



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**Modelado y verificación del  
funcionamiento de una fresadora de tres  
ejes con Mastercam**

**Autor:**

**Martín Montero, Luis**

**Tutor:**

**Delgado Urrecho, Javier**

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

**Valladolid, diciembre de 2020**





## Resumen:

Debido a la complejidad en los sistemas de fabricación, el ser humano ha buscado realizar simulaciones previas a todo proceso industrial con el fin de anticiparse a futuros problemas, todo esto se ha incrementado debido a la introducción de ordenadores cada vez más potentes en el ámbito laboral.

Dentro de dichas simulaciones, generalmente los programas de ayuda a la fabricación se centran exclusivamente en la pieza a fabricar, pero es importante también tener presente la geometría de la propia máquina y sus herramientas, teniendo en cuenta las partes móviles de la misma a fin de evitar colisiones.

En este trabajo se ha implementado en Mastercam 2020 Demo-HLE la geometría de la fresadora A-16 de Nicolás Correa presente en el taller de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid, indicando los pasos a seguir para su puesta a punto con el fin de realizar cualquier simulación virtual posterior.

## Palabras Clave:

MASTERCAM, SIMULACIÓN, FRESADORA, CNC, MODELADO.



## Abstract:

Due to the complexity in manufacturing systems, humans are looking to do simulations in any industrial process in order to anticipate future problems, this situation has increased with the introduction of increasingly powerful computers in the workplace.

Within these simulations, generally the manufacturing aid programs are focused exclusively on the part to be manufactured, but it is also important to consider the geometry of the machine itself and its tools, taking into account its moving parts in order to avoid collisions.

In this work, the geometry of the A-16 milling machine by Nicolás Correa present in the workshop of the School of Industrial Engineering of the University of Valladolid has been implemented in Mastercam 2020 Demo-HLE, showing the steps to follow for its fine-tuning to do any virtual simulation required.

## Keywords:

MASTERCAM, SIMULATION, MILLING MACHINE, CNC, MODELING.



## ÍNDICE

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>11</b>
1.1. Introducción .....	11
1.2. Justificación .....	11
1.3. Objetivos .....	12
1.4. Estructura del trabajo .....	12
<b>Capítulo 2. Conceptos Previos, Historia y Fresadoras .....</b>	<b>13</b>
2.1. Máquinas fresadoras .....	13
2.2. Tipo de fresadora .....	14
2.3. Historia de la marca .....	16
2.3.1. COMPROMISO CON EL MEDIO AMBIENTE .....	17
Certificado Eco-Máquina .....	17
2.3.2. I+D+i .....	18
Ingeniería de Aplicaciones .....	18
2.3.3. SERVICIOS .....	18
2.4. Modelado. Partes modeladas .....	19
2.4.1. CUERPO PRINCIPAL .....	20
2.4.2. MESA .....	20
2.4.3. PORTA-CARNERO .....	21
2.4.4. CARNERO .....	22
2.4.5. PUERTAS .....	22
2.4.6. BRAZO Y PANEL DE CONTROL .....	23
2.4.7. SISTEMAS DE SUJECIÓN .....	24
2.4.8. RESULTADO FINAL .....	24
2.5. SISTEMAS CAD/CAM .....	26
2.5.1. SISTEMAS CAD .....	27
2.5.2. SISTEMAS CAM .....	28



2.6. Control numérico .....	28
2.6.1. LENGUAJE APT (Automatically Programmed Tool) .....	29
2.6.2. LENGUAJE ISO .....	30
2.6.3. LENGUAJE Heidenhain .....	31
<b>Capítulo 3. Mastercam .....</b>	<b>32</b>
3.1. Introducción a Mastercam 2020 .....	32
3.1.1. UNIDADES SISTEMA INTERNACIONAL .....	34
3.1.2. PROCESO DE DISEÑO .....	35
3.1.3. PROCESO DE FABRICACIÓN .....	37
3.1.4. PROCESO VERIFICACIÓN .....	53
3.2. Simulación centro de mecanizado Fresadora 3 ejes A-16 de Nicolás Correa .....	56
3.2.1. PASOS PREVIOS .....	56
3.2.2. IMPORTACIÓN DE LA FRESADORA EN MASTERCAM .....	58
3.2.3. SIMULACIÓN EN MASTERCAM .....	62
3.2.4. CARGA Y COMPATIBILIDAD DE ELEMENTOS EXTERNOS DE FIJACIÓN .....	71
3.2.5. SIMULACIÓN FRESADO .....	75
3.3. Repercusiones en seguridad .....	85
<b>Capítulo 4. Conclusiones y mejoras futuras .....</b>	<b>87</b>
4.1. Conclusiones.....	87
4.2. Mejoras futuras.....	88
<b>Bibliografía y Webgrafía .....</b>	<b>89</b>
Bibliografía .....	89
Webgrafía .....	91



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Fresadora de Eli Whitney 1818 [2] .....	14
Figura 2.2: Esquema Fresadora 3 Ejes [3].....	14
Figura 2.3: Fresadora A-16 Nicolás Correa [1].....	16
Figura 2.4: Cuerpo Principal .....	20
Figura 2.5: Mesa.....	21
Figura 2.6: Porta-Carnero .....	21
Figura 2.7: Carnero.....	22
Figura 2.8: Portaherramientas ISO 50 .....	22
Figura 2.9: Puertas .....	23
Figura 2.10: Brazo y Panel de control .....	23
Figura 2.11: Mordaza [4].....	24
Figura 2.12: Bridas de Sujeción [4].....	24
Figura 2.13: Fresadora Modelada Completa .....	25
Figura 2.14: Fresadora Real.....	25
Figura 2.15: Esquema en sistemas CAD/CAM [5] .....	27
Figura 2.16: Código APT [6].....	30
Figura 2.17: Código ISO [7] .....	31
Figura 3.1: Menú principal.....	34
Figura 3.2: Configuración .....	34
Figura 3.3: Sistema de Unidades .....	35
Figura 3.4: Ventana Vista .....	35
Figura 3.5: Ventana Sólidos.....	36
Figura 3.6: Dibujo 2D.....	36
Figura 3.7: Extruir .....	37
Figura 3.8: Apariencia.....	37
Figura 3.9: Ventana Máquina .....	38



Figura 3.10: Vista Trayectorias.....	38
Figura 3.11: Ventana Trayectorias .....	38
Figura 3.12: Propiedades Fresadora.....	39
Figura 3.13: Propiedades Configuración Herramientas.....	40
Figura 3.14: Propiedades Material.....	41
Figura 3.15: Configuración Trayectoria .....	42
Figura 3.16: Material en Bruto .....	43
Figura 3.17: Pieza y Material Bruto 3D .....	43
Figura 3.18: Planos de trabajo .....	44
Figura 3.19: Operaciones de Fresado .....	44
Figura 3.20: Planear .....	45
Figura 3.21: Corte en Profundidad .....	45
Figura 3.22: Parámetros de Vinculación .....	46
Figura 3.23: Cajera .....	47
Figura 3.24: Parámetros de Corte .....	47
Figura 3.25: Taladrado .....	48
Figura 3.26: Herramienta Taladrado .....	49
Figura 3.27: Broca .....	49
Figura 3.28: Propiedades Herramienta.....	50
Figura 3.29: Trayectoria Taladrado .....	50
Figura 3.30: Parámetros de Corte.....	51
Figura 3.31: Trayectorias 3D .....	52
Figura 3.32: Árbol de Trayectorias.....	53
Figