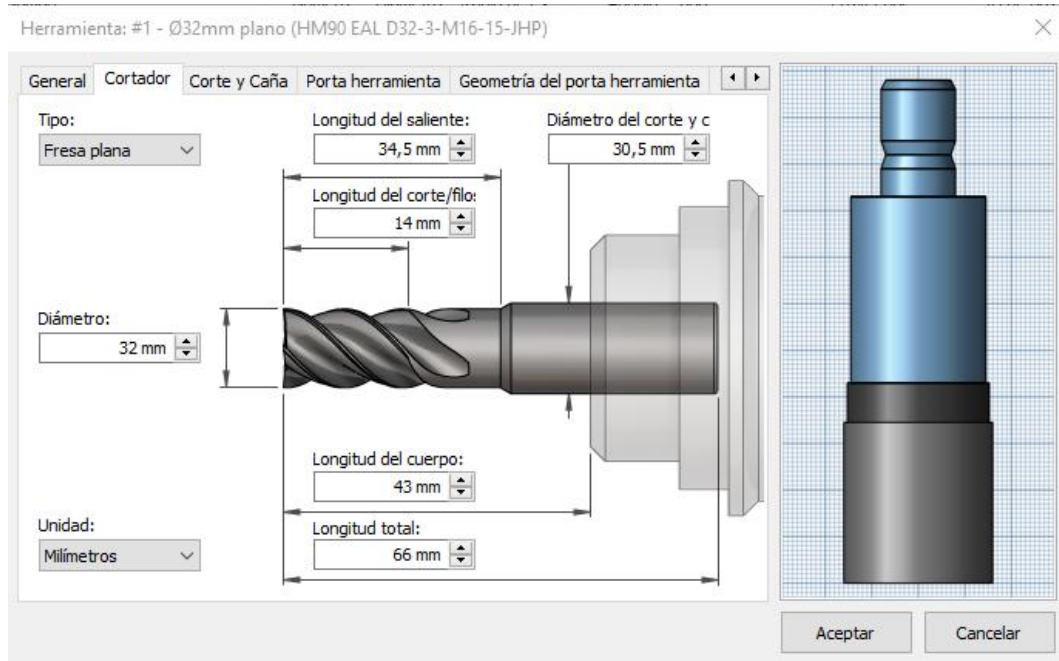


Figura 52: Creación de herramienta, fresa plana. Pestaña "Cortador".

En esta ventana debemos configurar la herramienta seleccionada, para ello disponemos de varias pestañas en las que introducir parámetros y datos proporcionados por ISCAR. Se introducen los datos geométricos en la pestaña "Cortador":

- $D_c = 32 \text{ mm}$
- $R_e = 0.8 \text{ mm}$
- Ángulo de inclinación: 0°
- Longitud total = 66 mm
- Longitud del cuerpo = 43 mm
- Longitud del corte/filo = 14 mm
- Longitud el saliente = $34,5 \text{ mm}$
- Diámetro del corte = $30,5 \text{ mm}$

También se deben introducir los parámetros de funcionamiento en la pestaña "avance y velocidad":

- $V_c = 400 \text{ m/min}$
- F (avance por diente) = $0,1 \text{ mm}$

Herramienta: #1 - Ø32mm plano (HM90 EAL D32-3-M16-15-JHP)

Corte y Caña Porta herramienta Geometría del porta herramienta Avance y velocidad

Velocidad		Cortador	
Velocidad de Husillo:	Vel. Superficial:	Número de cortes/filo:	Paso de rosca:
3978,87 rpm	400 m/min	3	0 mm
Revoluciones de husillo:			
3978,87 rpm			

Velocidades de avance		Velocidades de avance vertical	
Vel. avance corte:	Avance por diente:	Velocidad de carga:	Avance por revolución
1193,66 mm/min	0,0999999 mm	333,333 mm/min	0,0837758 mm
Vel. avance entrada:		Velocidad de avance c	
1193,66 mm/min		333,333 mm/min	
Vel. avance salida:		Rotación del eje	
1193,66 mm/min		<input checked="" type="radio"/> Sentido horario	
Velocidad de avance c		<input type="radio"/> Sentido antihorario	
333,333 mm/min			

Aceptar Cancelar

Figura 53: Creación de herramienta, fresa plana. Pestaña "Avance y velocidad".

Para generar las demás herramientas que se van a emplear en el proceso de mecanizado se debe seguir el mismo procedimiento, por lo que no se va a mostrar en este trabajo. Los datos de todas las herramientas que se usan en el proceso están en el apartado Anexos I.

Una vez creada la biblioteca de herramientas y la configuración, el siguiente paso es crear las trayectorias de mecanizado.

4.4. Programación de las estrategias de desbaste

4.4.1. Planeado inicial del molde negativo

Para tener un poco ordenadas las operaciones, se separan en dos carpetas diferentes, de modo que en una están las operaciones de desbaste y en la otra las de acabado.

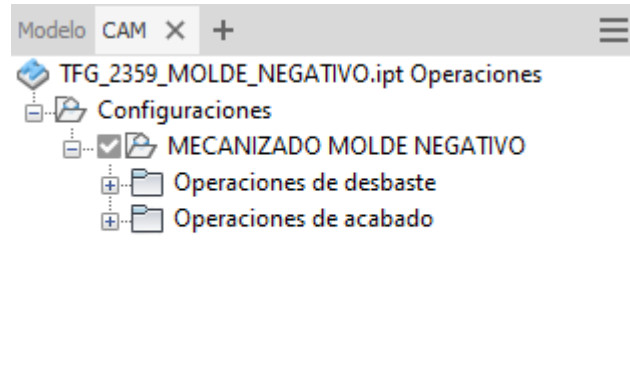



Figura 54: Árbol de operaciones.

De este modo el árbol de operaciones estaría separado en dos carpetas, “operaciones de desbaste” y “operaciones de acabado” como podemos ver en la Figura 54. Antes de comenzar a generar las estrategias de desbaste, debemos seleccionar la carpeta “operaciones de desbaste” como carpeta por defecto.

La primera operación que se va a realizar es un planeado en la cara superior del tocho de partida. El tocho de partida, como ya se comentó anteriormente, tiene 3 mm de material adicional en la parte superior tanto en el molde positivo como en el negativo, por lo que se debe eliminar ese material adicional. En el molde positivo se realiza con un fresado adaptativo y en el molde negativo se realiza un planeado para eliminar cualquier irregularidad y poder dar al molde una planicidad en su cara superior.

Para generar la operación de planeado, se debe hacer clic en el icono  que se encuentra dentro del panel de Fresado 2D, tras esto se abrirá una ventana con diferentes pestañas en las que se van a configurar los parámetros del planeado.

Lo primero que debemos hacer es seleccionar la herramienta con la que se va a realizar la operación, la cual se ha creado previamente y está guardada en la biblioteca de herramientas, por lo que ahora solo debemos seleccionarla.

La primera pestaña se llama “Herramienta”, en ella vamos a seleccionar de la biblioteca personalizada el útil que hemos creado para esta operación. El elemento de corte que se va a utilizar en esta operación es un portaplaquitas de planeado del fabricante ISCAR denominada HM90 EAL D32-3-M16-15-JHP, junto con unas plaquitas denominadas HM90 AXCR 150508R-P. Esta herramienta tiene un diámetro de corte de 32 mm.

La velocidad de corte recomendada por el fabricante es de 400m/min, con un avance por diente de 0,1 mm. En la Figura 55 podemos ver la configuración de esta herramienta.

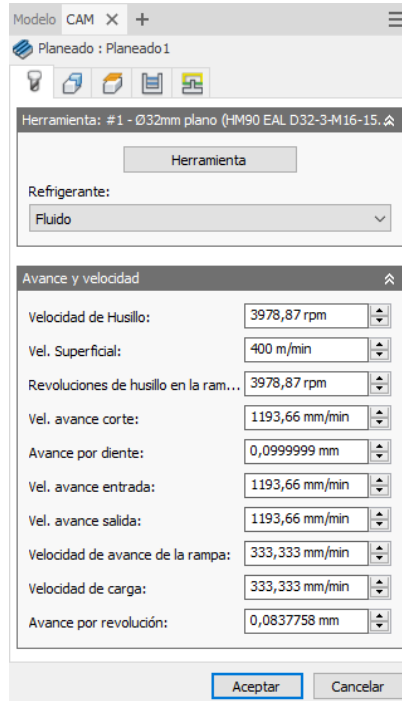


Figura 55: Pestaña "Herramienta" en estrategia de planeado.

La segunda pestaña se llama "Geometría" y en ella debemos seleccionar la geometría sobre la que se va a realizar el planeado. En esta operación se va a dejar la selección por defecto, ya que el programa selecciona de forma automática el contorno superior del tocho de partida.

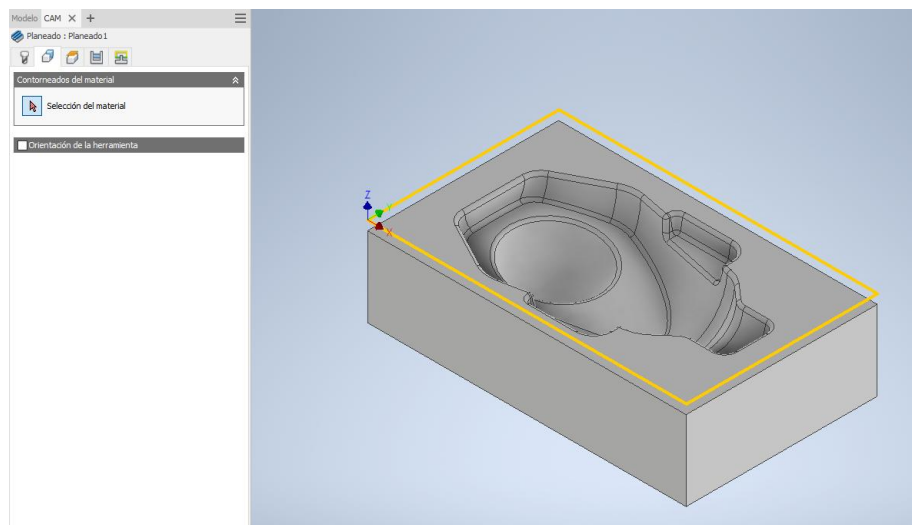


Figura 56: Pestaña "Geometría" en estrategia de planeado.

La tercera pestaña se llama “Alturas”, en ella se definen diferentes alturas que debe tener el programa para generar las trayectorias. La altura de espacio libre o seguridad va a ser de 10 mm respecto a la altura de retracción, la cual va a tener 8 mm respecto de la parte superior del material. La altura de retracción es la altura hasta la cual se tiene que elevar la herramienta antes de la siguiente pasada de corte, y la altura del espacio libre o de seguridad es la primera altura a la que la herramienta se desplaza en su camino hacia el principio de la ruta.

La altura superior es la que describe la parte superior del corte, por lo que es muy importante definirla como la parte superior del tocho. La altura inferior define la profundidad a la que debe acabar el mecanizado final y la menor profundidad a la que desciende la herramienta en el material.

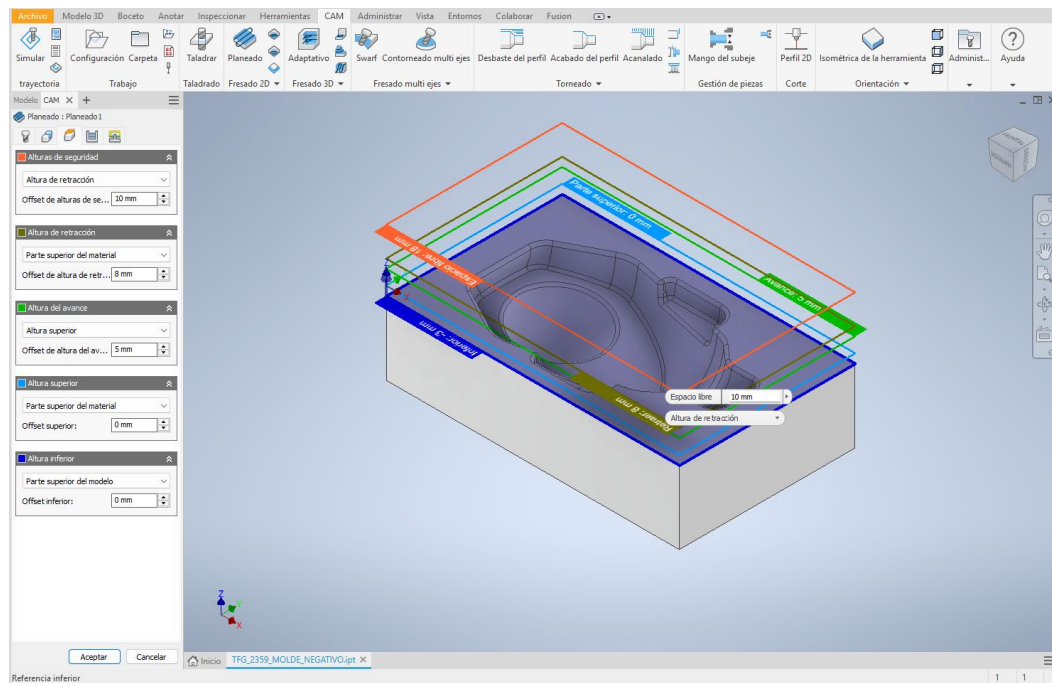


Figura 57: Pestaña "Alturas" en estrategia de planeado.

La siguiente pestaña se llama “Pasadas”, en ella se van a definir todos los parámetros que se pueden ajustar referentes a las pasadas. Se ajusta una “extensión de pasada” de 10 mm y un “offset de pasada” de 5 mm para asegurar que se elimina todo el material en los bordes de la pieza. También se define la sobrepasada al 90% del diámetro de corte de la herramienta.

Dentro del apartado “varias profundidades” se define la reducción máxima en 1.5 mm y una última pasada de acabado con una reducción de 0,5 mm. Con

esta configuración conseguimos que el planeado se realice en 2 pasadas de desbaste y una última pasada de acabado.

El apartado denominado “sobrematerial” debe estar desactivado, ya que en esta operación vamos a realizar la pasada de acabado.

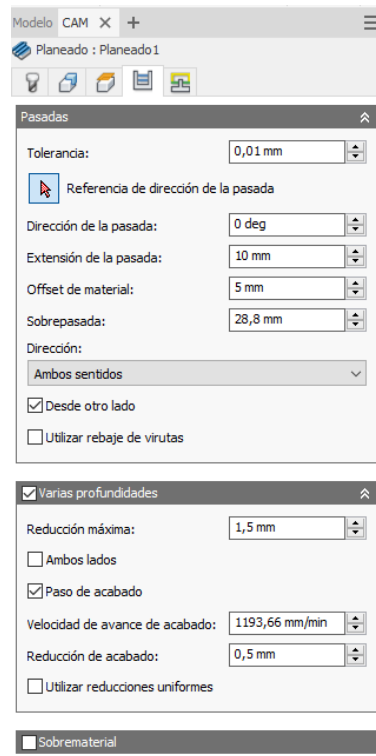


Figura 58: Pestaña “Pasadas” en estrategia de planeado.

La quinta y última pestaña se llama “Vinculación”, en ella hay que dejar los valores que vienen definidos por defecto y permitir la retracción rápida de la herramienta. Por último, hay que hacer clic en aceptar para confirmar todas las configuraciones que se le han realizado a la operación.

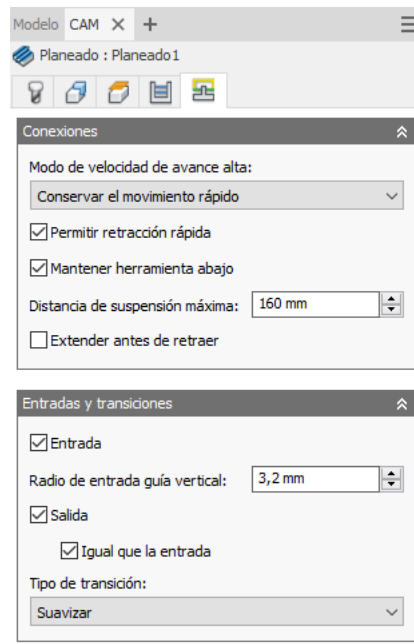


Figura 59: Pestaña "Vinculación" en estrategia de planeado.

Tras haber confirmado la operación, el software generará las trayectorias que debe realizar la herramienta. Dichas trayectorias las podemos ver de forma gráfica si hacemos clic sobre la estrategia de planeado en el árbol de operaciones; se mostrará de la siguiente manera:

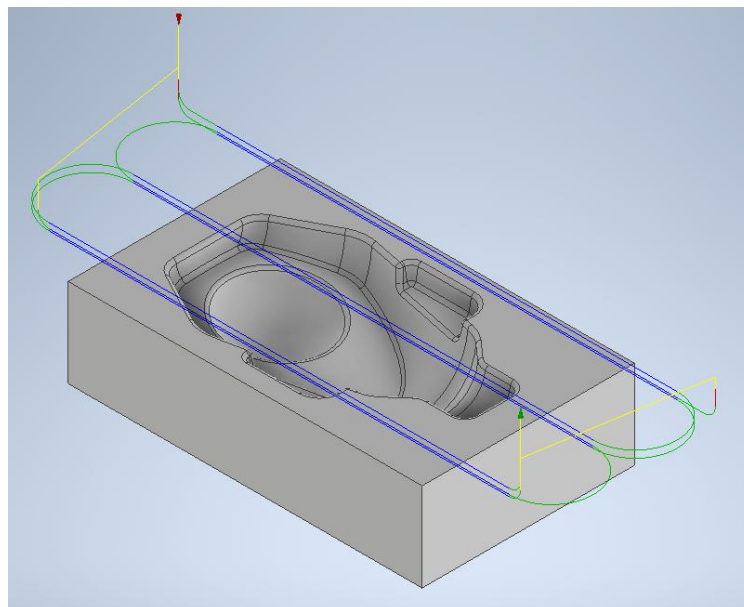


Figura 60: Trayectorias de la herramienta en estrategia de planeado.

Para comprobar que no se producen colisiones, errores y se elimina todo el material que deseábamos, se puede realizar una simulación de la operación.

En la Figura 61 se puede observar cómo la herramienta está eliminando el material de la cara superior del tocho de partida, tal y como deseábamos.

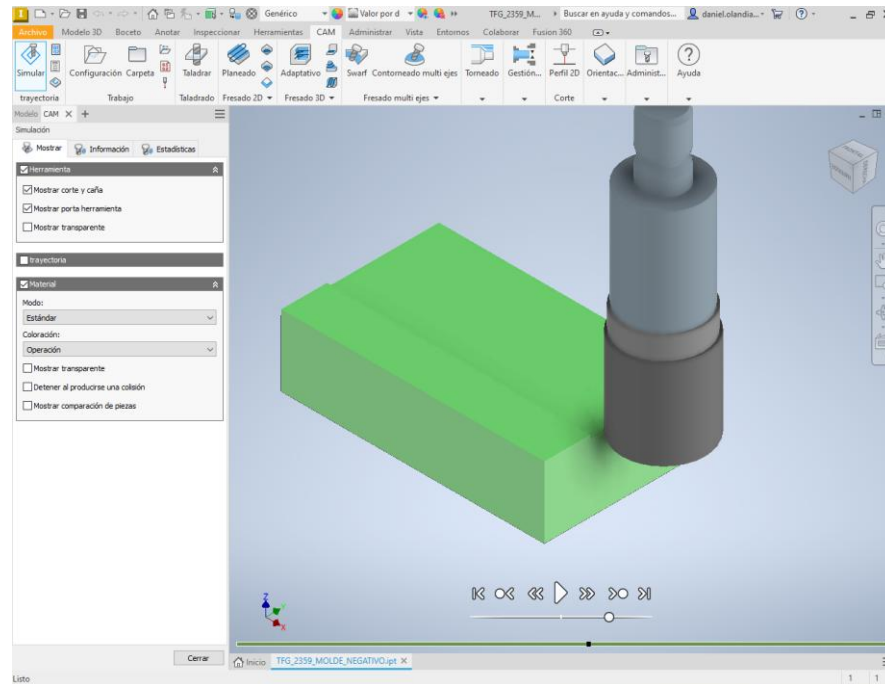


Figura 61: Captura de la simulación de la estrategia de planeado.

Dentro de la simulación tenemos varias pestañas. En la pestaña “Mostrar” se pueden cambiar diferentes opciones de visualización de la simulación, como pueden ser ver el corte y la caña, visualizar las trayectorias que describe la herramienta o cómo queremos ver el material.

En la pestaña “Información”, el programa nos da información de la posición exacta de la herramienta, en qué operación nos encontramos y tiene una ventana llamada “verificación” en la que nos indica si hay alguna colisión o el volumen inicial y final del tocho.

Posición	
Posición X:	111,955 mm
Posición Y:	33,3733 mm
Posición Z:	-2,5 mm
Velocidad de Husillo:	3978,87 rpm Sentido horario
Velocidad de avance:	1193,66 mm/min
Movimiento:	Corte

Operación	
Descripción:	Planeado 1
Tipo:	Planeado
Herramienta:	#1 - Ø32R0,8mm Planeado (H...
Offset de trabajo:	#0
Configuración:	MECANIZADO MOLDE NEGATIVO
Tiempo:	0:01:30 (100,0%) Nueva herr...

Máquina	
---------	--

Verificación	
Colisiones detectadas:	Ninguno
Volumen:	150 cm ³ (89,3%)
Volumen inicial:	168 cm ³
Distancia:	No disponible

Figura 62: Pestaña "Información" dentro de la simulación.

Por último, tenemos la pestaña “Estadísticas”, en la que el programa nos proporciona informaciones, como el tiempo que se tarda en realizar la operación o la distancia recorrida por la herramienta durante la operación.

Estadísticas	
Tiempo de mecanizado:	0:01:29
Distancia de mecanizado:	1,60014 m
Operaciones:	1
Cambios de herramienta:	1

Figura 63: Pestaña "Estadísticas" dentro de la simulación.

4.4.2. Desbaste adaptativo

El desbaste adaptativo es una operación disponible para eliminar grandes cantidades de material de manera eficaz, utilizando altas velocidades de avance y grandes profundidades de corte. Por eso se va a utilizar esta estrategia: para eliminar la mayor parte de material sobrante del molde, de forma rápida y con poco desgaste de las herramientas.

Se va a realizar un desbaste adaptativo con la herramienta R215.36-08050-AC19L 1620 de la biblioteca personalizada. Esta herramienta es una fresa enteriza de 8 mm de diámetro de corte.

La velocidad de corte recomendada por el fabricante para esta operación es de 452 m/min y un avance por diente de 0,179 mm.

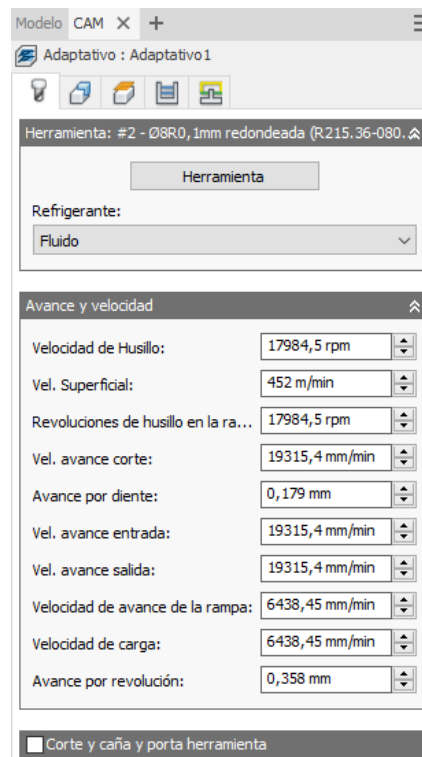


Figura 64: Pestaña “Herramienta” en estrategia de desbaste adaptativo.

En la primera pestaña seleccionamos la herramienta y comprobamos que los parámetros de corte son correctos.

En la siguiente pestaña de “Geometría” seleccionamos el contorno del material en el cual se va a realizar el desbaste. Con la opción de desbaste adaptativo, Inventor CAM detecta de forma automática las zonas en las que tiene que eliminar el material dentro del contorno seleccionado.

Al ser esta una operación tras la que ya hemos realizado el planeado, se debe activar la ventana de “redesbaste” y, en origen del material, seleccionar “desde operaciones anteriores”. De esta forma el mecanizado tendrá en cuenta la operación anterior, por lo que las trayectorias se calculan en función del material restante y supondrá un ahorro de tiempo de mecanizado.

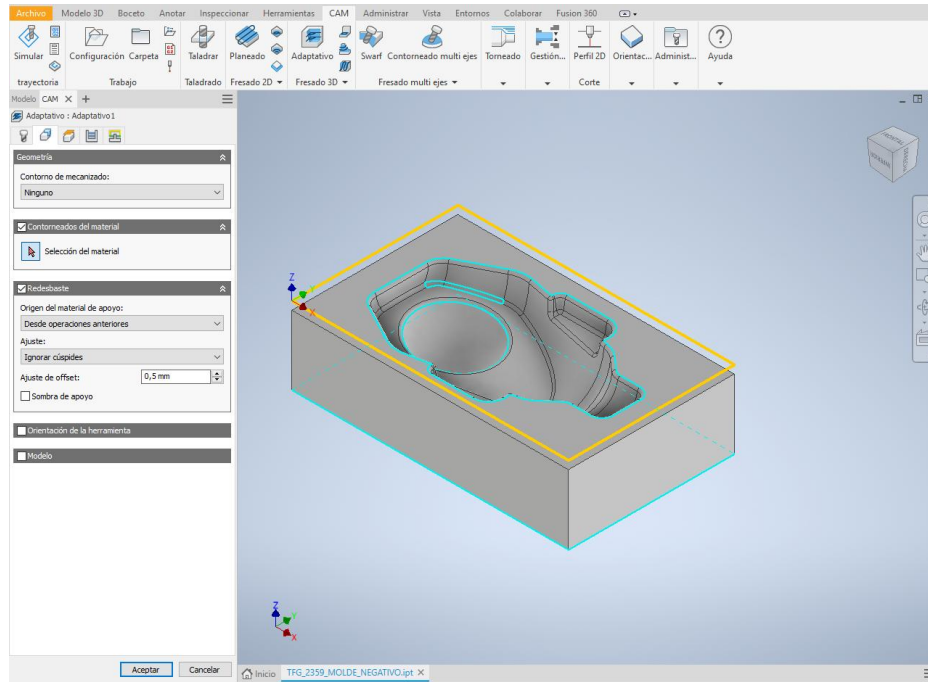


Figura 65: Pestaña "Geometría" en estrategia de desbaste adaptativo.

En la siguiente pestaña, “Alturas”, hay que definir las mismas distancias que en la operación anterior y asegurar que la altura superior sea la del material de partida y la inferior la del molde final, ya que las trayectorias se van a generar entre estas dos alturas y queremos que actúe en toda la cavidad del molde.

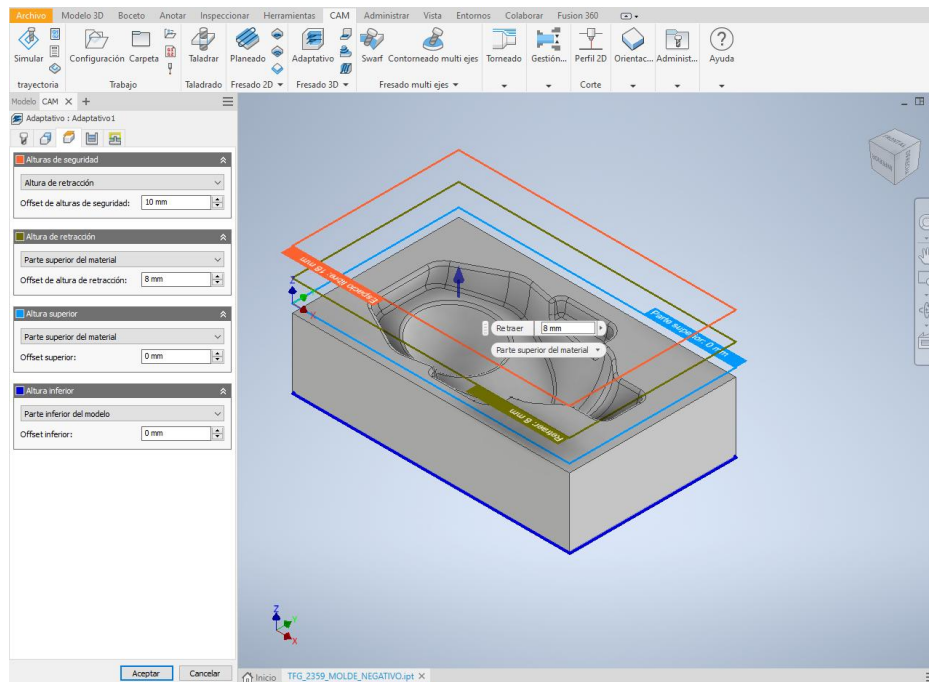


Figura 66: Pestaña "Alturas" en estrategia de desbaste adaptativo.

En la pestaña de "Pasadas" se va a configurar la carga óptima como 1,6 mm, es decir un 20% del diámetro de corte. Hay que activar la casilla "mecanizar cavidades" para que también se mecanicen las cajeras. La "reducción de desbaste máxima" va a ser de 10 mm y es la reducción máxima entre los niveles Z para el desbaste. La "reducción fina" va a ser de 1 mm lo que quiere decir que esa va a ser la reducción en los pasos intermedios. Se activa la opción "detección de área plana" para realizar una mejor trayectoria en las diferentes zonas planas que hay en el molde. También se activa la opción de "ordenar por área".

Al ser una operación de desbaste hay que activar la casilla "sobrematerial" y se configurará el material sobrante en 0,5 mm -tanto axial como radial- para realizar las pasadas de acabado en posteriores operaciones. También se activará la casilla de "suavizado" con una tolerancia de 0,1 mm para obtener un código más ligero.

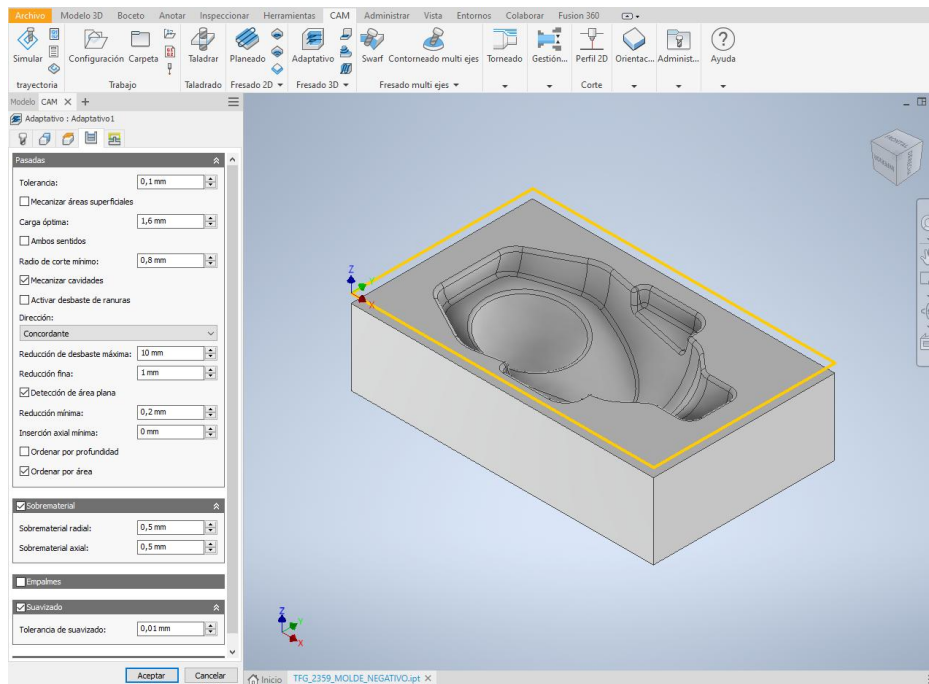


Figura 67: Pestaña "Pasadas" en estrategia de desbaste adaptativo.

Por último y para terminar la configuración de esta operación, en la pestaña "Vinculación" se selecciona la opción de retracción mínima para optimizar el tiempo de mecanizado, debido a que no hay riesgo de colisiones al retraer la herramienta. Se selecciona en tipo de rampa "hélice" para que la herramienta descienda de este modo.

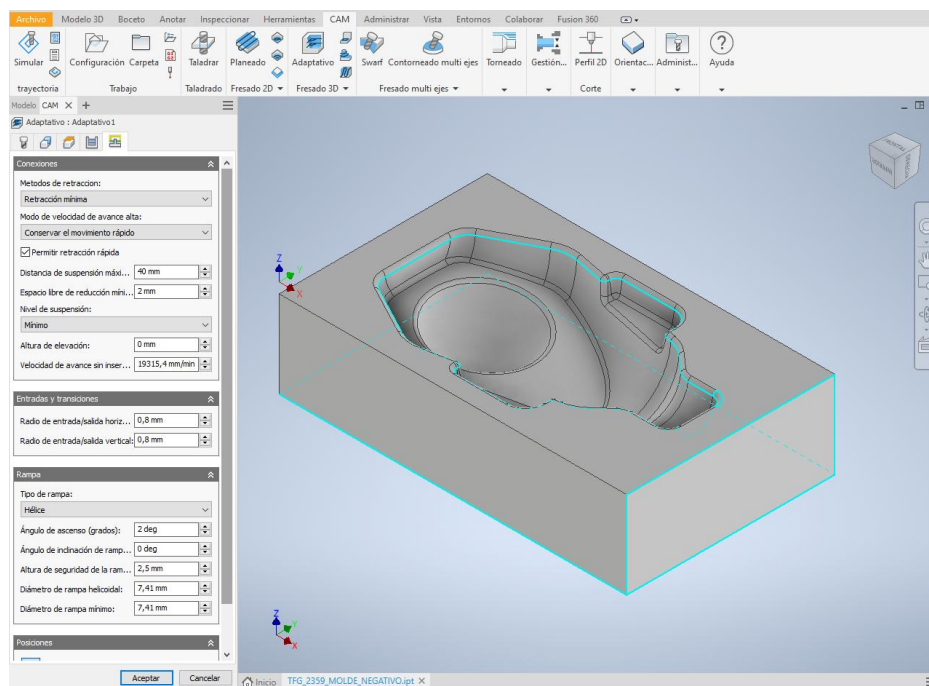


Figura 68: Pestaña "Vinculación" en estrategia de desbaste adaptativo.

Haciendo clic en aceptar, confirmamos la configuración de la operación y se genera la trayectoria, como podemos ver en la Figura 69.

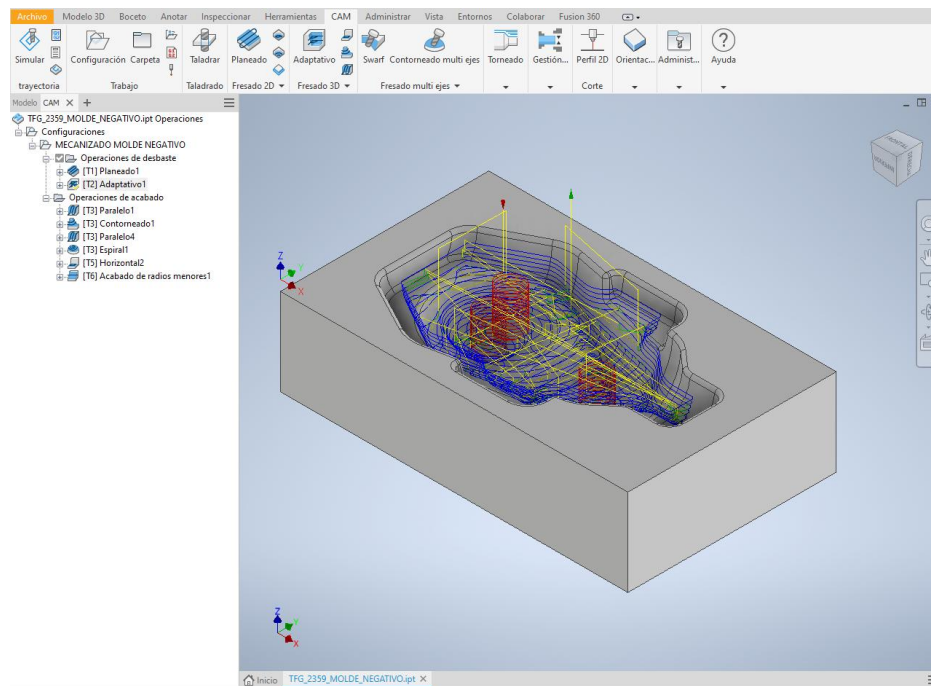


Figura 69: Trayectorias seguidas por la herramienta en desbaste adaptativo.

Para finalizar con la operación, se simula para asegurar que no hay errores. En la Figura 70 se muestra cómo queda el tocho de partida tras las dos primeras operaciones realizadas: el planeado y el desbaste adaptativo.

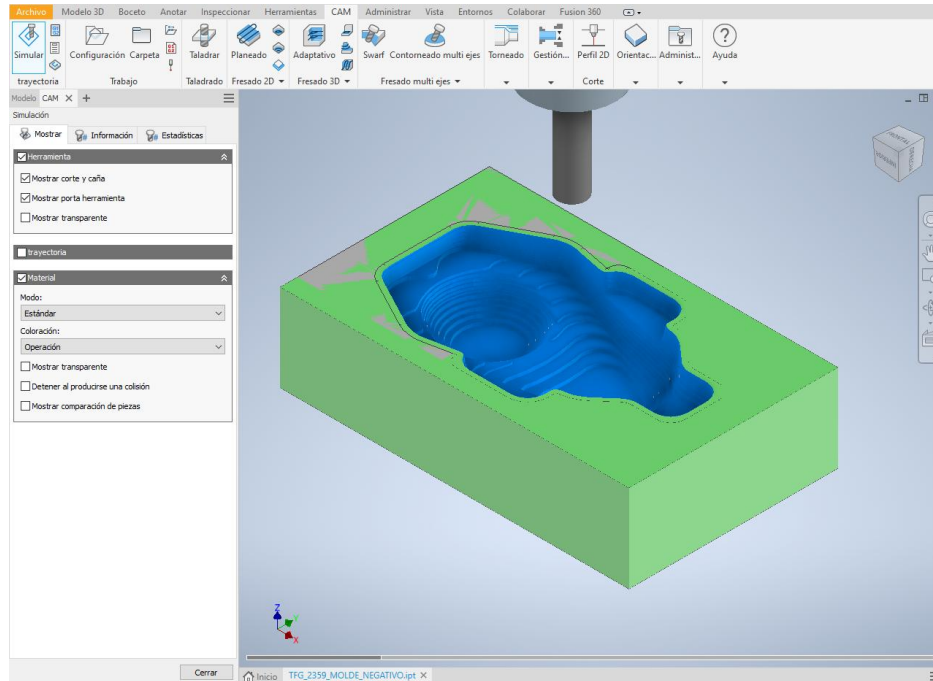


Figura 70: Simulación final tras operaciones de planeado y desbaste adaptativo.

Se puede observar tras la simulación que en la pieza quedan escalones debido a que estas operaciones son simplemente de desbaste para eliminar el mayor volumen de material empleando el menor tiempo posible.

Dentro de la simulación, en la pestaña “estadísticas” podemos obtener el tiempo de mecanizado, que es de 40 minutos en esta operación de desbaste adaptativo.

4.5. Programación de las estrategias de acabado

Tras haber eliminado la mayor parte de material del molde mediante las estrategias de desbaste de planeado y mecanizado adaptativo, se procede a realizar las estrategias de acabado del molde. Para ello se van a utilizar diferentes estrategias debido a la gran variedad de superficies de nuestro modelo, que van a ser: Contorneado, Paralelo, Espiral, Horizontal y Acabado de radios menores.

4.5.1. Contorneado

La estrategia de acabado de contorno crea las rutas de la herramienta con una altura Z constante a lo largo del contorno de la pieza. Este tipo de acabado es muy eficaz a la hora de mecanizar áreas con mucha pendiente. Como en los

demás tipos de acabado, se puede limitar el mecanizado en función del ángulo de la herramienta con la superficie de contacto.

Para esta operación se va a utilizar una fresa enteriza de punta esférica para perfilado de 4 mm de diámetro del fabricante SANDVIK, denominada 1B230-0400-XA 1630. Es común usar este tipo de herramientas en operaciones de acabado ya que proporcionan un buen acabado superficial. Para seleccionar esta herramienta se debe tener en cuenta la longitud de la fresa, ya que si es demasiado corta no se va a poder trabajar bien con ella en las superficies inclinadas.

El fabricante recomienda usar la herramienta 1B230-0400-XA 1630 con una velocidad de corte de 269 m/min y un avance por diente de 0,101 mm.

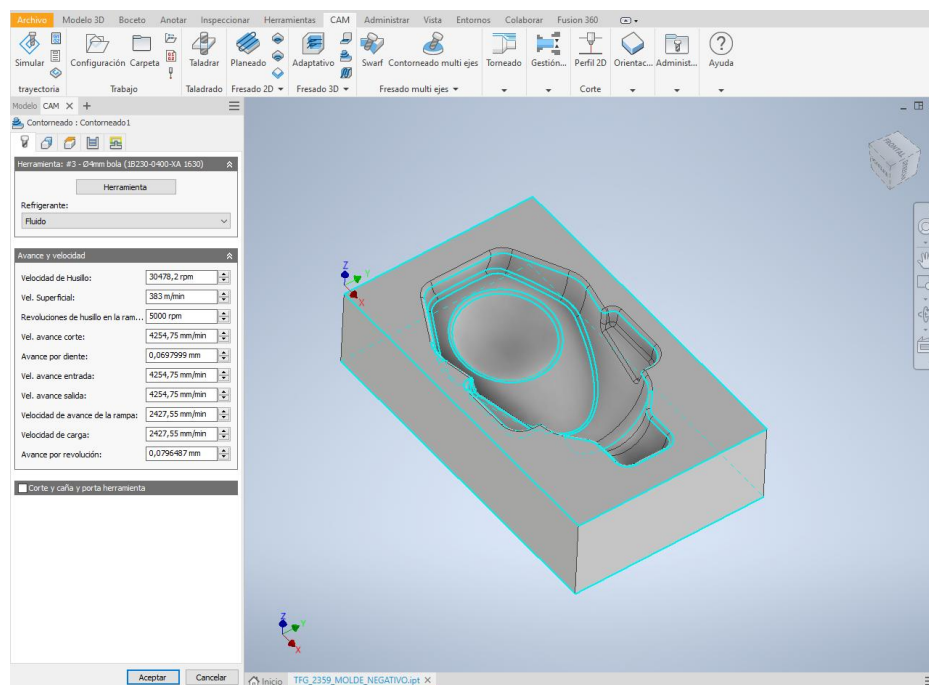


Figura 71: Pestaña "Herramienta" en estrategia de contorno.

En la pestaña "Geometría", seleccionamos la geometría necesaria para configurar de forma correcta el mecanizado. En "contorno de mecanizado" se hace clic en la opción "selección" y se procede a definir el contorno dentro del cual se van a generar las rutas de mecanizado. En "contención de la herramienta" se va a poner la opción "centro de la herramienta en el contorno" para asegurar que se mecaniza toda la superficie del interior del contorno. Dejaremos todas las demás opciones desactivadas, excepto "evitar/tocar superficies", que debe estar activada para no mecanizar la zona esférica del fondo, ya que la mecanizaremos con otro tipo de operación.

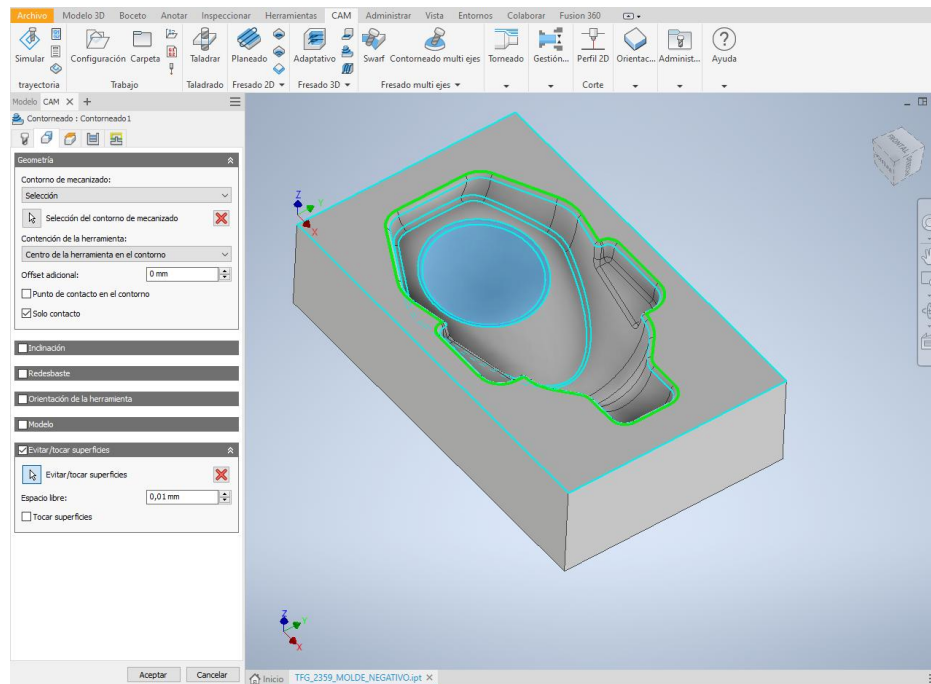


Figura 72: Pestaña "Geometría" en estrategia de contorneado.

En la pestaña "Alturas" se deben volver a definir las distancias del mecanizado. Asegurarse de que la altura superior está en la parte superior del modelo y la inferior en la parte inferior para mecanizar toda la cavidad deseada.

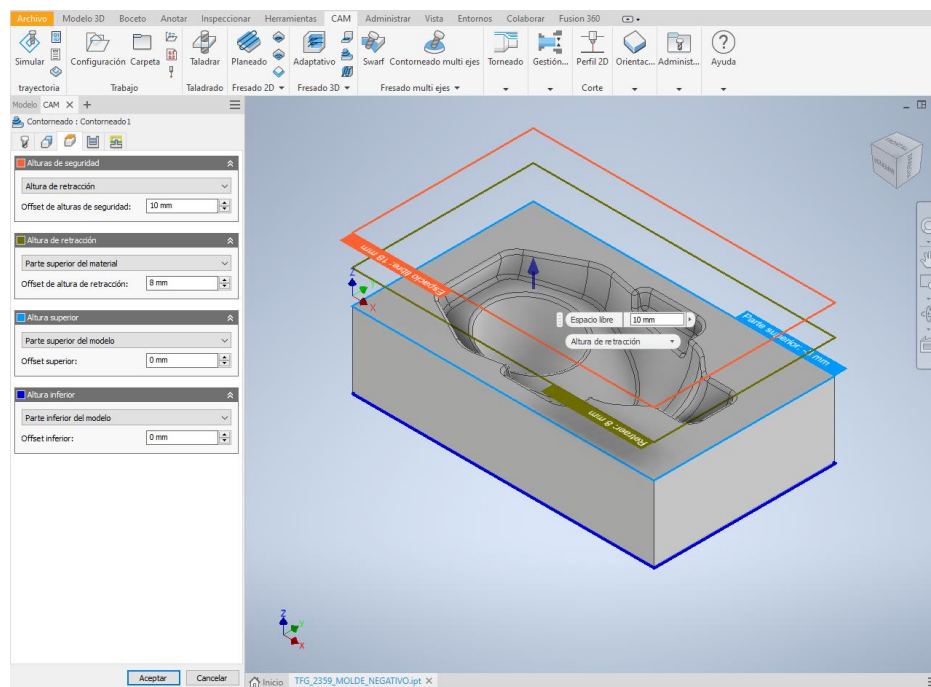


Figura 73: Pestaña "Alturas" en estrategia de contorneado.

En la pestaña “Pasadas” se va a determinar que la reducción máxima va a ser de 0,25 mm. Para esta operación de acabado se activan las casillas de “detección de área plana” y “ordenar por islas” para que los cortes en profundidad se ordenen según el perfil. También se activa la casilla “suavizado” para aligerar el código.

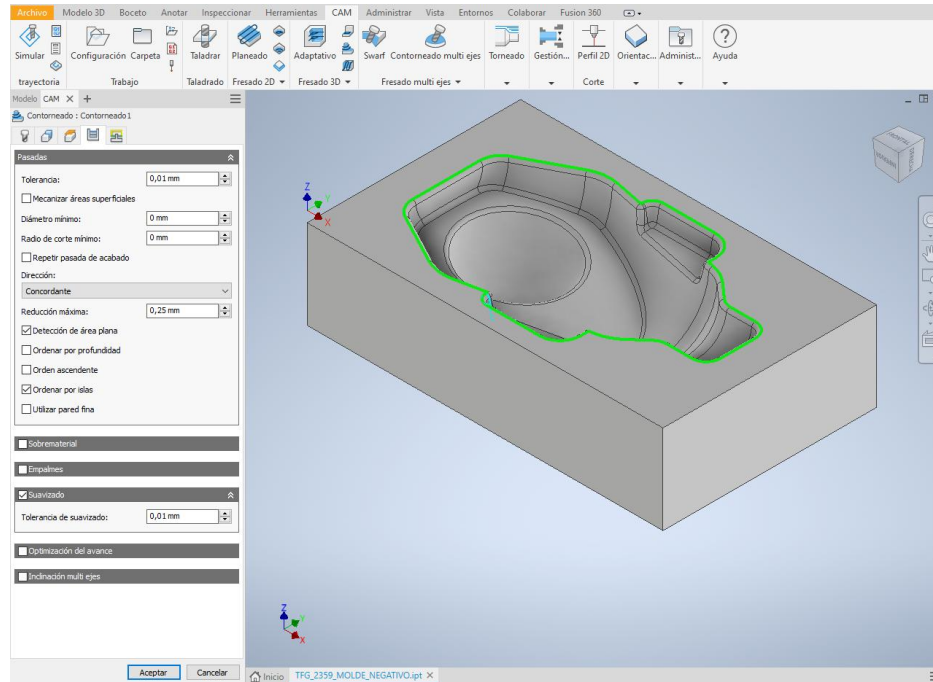


Figura 74: Pestaña "Pasadas" en estrategia de contorno.

Para terminar la configuración de esta operación, en la pestaña “Vinculación” se selecciona “retracción total” para evitar posibles colisiones de la herramienta al mecanizar, se activa la casilla de “permitir retracción rápida” y la entrada en rampa sigue siendo en “hélice”.

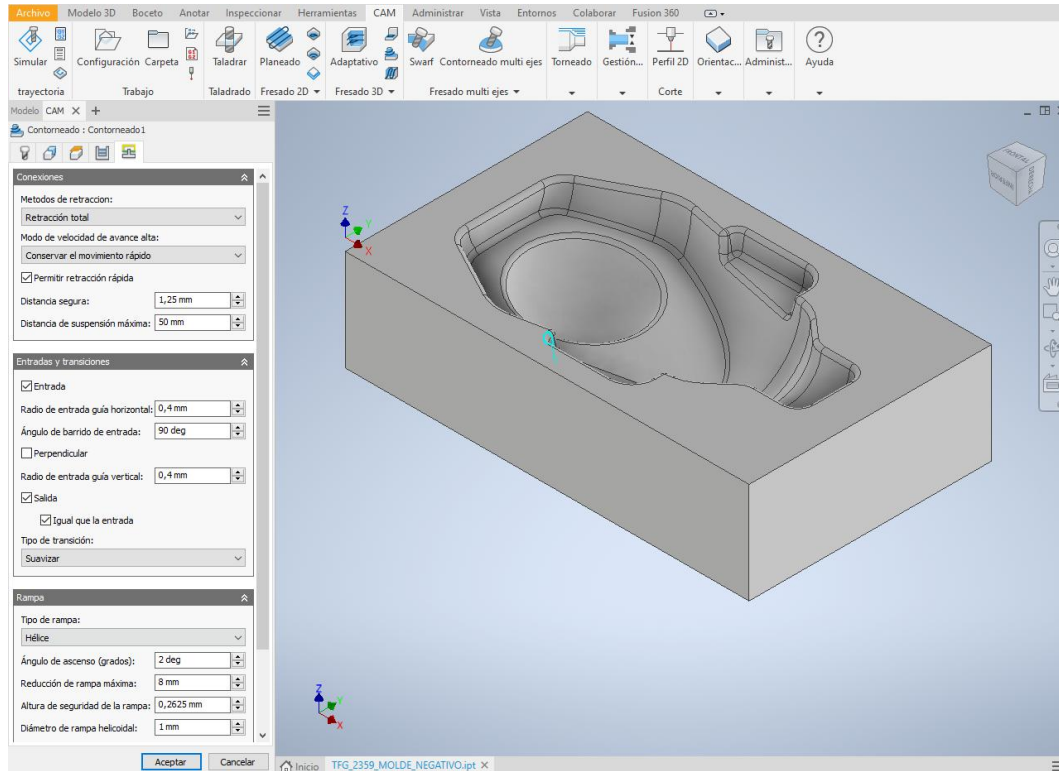


Figura 75: Pestaña "Vinculación" en estrategia de contorno.

En la siguiente Figura 76 se muestran las trayectorias de la herramienta para esta operación de contorno. En amarillo se muestran los desplazamientos de entradas y salidas de la herramienta y en azul las trayectorias de corte.

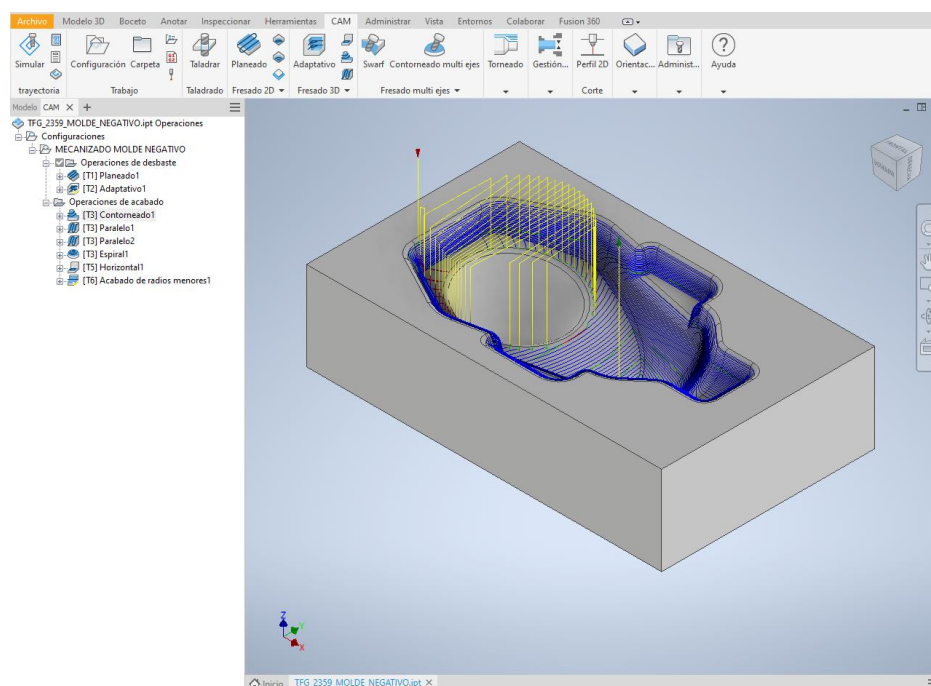


Figura 76: Trayectorias de estrategia de contorno.

Por último, se realiza la simulación de las 3 operaciones que ya hemos creado, para comprobar que no hay errores o colisiones.

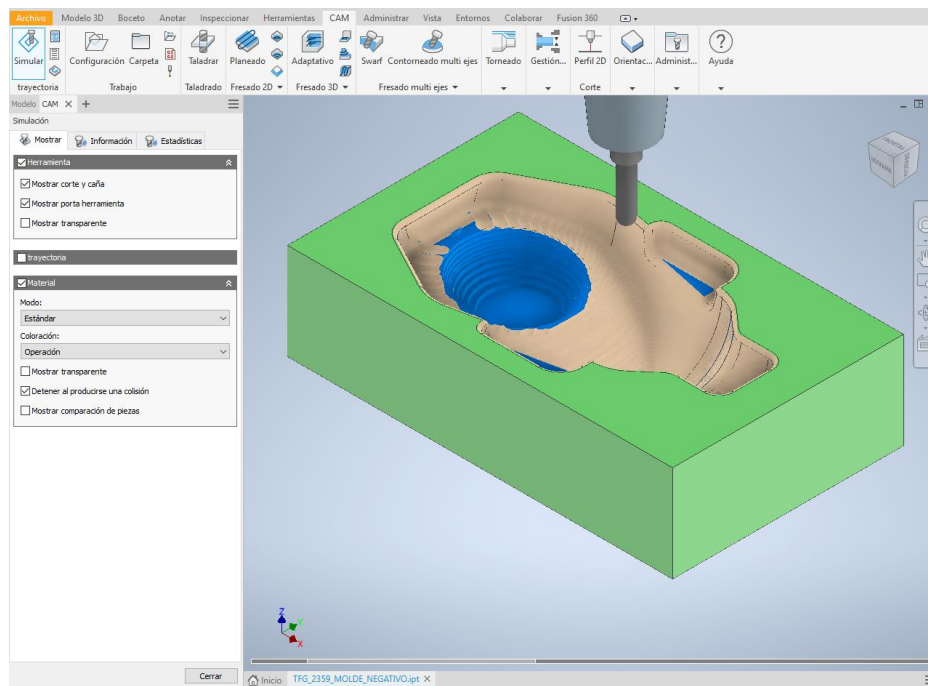


Figura 77: Captura tras la simulación de la operación de contorneado.

En la Figura 77 se puede ver cómo el programa va cambiando el color de las superficies en función de la operación que las ha mecanizado. El tiempo de mecanizado de esta operación es de 2 horas y 36 minutos.

4.5.2. Paralelo de la superficie plana inclinada

La siguiente operación de acabado es un paralelo. Un paralelo es una operación que realiza las pasadas de la herramienta de forma paralela en el plano XY y sigue la superficie de la pieza en la dirección Z.

La herramienta que se va a utilizar para esta operación es la misma que para el contorneado: una fresa enteriza de punta esférica de 4 mm de diámetro y una longitud suficiente para que no se produzcan colisiones con la pieza de trabajo. La velocidad de corte recomendada por el fabricante sigue siendo de 269 m/min y 0,101 mm el avance por diente.

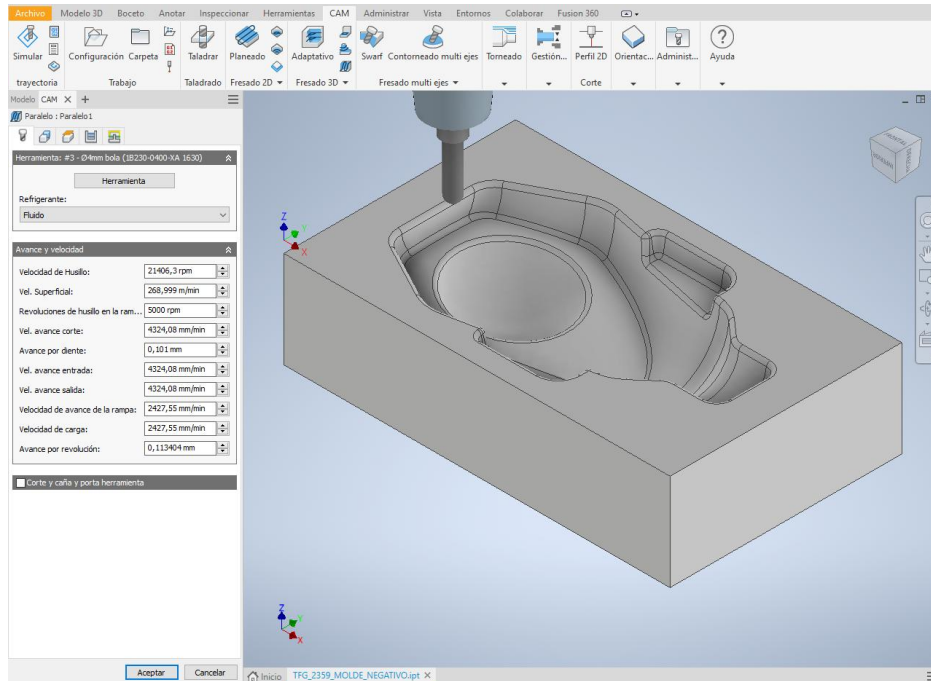


Figura 78: Pestaña "Herramienta" en estrategia de paralelo.

En la pestaña “Geometría” se selecciona el área en la que queremos realizar el mecanizado, que es la parte plana inclinada, y la parte esférica se selecciona en el último apartado llamado “evitar/tocar superficies”, ya que no se va a mecanizar esa parte en esta operación. La opción de “contención de la herramienta” se configura como “contorno interior de la herramienta” y se activa la casilla de “solo contacto”.

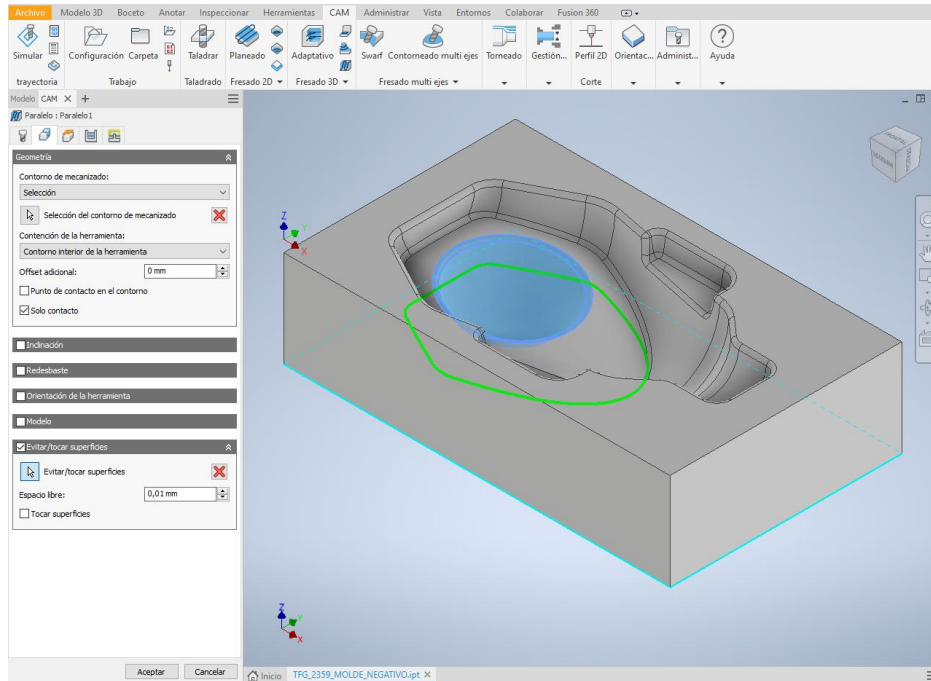


Figura 79: Pestaña "Geometría" en estrategia de paralelo.

En la pestaña “Alturas” se vuelven a definir las distancias de mecanizado, que coinciden con las de la operación anterior.

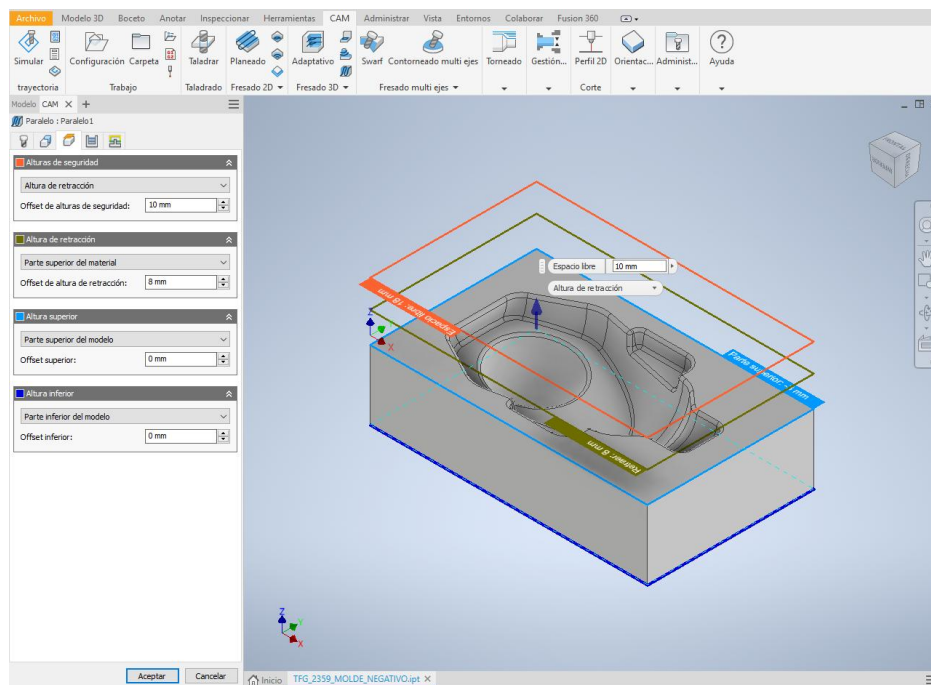


Figura 80: Pestaña "Alturas" en estrategia de paralelo.

En la pestaña “Pasadas” se va a definir una “sobrepasada” de 0,1 mm y se activa la casilla de “suavizado”. Se define una dirección de pasada de 0 grados

para que las trayectorias de los cortes sean más continuas. También se ha configurado la dirección de la pasada en “ambos sentidos” para ahorrar desplazamientos a la herramienta.

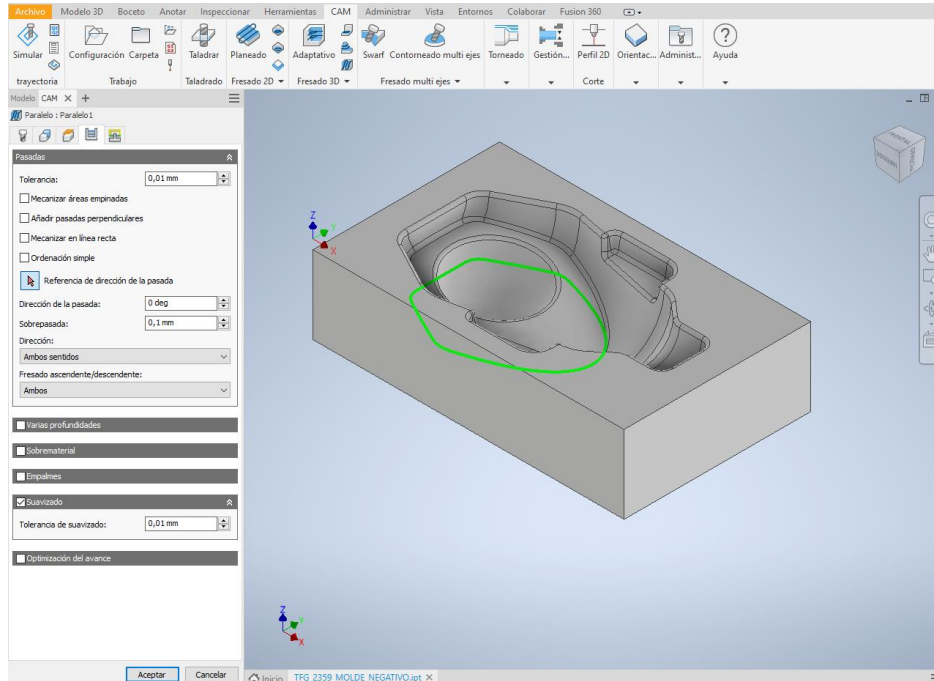


Figura 81: Pestaña "Pasadas" en estrategia paralelo.

En la pestaña de “Vinculación” se selecciona la retracción mínima para ahorrar tiempo y ser más eficientes en el mecanizado, ya que no hay peligros de colisión. Y por último hacemos clic en “aceptar” para completar la operación.

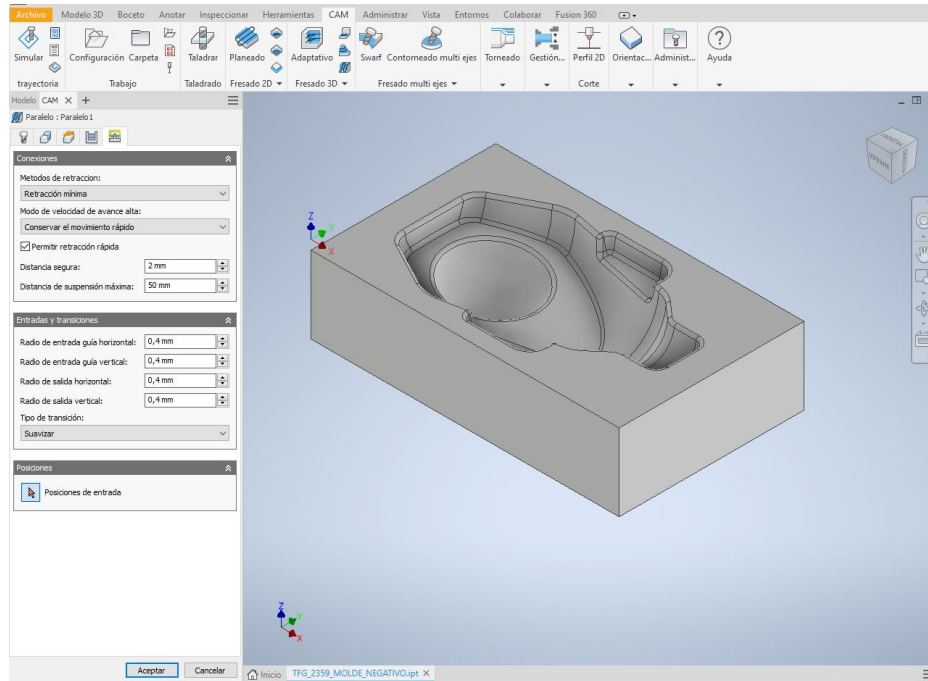


Figura 82: Pestaña "Vinculación" en estrategia paralelo.

Como se muestra en la Figura 83, al seleccionar la operación "paralelo 1" en el árbol de operaciones, podemos observar en azul las trayectorias de corte que va a seguir la herramienta en dicha operación.

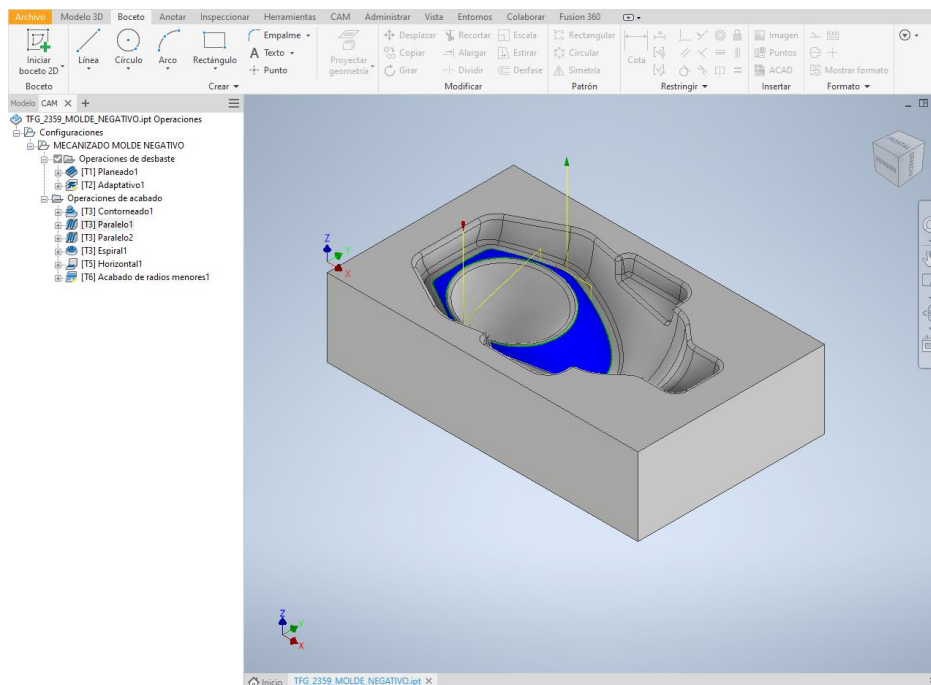


Figura 83: Trayectorias de la estrategia de paralelo.

Por último y para dar por finalizada esta operación se realiza una simulación para verificar que no hay ningún error y estamos consiguiendo nuestro objetivo. El tiempo de mecanizado de esta operación es de 1 hora y 10 minutos.

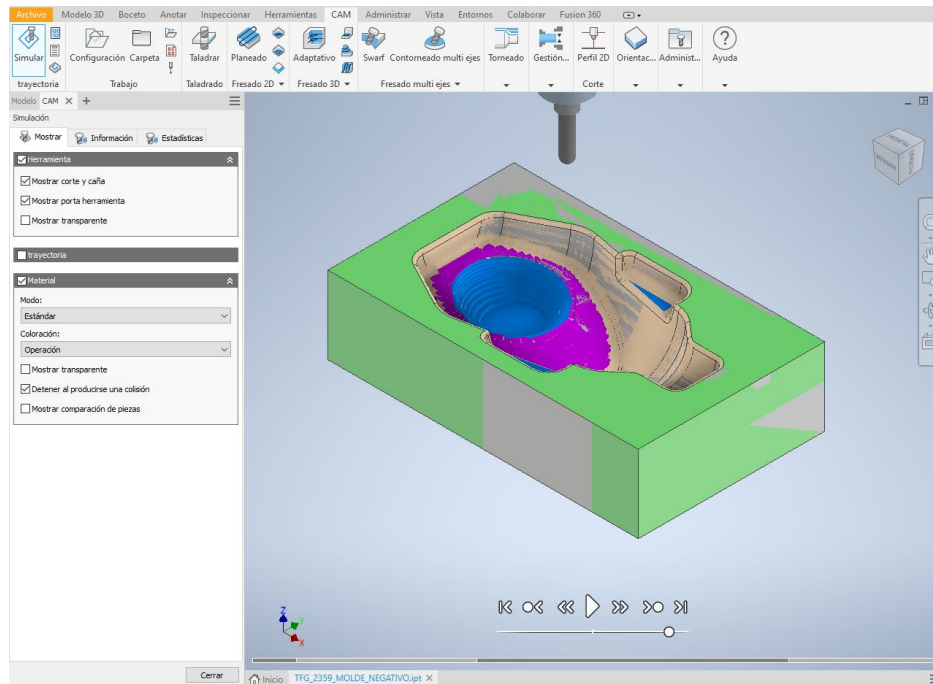


Figura 84: Simulación del mecanizado tras la operación de paralelo.

4.5.3. Paralelo en el extremo cóncavo

Para mecanizar el extremo cóncavo inferior semicilíndrico vamos a realizar otra vez una estrategia de “Paralelo”, ya que es la que mejor resultado nos ha dado.

La herramienta que se va a utilizar es la misma que en las dos operaciones anteriores: una fresa enteriza esférica de 4 mm de diámetro, con los parámetros de corte recomendados por el fabricante, una velocidad de corte de 269 m/min y un avance por diente de 0,101 mm.

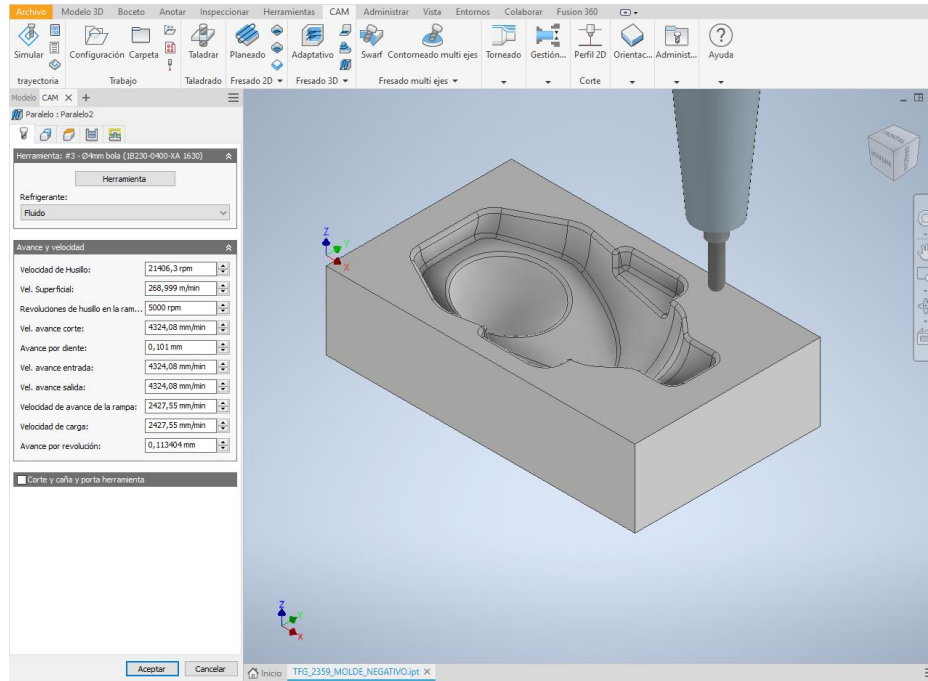


Figura 85: Pestaña "Herramienta" en estrategia de paralelo cóncavo.

En la pestaña “Geometría” debemos seleccionar el contorno en el que queremos que se realice el mecanizado. Se selecciona como “contención de la herramienta” el “Centro de la herramienta en el contorno” y se activa la casilla “Solo contacto”.

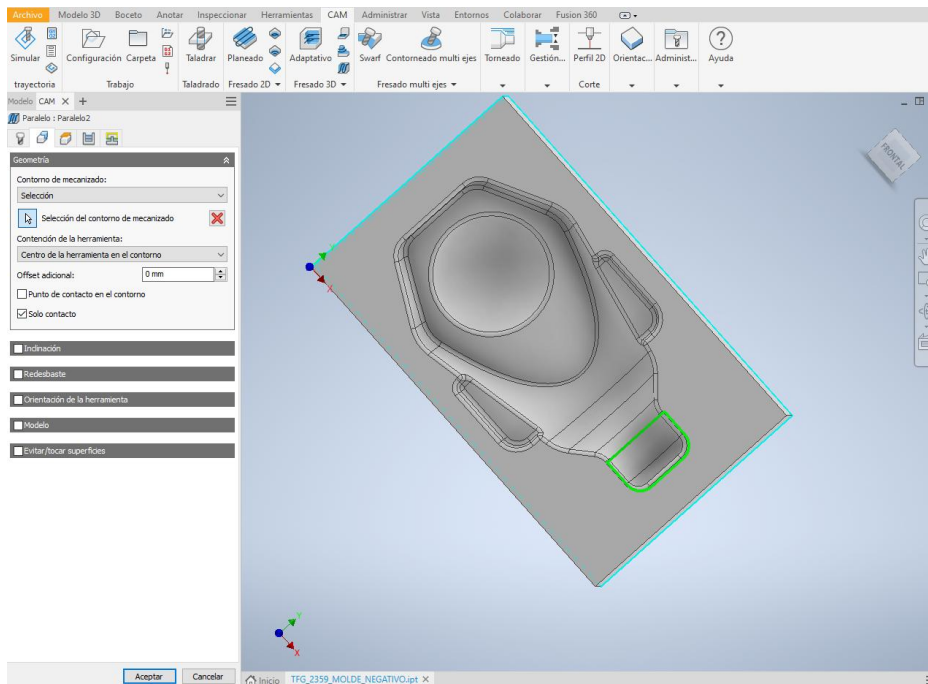


Figura 86: Pestaña "Geometría" en estrategia de paralelo cóncavo.

La pestaña “Alturas” tiene exactamente la misma configuración que en la operación anterior.

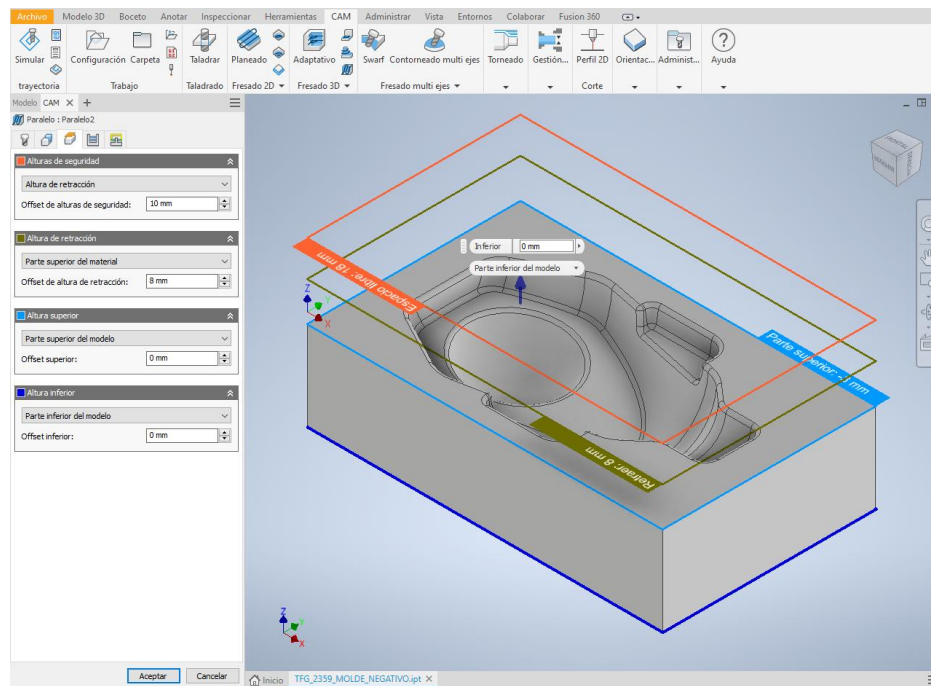


Figura 87: Pestaña “Alturas” en estrategia de paralelo cóncavo.

En la pestaña “Pasadas” se va a configurar una sobrepasada de 0,2 mm. Se establece una dirección de pasada de 90 deg y la dirección de fresado en ambos sentidos, con posibilidad de ser ascendente y descendente. También se activa la casilla “suavizado” para que el código sea menos pesado.

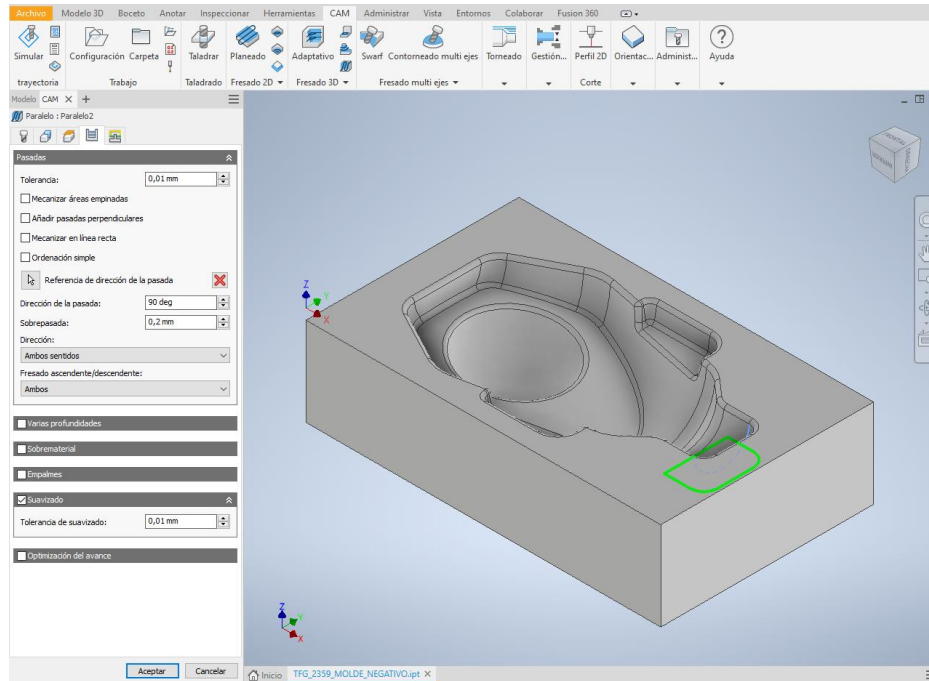


Figura 88: Pestaña "Pasadas" en estrategia de paralelo cóncavo.

En la pestaña de "Vinculación" se configura el método de retracción como "Retracción mínima".

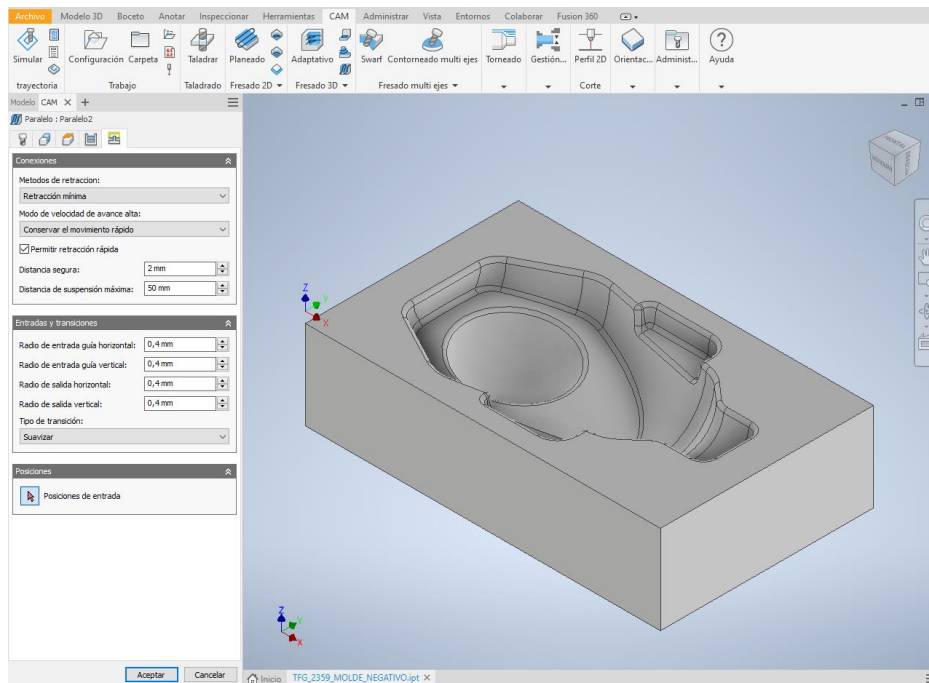


Figura 89: Pestaña "Vinculación" en estrategia de paralelo cóncavo.

Para finalizar esta operación se realiza una simulación y se comprueba que no se producen colisiones entre la herramienta y la pieza. El tiempo de mecanizado de esta operación es de 18 minutos.

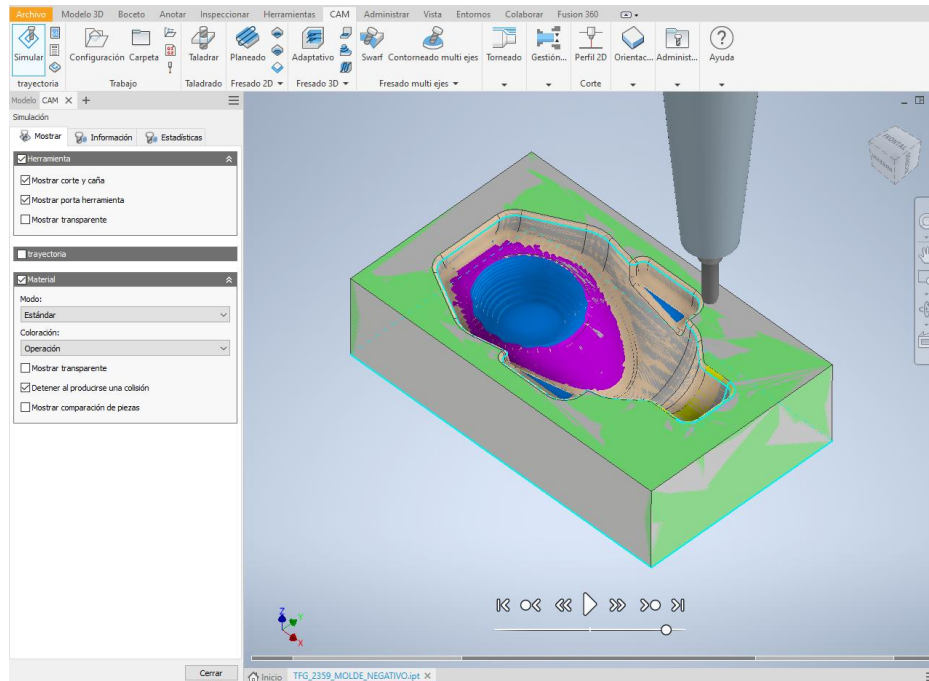


Figura 90: Simulación del mecanizado tras la operación de paralelo cóncavo.

4.5.4. Espiral de acabado a la superficie esférica

La estrategia de acabado de espiral genera una ruta de espiral a partir de un centro determinado. Esta operación genera un contacto constante, ya que el mecanizado se realiza en un contorneado específico. Se recomienda su uso para piezas redondas superficiales que tengan ángulos de contacto de la herramienta no superiores a 40 grados.

La herramienta que se va a usar en esta operación es la misma que en las anteriores operaciones de acabado: una fresa enteriza de punta esférica de 4 mm de diámetro. La velocidad de corte recomendada por el fabricante es de 269 m/min y el avance por diente de 0,101 mm.

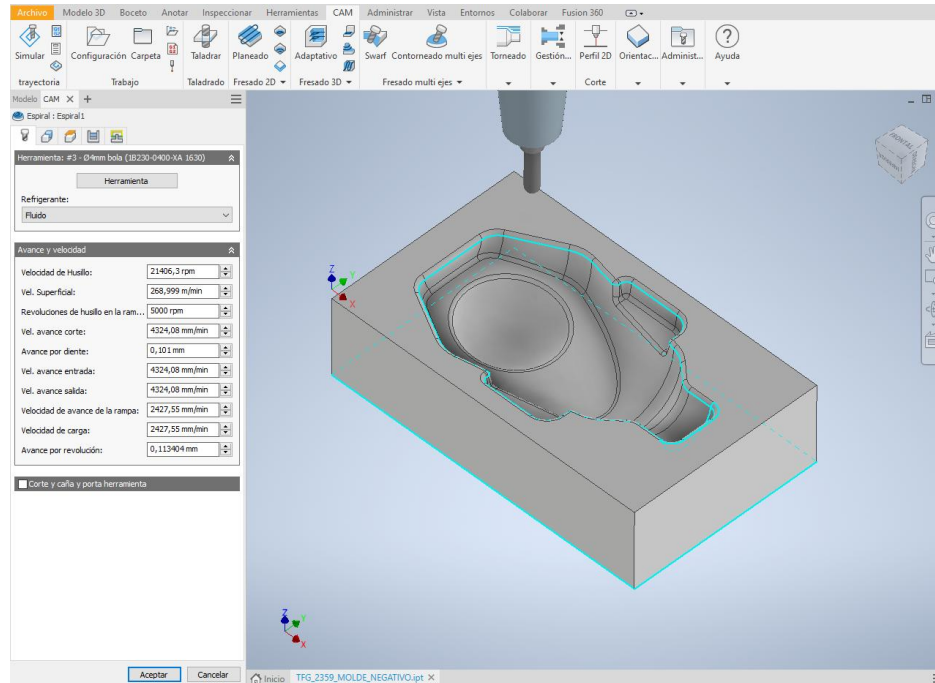


Figura 91: Pestaña "Herramienta" en estrategia de acabado en espiral.

En la pestaña "Geometría" hay que seleccionar el centro de la espiral y el contorno del mecanizado. También hay que activar las casillas de "Punto de contacto en el contorno" y "Solo contacto".

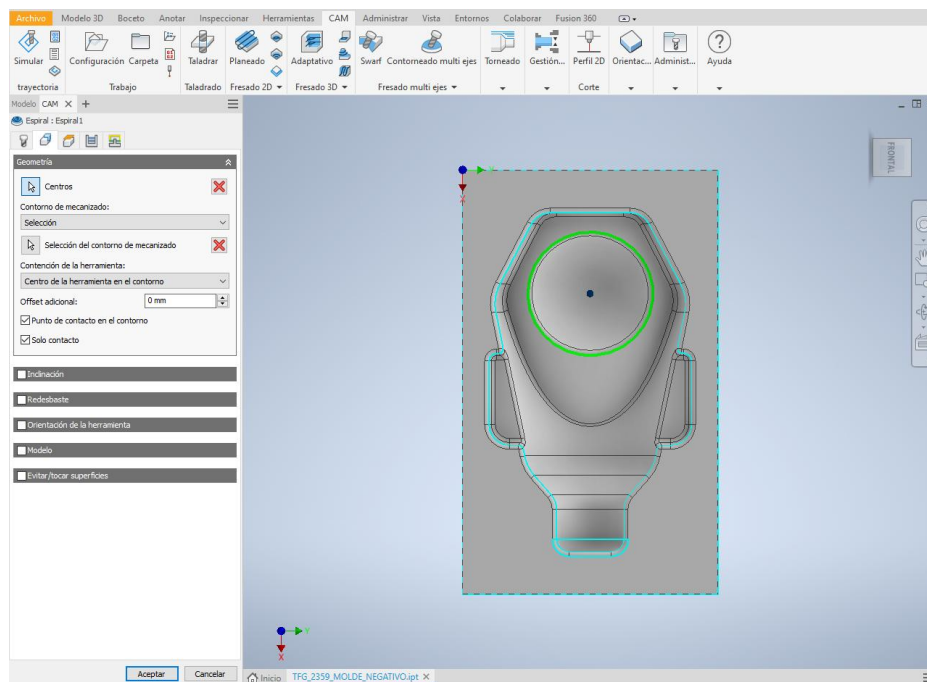


Figura 92: Pestaña "Geometría" en estrategia de acabado en espiral.

En la pestaña “Alturas” la configuración es la misma que en anteriores operaciones.

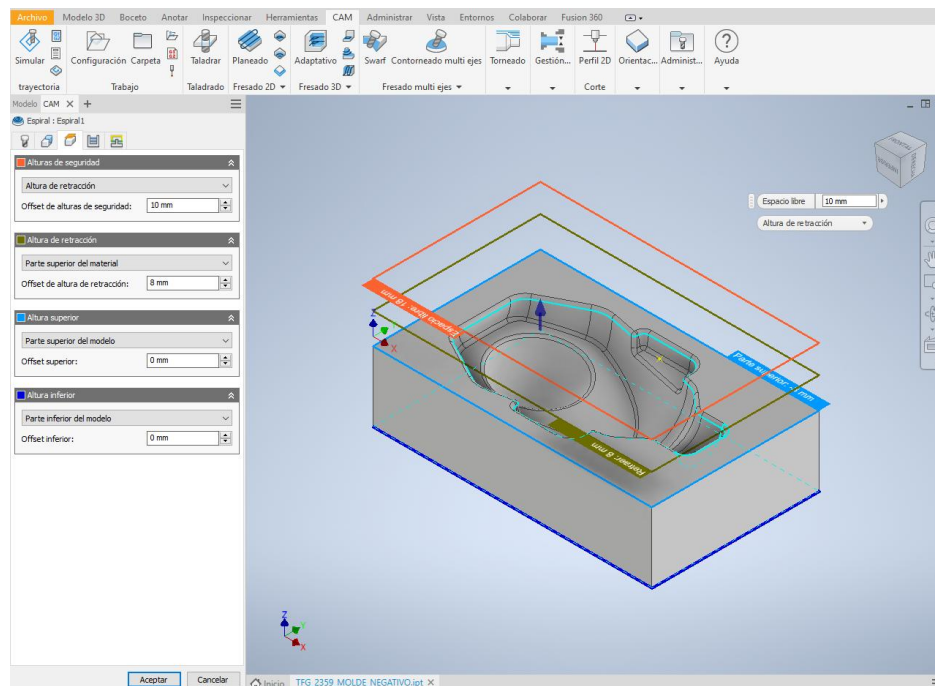


Figura 93: Pestaña "Alturas" en estrategia de acabado en espiral.

En la pestaña “Pasadas” se va a configurar el mecanizado para que sea desde el exterior de la circunferencia hasta el interior. El modo de la espiral va a ser una “Espiral con círculos” lo que añade una ruta circular en el radio mínimo y otra en el máximo, en nuestro caso como el límite interior es 0, el radio mínimo no se va a realizar. Se va a definir una sobrepasada de 0,2 mm y también se activa la casilla de “Suavizado”.

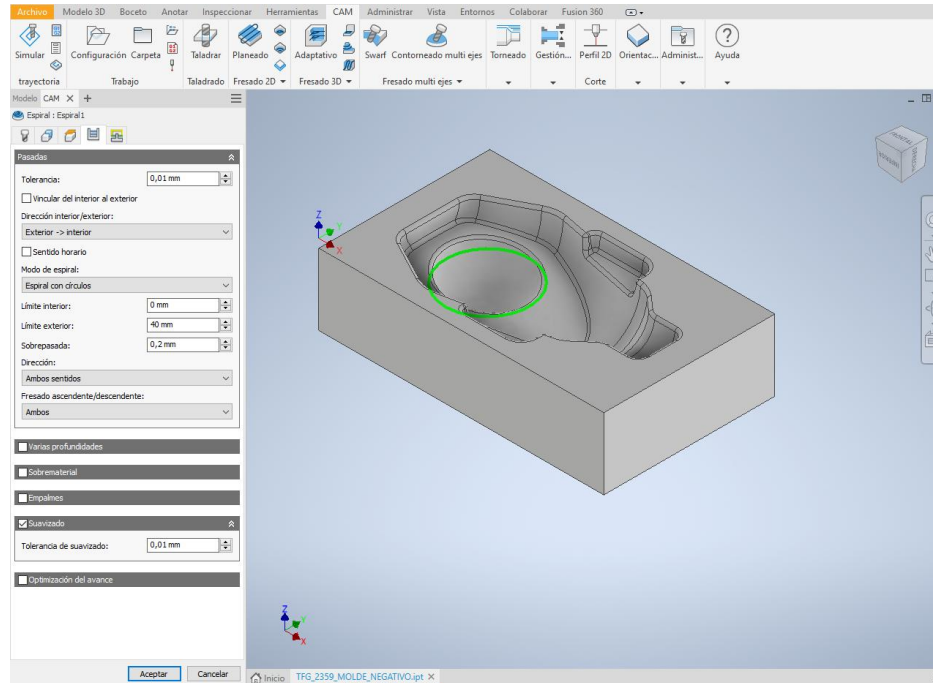


Figura 94: Pestaña "Pasadas" en estrategia de acabado en espiral.

En la pestaña "Vinculación" se va a configurar el método de retracción como "Retracción total" y se va a permitir la "Retracción rápida".

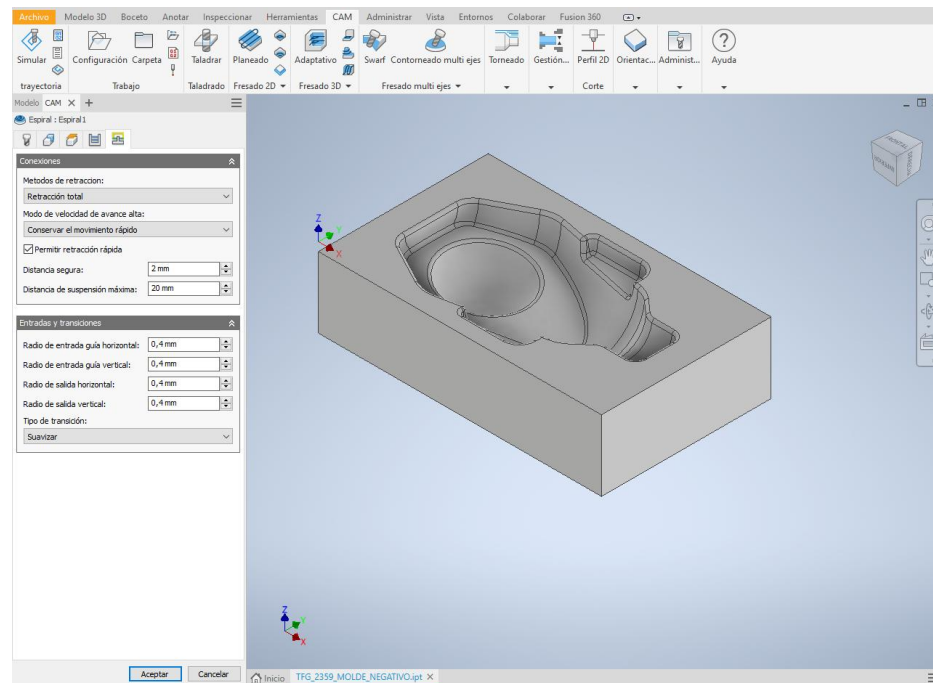


Figura 95: Pestaña "Vinculación" en estrategia de acabado en espiral.

Por último, se realiza una simulación junto con todas las operaciones anteriores y comprobamos que no hay ningún error ni ninguna colisión. El tiempo empleado para esta operación es de 49 minutos.

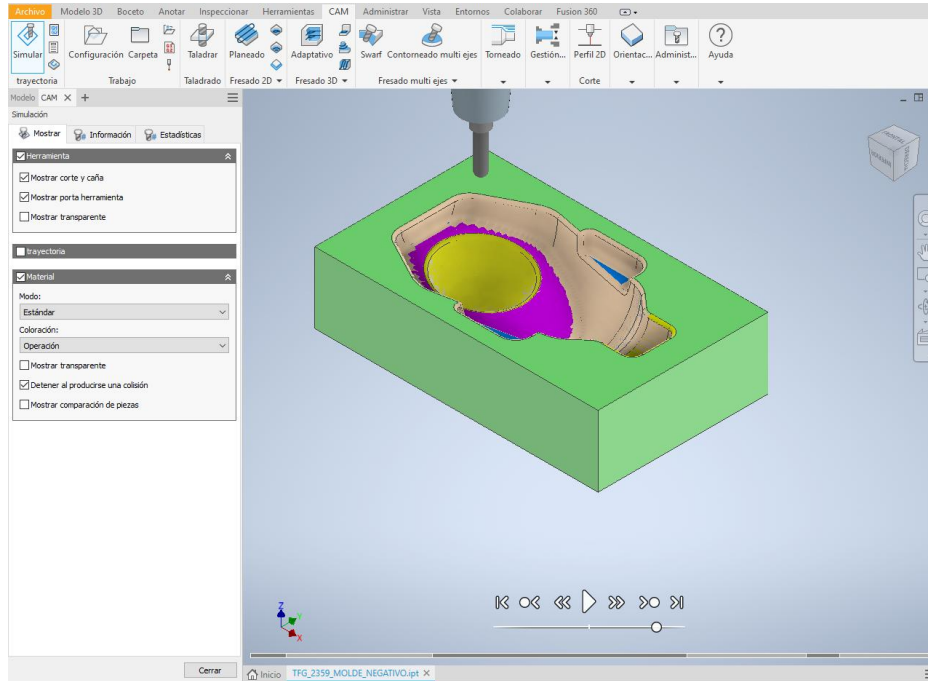


Figura 96: Simulación del mecanizado tras la operación de acabado en espiral.

4.5.5. Mecanizado horizontal de acabado

En esta operación se va a realizar un mecanizado de acabado en las dos superficies planas laterales, para ello hay que seleccionar la operación horizontal en la ventana de 3D de Inventor CAM.

Para esta operación se va a seleccionar la herramienta RA215.26-1650AAK12L 1620. Es una fresa enteriza para acabado del fabricante SANDVIK. Tiene un diámetro de corte de 6,35 mm, la velocidad de corte recomendada por el fabricante es de 359 m/min y el avance por diente es de 0,107 mm.

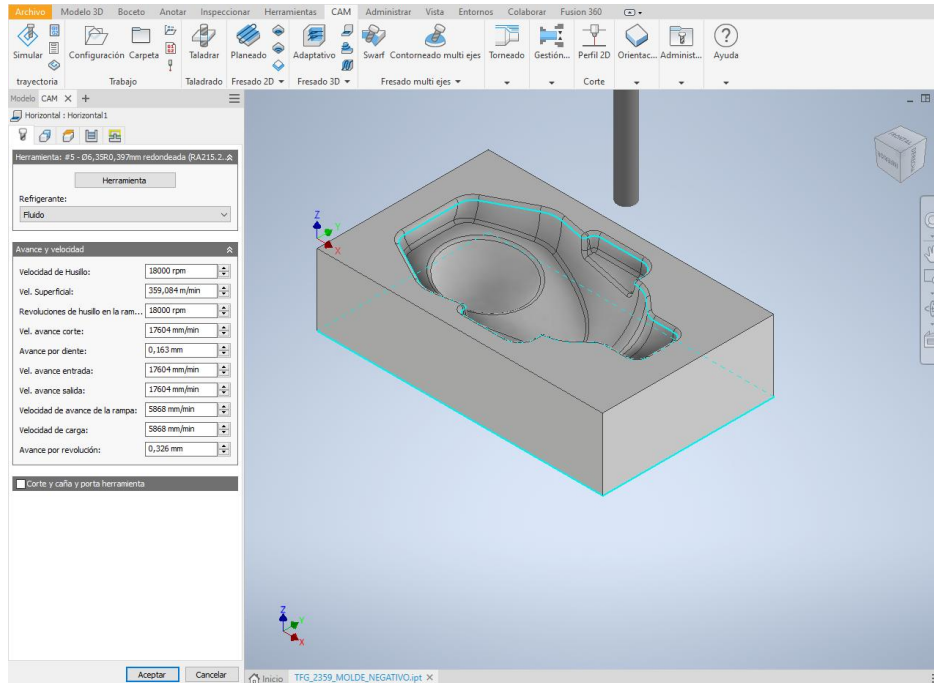


Figura 97: Pestaña "Herramienta" en estrategia de acabado horizontal.

En la pestaña “Geometría” hay que seleccionar los dos contornos del mecanizado de forma manual. Se configura la contención de la herramienta como “Centro de la herramienta en el contorno”.

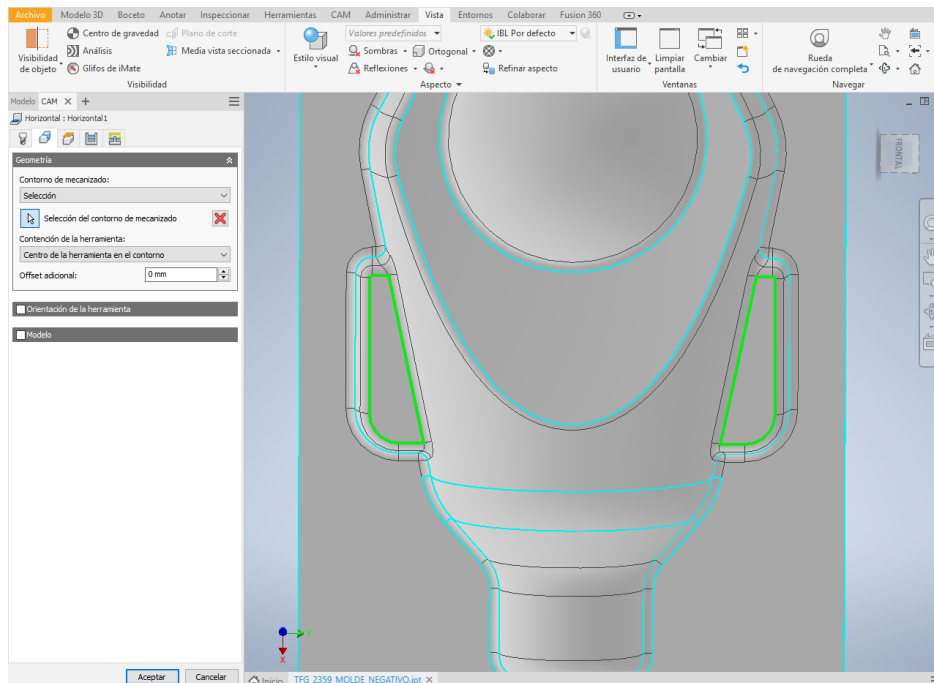


Figura 98: Pestaña "Geometría" en estrategia de acabado horizontal.

En la pestaña “Alturas” la configuración vuelve a ser la misma que en las operaciones anteriores.

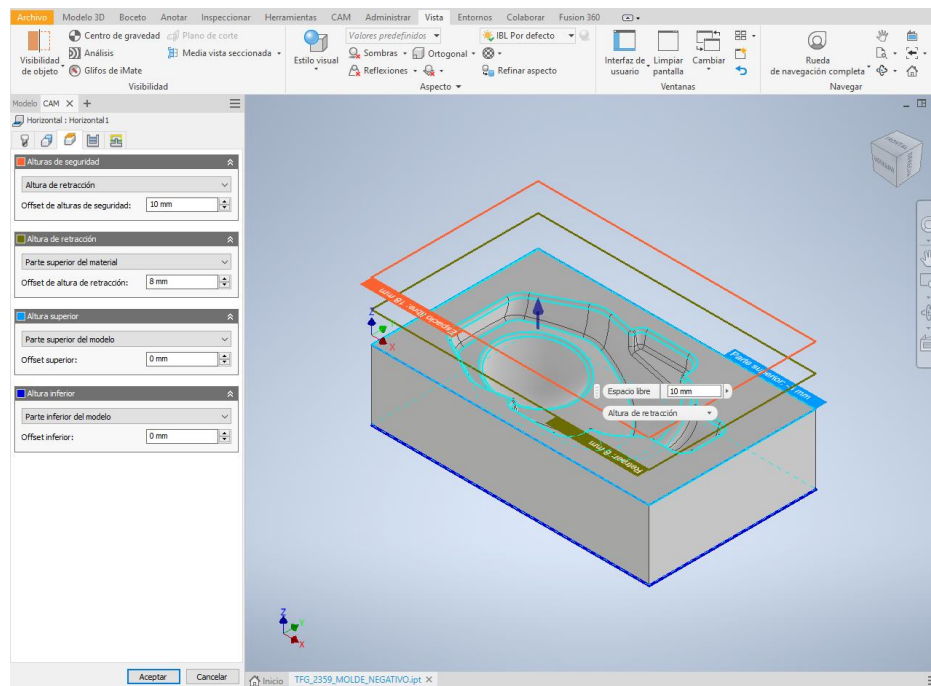


Figura 99: Pestaña “Alturas” en estrategia de acabado horizontal.

En la pestaña “Pasadas” únicamente vamos a activar la casilla de “Suavizado”.

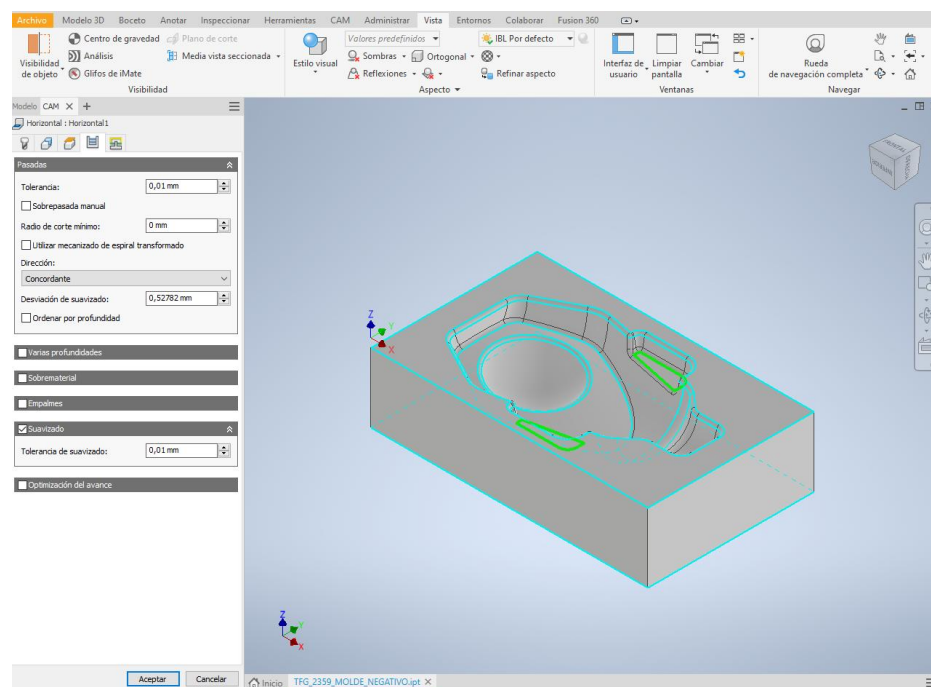


Figura 100: Pestaña “Pasadas” en estrategia de acabado horizontal.

En la pestaña “Vinculación” se va a configurar la retracción mínima para ahorrar tiempo en los movimientos de la herramienta y se va a permitir la “Retracción rápida”.

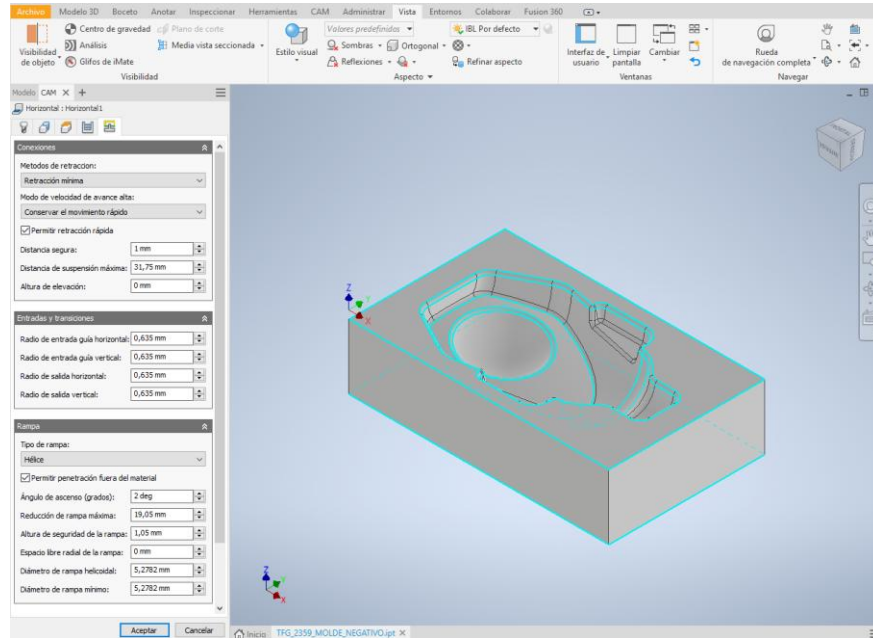


Figura 101: Pestaña "Vinculación" en estrategia de acabado horizontal.

Por último, se va a realizar una simulación para comprobar que todas las operaciones que se han configurado son correctas y no hay ningún error. El tiempo de mecanizado en la operación “horizontal” es de 16 minutos.

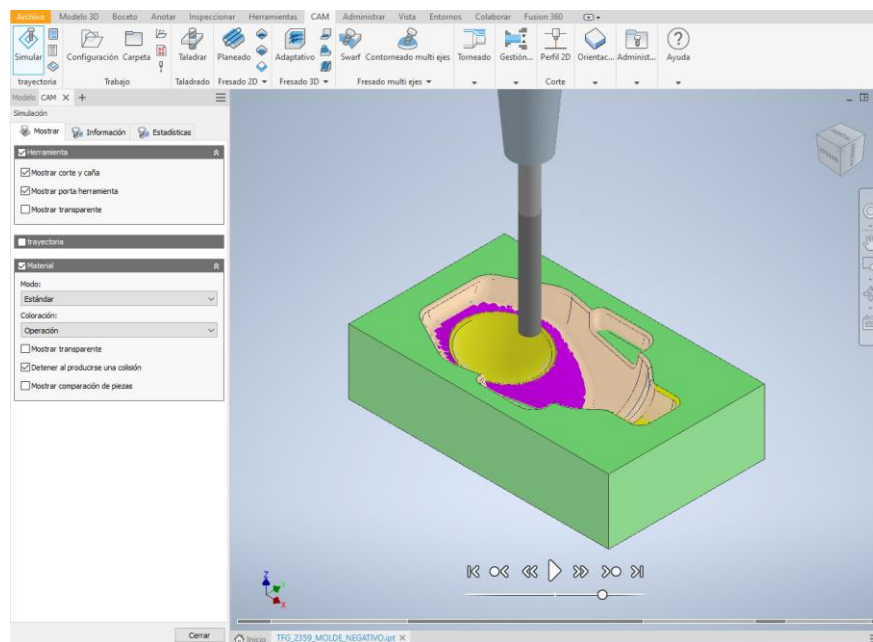


Figura 102: Simulación del mecanizado tras la operación de acabado horizontal.

4.5.6. Acabado de radios menores

La estrategia de “Acabado de radios menores” crea rutas de herramienta a lo largo de las esquinas y empalmes internos con radios pequeños y elimina el material que, con otras herramientas, no desaparecería. Se puede realizar con una o varias pasadas y es ideal para el acabado final después de realizar otras estrategias de mecanizado.

La herramienta que se ha seleccionado para esta operación es una fresa enteriza de punta esférica de 2 mm de diámetro y un radio de punta (RE) de 1 mm. La velocidad de corte recomendada por el fabricante es de 451 m/min y el avance por diente de 0,0516 mm.

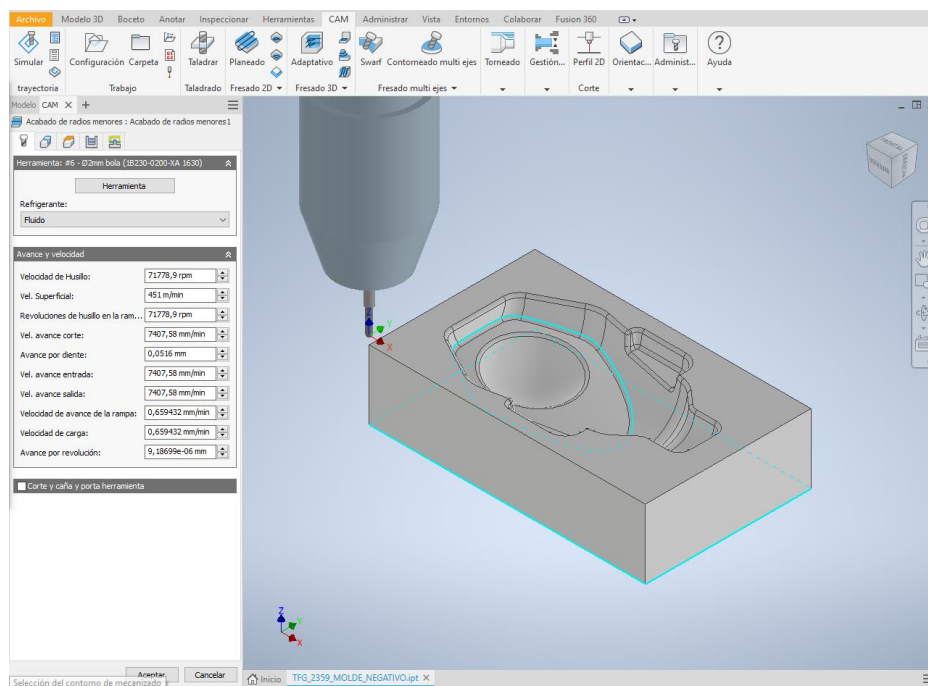


Figura 103: Pestaña "Herramienta" en estrategia de acabado de radios menores.

En la pestaña “Geometría” hay que seleccionar los dos contornos del mecanizado de forma manual. Se configura la contención de la herramienta como “Contorno exterior de la herramienta” y se activa la casilla de “Solo contacto”. También hay que activar la casilla de “Inclinación” para delimitar los ángulos del radio en los que queremos que actúe la herramienta, y se limita con el ángulo inferior de 2 deg y el superior de 88 deg.

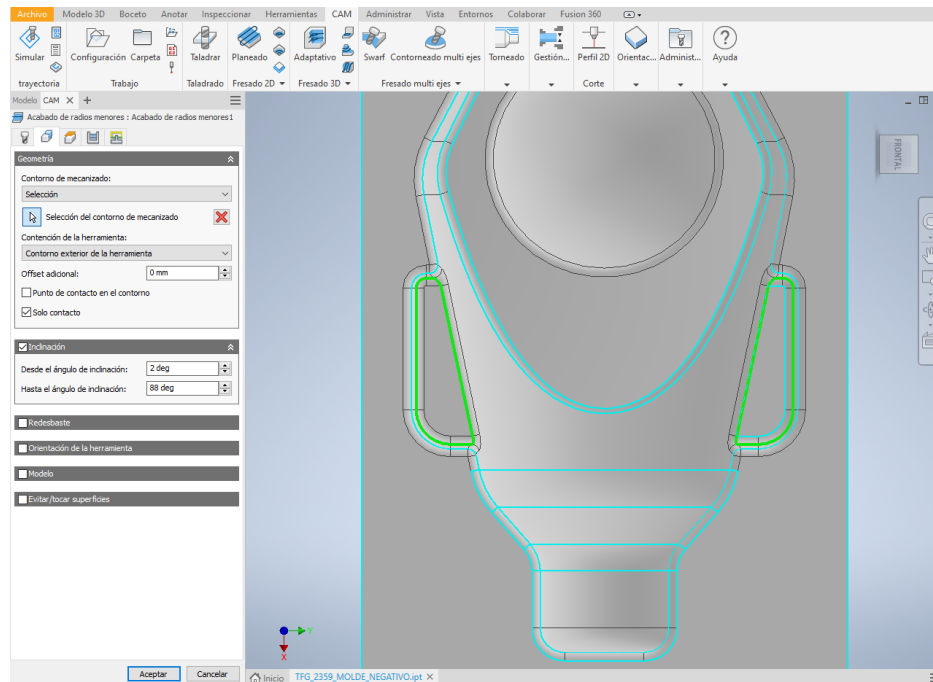


Figura 104: Pestaña "Geometría" en estrategia de acabado de radios menores.

En la pestaña "Alturas" se va a definir la altura superior y la inferior haciendo una selección de las superficies, siendo la superior la parte de arriba del radio que al que queremos dar el acabado y la inferior donde acaba ese mismo radio.

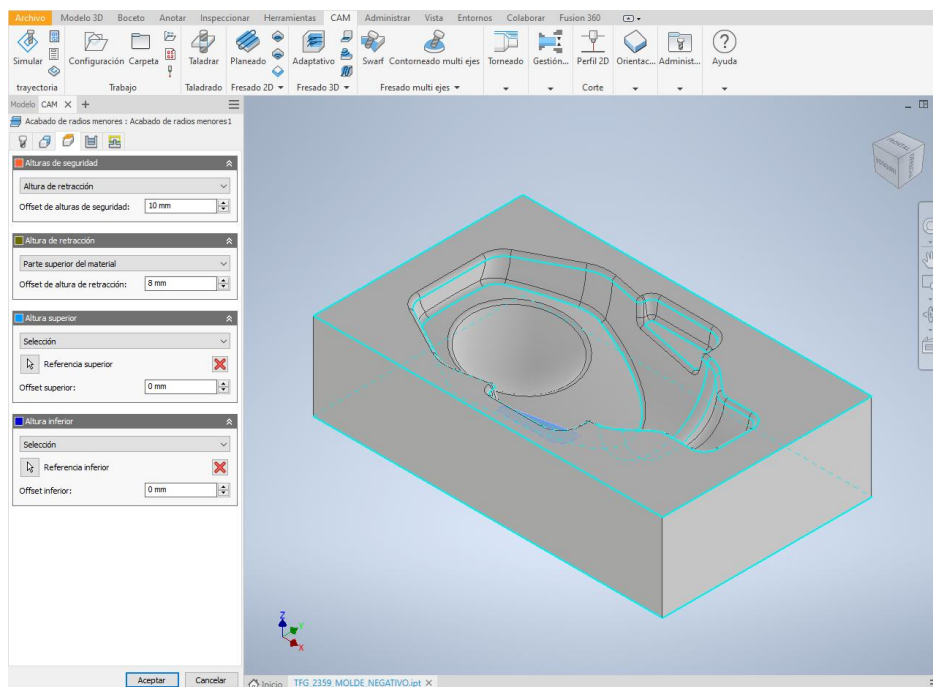


Figura 105: Pestaña "Alturas" en estrategia de acabado de radios menores.

En la pestaña “Pasadas” se establece un “Ángulo de bitangencia” de 20 deg, es el ángulo que se utiliza para determinar el número de pasadas a lo largo de un pliegue. También se define la “Sobrepasada” en 0,1 mm y se activa la casilla de “Suavizado”.

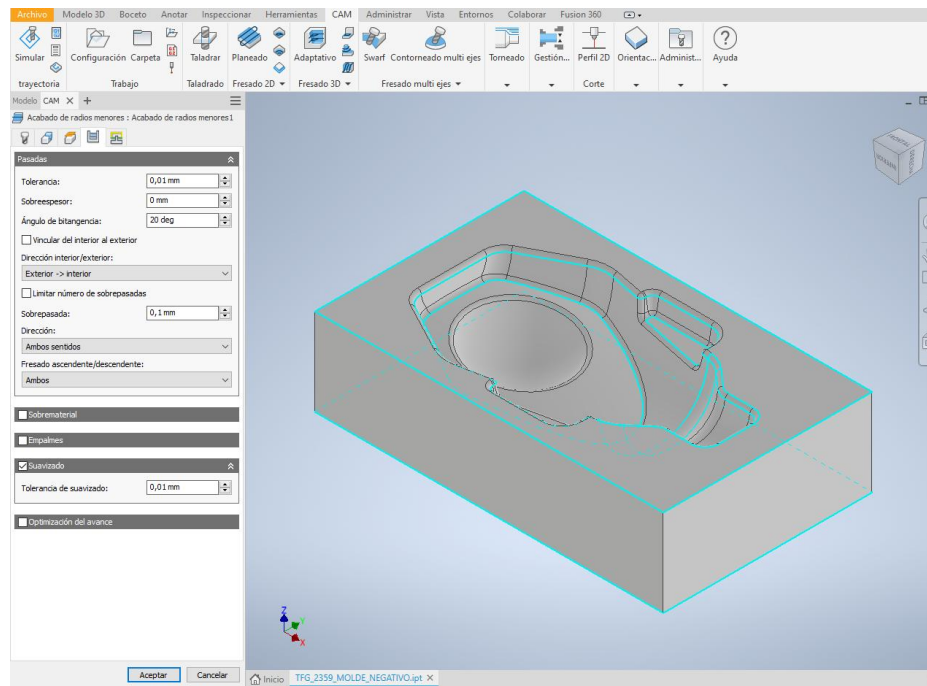


Figura 106: Pestaña “Pasadas” en estrategia de acabado de radios menores.

Por último, en la pestaña “Vinculación” se permite la retracción rápida y el método de retracción es total.

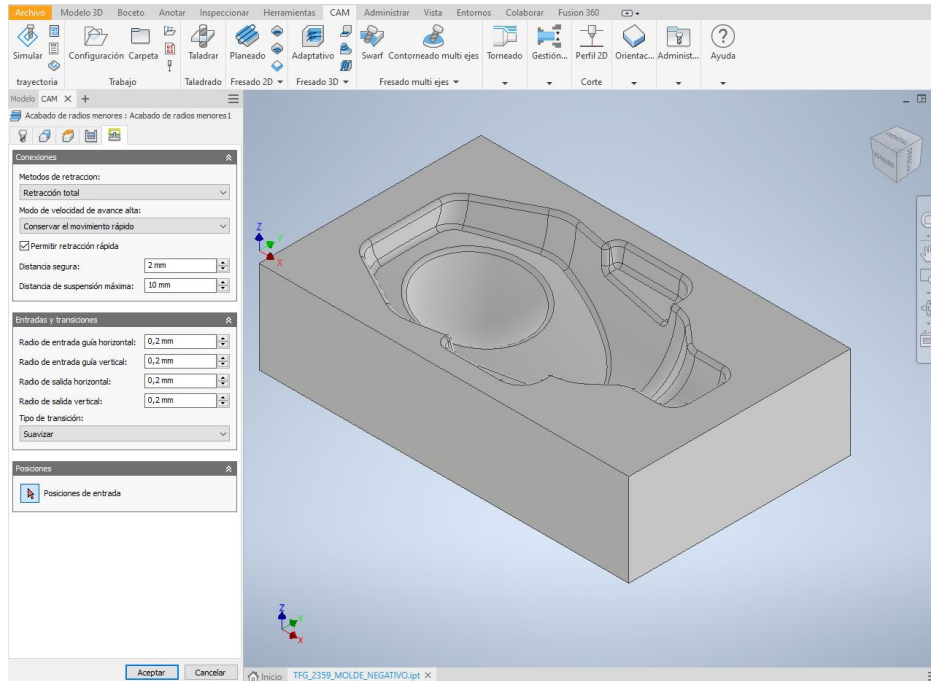


Figura 107: Pestaña "Vinculación" en estrategia de acabado de radios menores.

Tras hacer clic en "Aceptar" y seleccionando la operación de "Acabado de radios menores 1" en el árbol de operaciones, podemos observar, en azul, las trayectorias que va a seguir la herramienta.

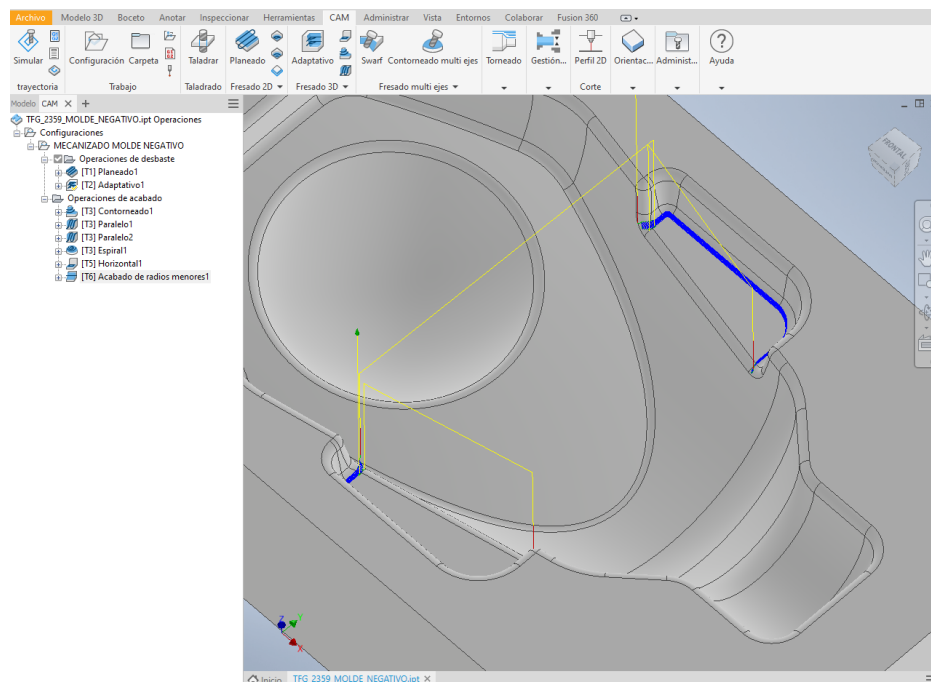


Figura 108: Trayectorias de la estrategia de acabado de radios menores.

Esta operación de “acabado de radios menores” era la última operación del mecanizado del molde negativo, por lo que se procede a simular el conjunto de todas las operaciones para verificar el resultado final del mecanizado.

En la Figura 109 se muestra el resultado final del mecanizado del molde negativo que se ha llevado a cabo en el presente trabajo de fin de grado. En la representación gráfica de la simulación cada color representa una de las operaciones de mecanizado para llegar hasta el resultado final.

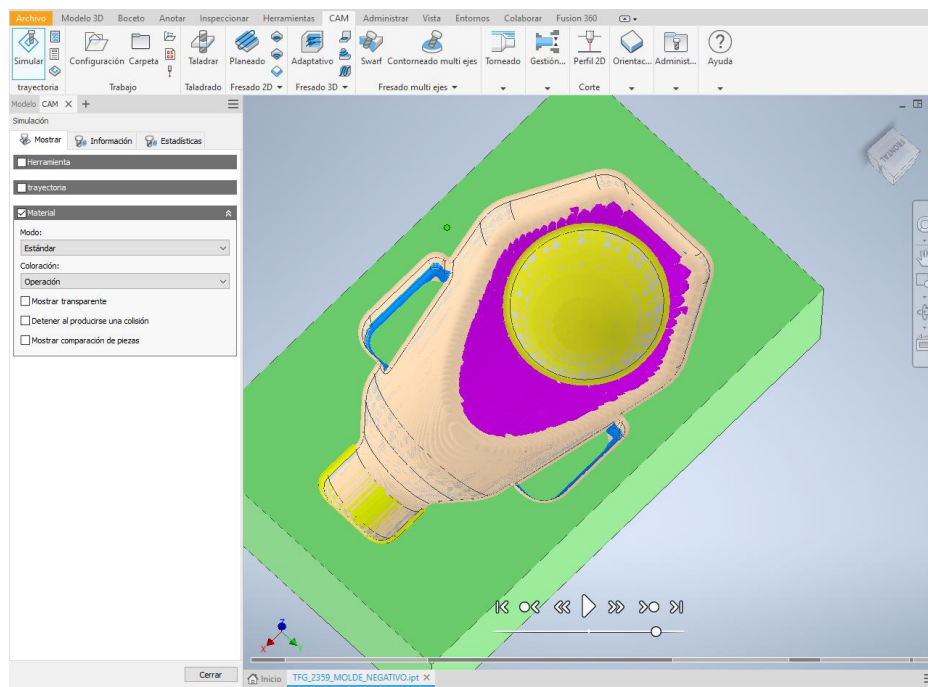


Figura 109: Simulación del mecanizado tras la operación de acabado de radios menores.

En la Figura 110 se muestra cómo sería el resultado final del mecanizado del molde positivo.

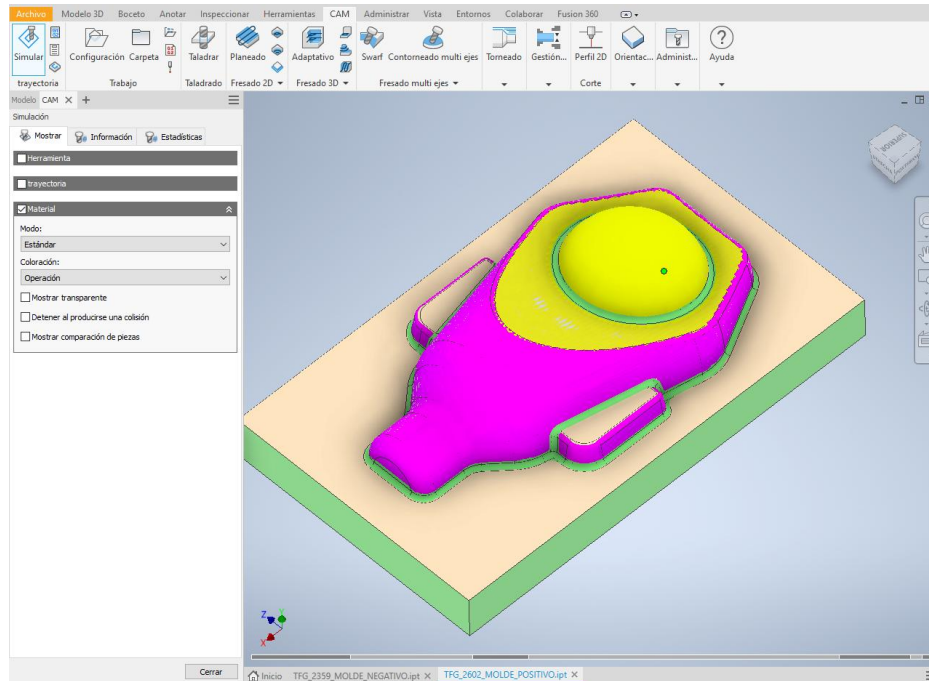


Figura 110: Simulación del mecanizado del molde positivo.

En las imágenes de las simulaciones se ven pequeñas manchas de diferentes colores en medio de las superficies mecanizadas, esto se debe a la precisión de la simulación de Inventor CAM. No es un error del mecanizado ya que, en la simulación, Inventor CAM indica que no se producen colisiones durante el mecanizado.

Aunque se ha intentado realizar un acabado lo más fino posible, siempre teniendo en cuenta los tiempos de mecanizado, no es un acabado perfecto, por lo que en este tipo de moldes se suele realizar un proceso de electroerosión tras el mecanizado. Con la electroerosión conseguimos realizar un acabado mucho más exacto, eliminando todo el material innecesario y obteniendo un acabado de los bordes con mucha más precisión.

4.6. Postprocesado

El último paso antes de realizar un mecanizado real es realizar el “Postprocesado” que consiste en generar el código de control numérico para enviarlo al centro de mecanizado.



Para ejecutar el Postprocesado hay que hacer clic en el símbolo que se encuentra en el módulo “Trayectorias” en la pestaña CAM. Aparece la ventana que se muestra a continuación.

Propiedad	Valor
Use chip transport	No
Separate words with space	Sí
Sequence number increment	5
Start sequence number	10
Show notes	No
Use sequence numbers	Yes
Write machine	Sí
Write tool list	Sí
Write version	No
Home position center	Sí

Figura 111: Ventana postprocesado para obtención del código de control numérico.

En esta ventana se configura el postprocesador, en nuestro caso vamos a utilizar el código “HAAS (pre-NGC)/haas”. Introducimos el nombre que va a tener nuestro programa de mecanizado, seleccionamos la carpeta en la que se va a guardar y hacemos clic en “Postprocesador”. Después de esto se abrirá el código en un editor llamado “Autodesk HSM edit” por si es necesario realizar algún cambio en el mismo antes de enviarlo a la fresadora CNC.

El código no se mostrará en este trabajo debido a su gran extensión.

5. Presupuesto

En este último capítulo, se va a crear un presupuesto sencillo del coste que puede suponer la etapa de mecanizado del molde. No se va a tener en cuenta el coste del tocho de partida.

Para la elaboración de este presupuesto se van a considerar por separado los costes de mano de obra, los costes directos y los indirectos.

Mano de obra y horas de máquina

La mano de obra se va a dividir en dos partidas:

- Trabajo de ingeniería: es el trabajo que llevaría a cabo un ingeniero de fabricación en una empresa de mecanizados. Su función sería la de generar las estrategias más óptimas de mecanizado, junto con las operaciones auxiliares, hasta obtener el código CNC.

Para un profesional con experiencia, este trabajo podía suponer hasta 1 hora y se ha considerado un precio de 130 €/h.

- Trabajo de operario: es el trabajo que va a llevar a cabo un oficial de primera, que se encargará de la puesta en marcha de la máquina, las calibraciones, la colocación del tocho y la sujeción de este a la bancada de la fresadora, preparar las herramientas, etc.

Se ha estimado que este trabajo le va a llevar al operario 2 horas aproximadamente con un costo de 70 €/h.

También debemos contabilizar el trabajo de mecanizado realizado por el centro de fresado, el coste de uso va a ser de 110 €/h, y el tiempo de uso va a ser de 00:38:49 para el molde negativo y 01:37:15 para el molde positivo. Lo que hace un tiempo total exclusivamente del mecanizado de 02:16:04, a este tiempo debemos sumarle lo que se tardan en desarrollar otras actividades auxiliares, como pueden ser los cambios de herramientas, la calibración inicial de la posición o tomar las cotas reales del tocho, entre otras.

Por lo tanto, podemos asumir que el tiempo total de mecanizado, incluyendo las actividades auxiliares, va a ser aproximadamente de 2 horas y 30 minutos.

Costes directos. Amortizaciones.

Solo se va a considerar el coste de las diferentes herramientas adquiridas del fabricante o un comercial y sus amortizaciones:

- Fresa plana 32 mm: 498,2 € el portaplaquitas y 27,85 €/ud, como necesitamos 3 plaquitas serán 83,55 €. Solo vamos a considerar un 5% de amortización de las plaquitas ya que el portaplaquitas va a tener una amortización insignificante.
- Fresa plana 8 mm: 138 €, 30% de amortización.
- Fresa de punta esférica 4 mm: 64,9 €, 100% de amortización.
- Fresa plana 6,35 mm: 131 €, 2% de amortización.
- Fresa de punta esférica 2 mm: 58,3 €, 5% de amortización.

Se consideran despreciables los costes de amortización de equipos como pueden ser el ordenador que se utilice para realizar la programación del mecanizado, el centro de mecanizado, la licencia del software, etc. Estos costes no se van a tener en cuenta debido a que la amortización anual va a ser muy baja, aunque alguno de ellos tenga un coste de adquisición elevado.

Costes indirectos

Se van a tener en cuenta diferentes costes indirectos, estos costes son consecuencia de la actividad, pero no se pueden atribuir directamente.

- Costes de gestión y administrativos: 175 €.
- Costes logísticos: 60 €.

Costes totales

Se va a considerar un beneficio industrial del 25% a la suma resultante de los conceptos presupuestados anteriormente para la realización de la actividad. El resultado final de la cotización de este trabajo podemos verlo en la siguiente tabla.

COSTE POR HORA DE RECURSO			
Concepto	Precio/hora	Cantidad horas	Subtotal
Ingeniero	130,00 €	1	130,00 €
Operario	70,00 €	2	140,00 €
Máquina	110,00 €	2,5	275,00 €



COSTES DIRECTOS			
Concepto	Precio	Amortización	Subtotal
Plaquitas planear 32mm	83,55€	5%	4,18€
Fresa plana 8mm	138,00€	33%	45,54€
Fresa de punta esférica 4mm	64,90€	100%	64,9€
Fresa plana 6,35mm	131,00€	2%	2,62€
Fresa de punta esférica 2mm	58,30€	5%	2,915€

COSTES INDIRECTOS			
Concepto	Precio	Cantidad	Subtotal
Gestión y administración	175,00€	1	175,00€
Logística	60,00€	1	60,00€

BENEFICIO INDUSTRIAL	
25%	Subtotal
	225,04€

TOTAL	1125,2€
-------	---------

6. Conclusiones

6.1. Conclusiones y líneas de trabajo futuras

Este trabajo se ha comenzado comentando la importancia y la evolución de los sistemas CAM/CAD en la actualidad. Se ha expuesto cómo esta tecnología ha ayudado a mejorar los procesos de fabricación y el flujo de trabajo a la hora de desarrollar productos, reduciendo los tiempos de mecanizado. Gracias a esta tecnología se pueden simular los procesos de fabricación y detectar posibles errores. Todo lo anterior ha servido para lograr una gran optimización del proceso aumentando la productividad de las empresas y reduciendo costes.

Después se ha realizado una breve introducción al proceso de fabricación por inyección de plástico, más específicamente con la máquina de husillo. Este proceso de fabricación es uno de los más comunes en la actualidad.

El trabajo continúa con lo que es la parte más importante del mismo, en la que se ha demostrado cómo Inventor CAM es capaz de realizar los mecanizados de los moldes que necesitamos. Se ha mostrado cómo se puede realizar el mecanizado deseado con este programa, empleando estrategias de fresado en 3 ejes. Se ha demostrado que Inventor CAM es un software que puede ser utilizado por empresas que se dediquen a este tipo de mecanizados, de manera que tengan más opciones a la hora de seleccionar el software que deseen emplear.

También se ha podido comprobar cómo este programa se puede utilizar para la enseñanza de la tecnología CAM/CAD en la Universidad, ya que se han abordado todos los conceptos del plan de estudios al respecto de este tema. En la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid se dispone de este programa.

Por último, en líneas de trabajo futuras respecto a Inventor CAM, se le podría poner a prueba con otros tipos de procesos, como podrían ser mecanizado en 5 ejes, torneado, corte por láser, chorro de agua o plasma, ya que en este trabajo no hemos trabajado con ellos. Otra forma de comprobar las capacidades del programa sería trabajar con más módulos de Inventor e intentar realizar todo el proceso de fabricación de una pieza, realizando el diseño completo con el entorno CAD y más tarde realizar la fabricación con el



entorno CAM y, de este modo comprobar que se puede realizar el desarrollo completo con este software.

6.2. Conclusiones personales

Respecto al ámbito personal, este trabajo me ha ayudado a aprender cómo funciona Inventor CAM y a trabajar con él, ya que es un software que no conocía. Gracias a esto, ahora puedo operar con varios softwares para realizar tareas de mecanizado.

Tras el estudio realizado para este trabajo, me he dado cuenta de la importancia que tiene el dominio de este tipo de softwares para aplicarlos en los procesos de fabricación actuales y, por consiguiente, tener más fácil el acceso al mundo laboral en este tipo de industria.

7. Bibliografía

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.

Alonso Alonso, G. (2017). *Inyección y diseño de una pieza plástica*. Trabajo Fin de Grado. Valladolid: Universidad de Valladolid.

Arribillaga Elizburu, H. (2015). *Diseño y fabricación de un molde de inyección de plásticos mediante sistemas CAD/CAM*. Trabajo Fin de Grado. Pamplona: Universidad Pública de Navarra.

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

Albarrán Ligeró, J (2008). *Fundamentos del KBE (knowledge based engineering). Aplicación al diseño de engranajes de ejes paralelos con Catia V5*. Trabajo Fin de Estudios. Sevilla: E. T. S. I.
<https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/4483/>

Béjar Lagal, R, (2009). *PFC: Determinación de protocolos de modelado en Solid Edge V20 para la optimización del tamaño de ficheros .par*. Trabajo Fin de Estudios. Sevilla: E. S. I. S.
<https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/4645>

Grumeber.com (2020): *¿Qué es el mecanizado de aluminio? Características y técnicas*. Disponible en: <https://grumeber.com/mecanizado-aluminio>
[Consulta: 20 de mayo de 2024]

MakeltFrom.com (2020): *6061-T651 Aluminum*. Disponible en:
<https://www.makeitfrom.com/material-properties/6061-T651-Aluminum> [Consulta: 20 de mayo de 2024]

Coopermetal.com: *Aluminio 6061: propiedades, aplicaciones y principales sectores que lo utilizan*. Disponible en:
<https://www.coppermetal.com.br/es/blog/aluminio-6061/#:~:text=El%20aluminio%206061%20se%20utiliza,y%20a%20la%20reducción%20de%20emisiones>. [Consulta: 21 de mayo de 2024]

Bozquez, S. (2024): *Mecanizado de aluminio CNC: tendencias en producción de aluminio*. Disponible en: <https://www.installux-es.com/es/blog/mecanizado-de-aluminio-cnc-tendencias-en-produccion-de-aluminio> [Consulta: 21 de mayo de 2024]

Geddes, D. (2020): *The history of computer-aided design and computer-aided manufacturing (CAD/CAM)*. Disponible en: <https://technicalfoamservices.co.uk/blog/blog-history-of-cad-cam/> [Consulta: 20 de mayo de 2024]

Dodok, T., Čuboňová, N., Císar, M., Kuric, I., & Zajačko, I. (2017). *Utilization of Strategies to Generate and Optimize Machining Sequences in CAD/CAM*. *Procedia Engineering*, 192, 113–118. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2017.06.02> [Consulta: 25 de mayo de 2024]

3Dexperience Make: *Introducción al mecanizado CNC del aluminio*. Disponible en: <https://www.3ds.com/es/make/solutions/blog/aluminum-cnc-machining> [Consulta: 22 de mayo de 2024]

Mecyplastec: *Mecanizado de aluminio*. Disponible en: <https://mecyplastec.es/productos-y-aplicaciones/mecanizado-de-aluminio/> [Consulta: 22 de mayo de 2024]

Sutherland, I. E. (2003). *Sketchpad: a man-machine graphical communication system*. (Technical Report Number 574) University of Cambridge: Computer Laboratory. Disponible en: <https://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-574.pdf> [Consulta: 15 de mayo de 2024]

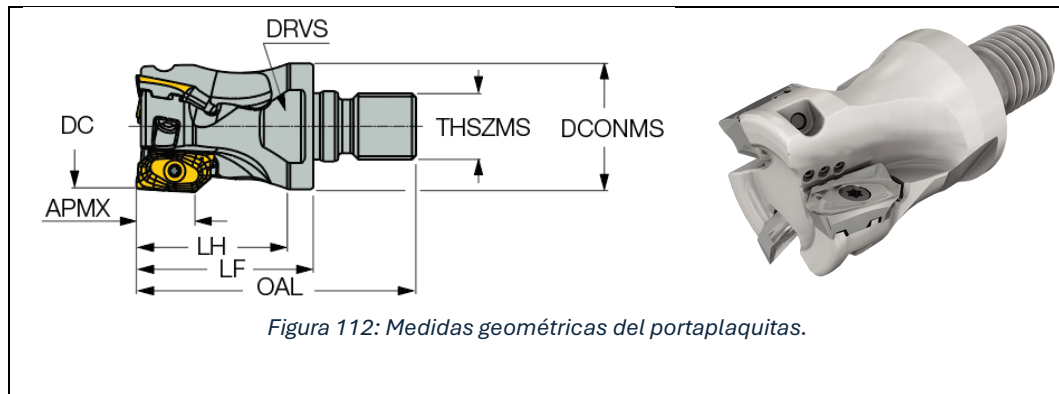
Autodesk (2024). *Ayuda de AUTODESK Inventor CAM*. Disponible en: <https://help.autodesk.com/view/INVCAM/2020/ESP/> [Consulta: 10 de mayo de 2024]

Beltrán, M. y Marcilla, A. *Tecnología de Polímeros*. TEMA 5. INYECCIÓN. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16980/1/TEMA5_Moldeo_por_inyecci_n.pdf [Consulta 20 de junio de 2024]

Anexo I. Herramientas de corte

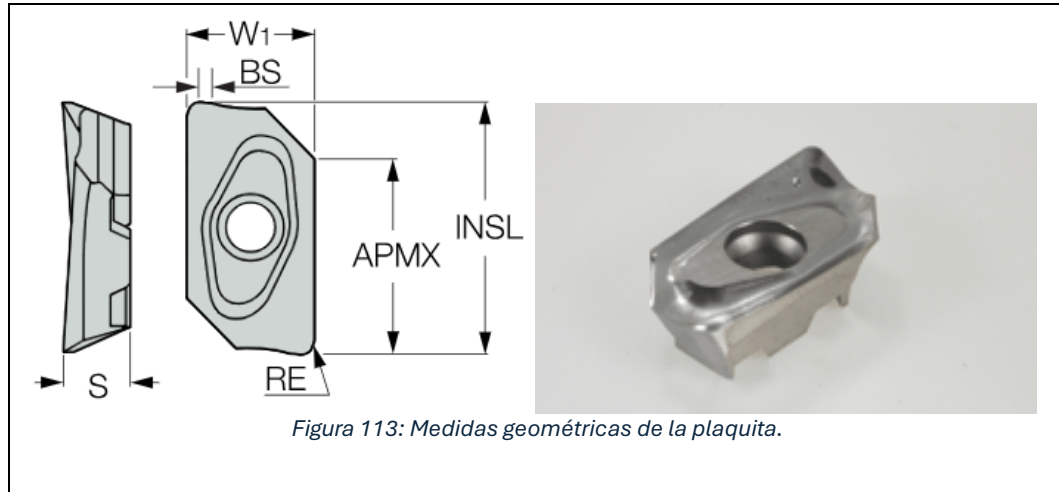
1. Fresa plana 32 mm

- Portaplaquitas



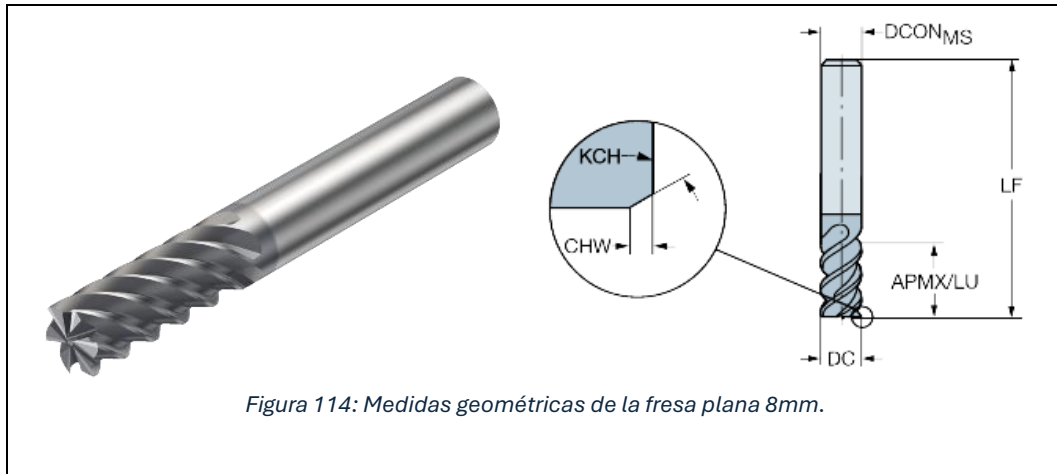
Fabricante	ISCAR
Código ISO	HM90 EAL D32-3-M16-15-JHP
Diámetro de corte (DC)	32 mm
Número de plaquitas (CICT)	3
Profundidad máxima de corte (APMX)	14 mm
Diámetro de conexión (DCONMS)	30,50 mm
Longitud de la cabeza (LH)	34,5 mm
Longitud funcional (LF)	41,9 mm
Longitud total (OAL)	66,9 mm
Ángulo de fresado en rampa máximo (RMPX)	13 deg
Máxima velocidad de rotación (RPMX)	31250 rev
Tamaño de arrastre (DRVS)	25,0 mm
Par de apriete (TW_3)	40 Nm
Peso	0,17 kg
Identificación del máster de la plaquita	HM90 AXCR 150504R
Precio	498,20 €

- **Plaquita**



Fabricante	ISCAR
Código ISO	HM90 AXCR 150508R-P
Ancho de la plaquita (W1)	10,00 mm
Radio de punta (RE)	0,8 mm
Profundidad máxima de corte (APMX)	14 mm
Longitud de la plaquita (INSL)	19,20 mm
Longitud de filo Wiper (BS)	1,55 mm
Espesor de la plaquita (S)	5,00 mm
Avance por diente mínimo (fz min)	0,1 mm
Avance por diente máximo (fz max)	0,20 mm
Precio	27,85 €

2. Fresa plana 8mm

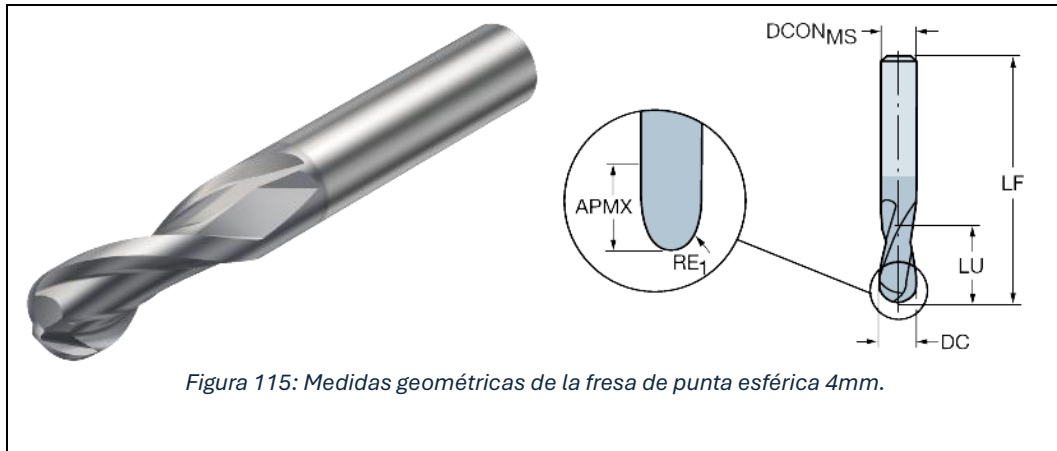


Fabricante	SANDVIK
Código ISO	R215.36-08050-AC19L 1620
Clasificación de material, nivel 1 (TMC1ISO)	P M K S
Diámetro de corte (DC)	8 mm
Contacto frontal de diámetro de corte (DCF)	7,8 mm
Chaflán en el vértice (KCH)	45 deg
Anchura de chaflán en el vértice (CHW)	0,1 mm
Profundidad de corte máxima (APMX)	19 mm
Longitud utilizable (LU)	19 mm
Número de filos efectivo periférico (ZEFP)	6
Ángulo máximo de progresión en rampa (RMPXFFW)	3 deg
Tolerancia de diámetro de conexión (TCDCON)	h6
Calidad (GRADE)	1620
Sustrato (SUBSTRATE)	HC
Diámetro de conexión (DCONMS)	8 mm
Longitud funcional (LF)	63 mm
Ángulo de hélice de desahogo (FHA)	50 deg
Ángulo de desprendimiento radial (GAMF)	10,5 deg



Ángulo de desprendimiento axial (GAMP)	13,5 deg
Peso del elemento (WT)	0,053 kg
Precio	138 €

3. Fresa para acabado de punta esférica 4 mm

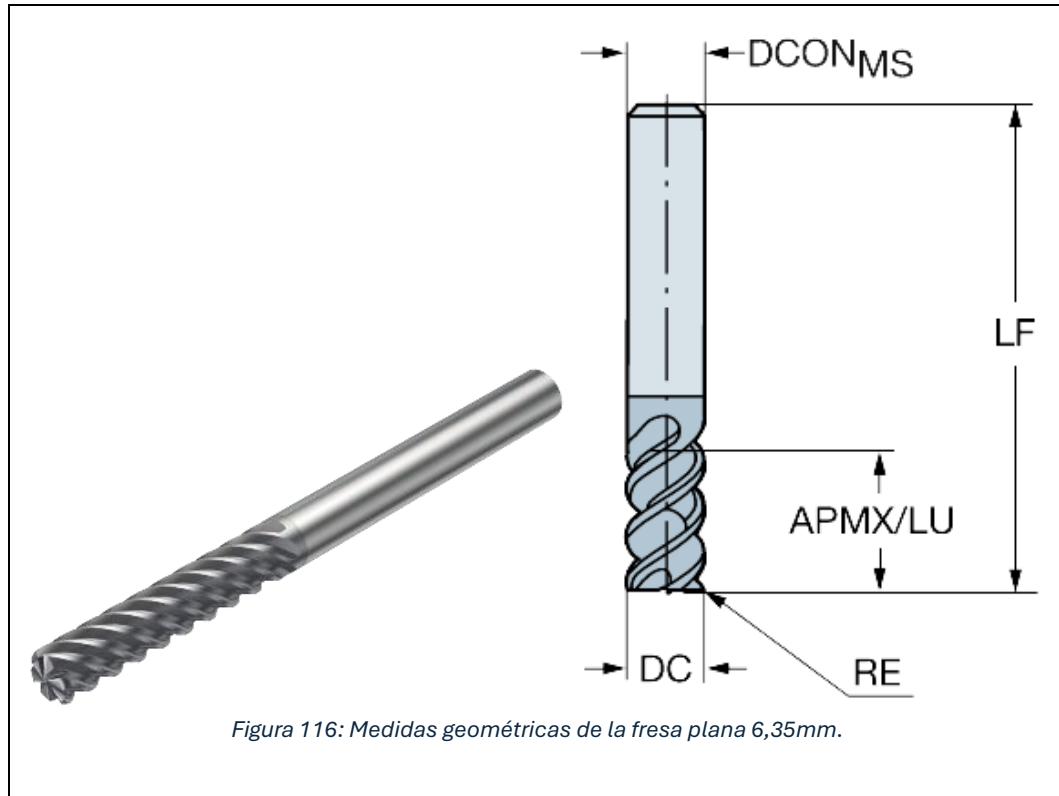


Fabricante	SANDVIK
Código ISO	1B230-0400-XA 1630
Clasificación de material, nivel 1 (TMC1ISO)	P M K S
Diámetro de corte (DC)	4 mm
Radio de punta (RE)	2 mm
Profundidad de corte máxima (APMXFFW)	8 mm
Longitud utilizable (LU)	7.8 mm
Número de filos efectivo periférico (ZEFP)	2
Tolerancia de diámetro de conexión (TCDCON)	h6
Calidad (GRADE)	1630
Sustrato (SUBSTRATE)	HW
Ángulo máximo de progresión en rampa (RMPX)	15 deg
Longitud funcional (LF)	57 mm
Diámetro de conexión (DCONMS)	6 mm
Longitud del cuerpo (LB)	17 mm
Ángulo hélice de desahogo (FHA)	30 deg
Ángulo de desprendimiento radial (GAMF)	10,5 deg
Ángulo de desprendimiento axial (GAMP)	1,5 deg



Peso del elemento (WT)	0,022 kg
Precio	64,9 €

4. Fresa plana para acabado 6,35 mm

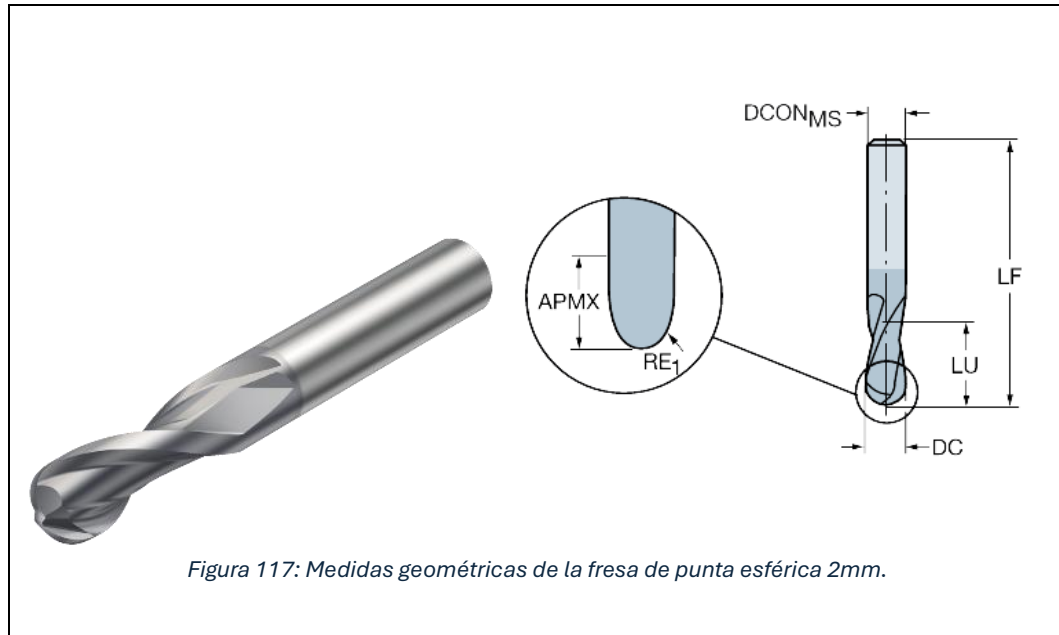


Fabricante	SANDVIK
Código ISO	RA215.26-1650AAK12L 1620
Clasificación de material, nivel 1 (TMC1ISO)	P M K S
Diámetro de corte (DC)	6,35 mm
Contacto frontal de diámetro de corte (DCF)	5,556 mm
Chafilán en el vértice (KCH)	45 deg
Radio de punta (RE)	0,397 mm
Profundidad de corte máxima (APMX)	19,05 mm
Longitud utilizable (LU)	19,05 mm
Número de filos efectivo periférico (ZEFP)	6
Ángulo máximo de progresión en rampa (RMPXFFW)	3 deg
Tolerancia de diámetro de conexión (TCDCON)	h6
Calidad (GRADE)	1620



Sustrato (SUBSTRATE)	HC
Diámetro de conexión (DCONMS)	6,35 mm
Longitud funcional (LF)	76,2 mm
Ángulo de hélice de desahogo (FHA)	50 deg
Ángulo de desprendimiento radial (GAMF)	10,5 deg
Ángulo de desprendimiento axial (GAMP)	13,5 deg
Peso del elemento (WT)	0,0351 kg
Precio	131 €

5. Fresa de punta esférica 2 mm para perfilado



Fabricante	SANDVIK
Código ISO	1B230-0200-XA 1630
Clasificación de material, nivel 1 (TMC1ISO)	P M K S
Diámetro de corte (DC)	2 mm
Radio de punta (RE)	1 mm
Profundidad de corte máxima (APMXFFW)	6 mm
Longitud utilizable (LU)	6 mm
Número de filos efectivo periférico (ZEFP)	2
Tolerancia de diámetro de conexión (TCDON)	h6
Calidad (GRADE)	1630
Sustrato (SUBSTRATE)	HW
Ángulo máximo de progresión en rampa (RMPX)	15 deg
Longitud funcional (LF)	38 mm
Diámetro de conexión (DCONMS)	3 mm
Longitud del cuerpo (LB)	10 mm



Ángulo hélice de desahogo (FHA)	30 deg
Ángulo de desprendimiento radial (GAMF)	10,5 deg
Ángulo de desprendimiento axial (GAMP)	1,5 deg
Peso del elemento (WT)	0,0036 kg
Precio	58,30 €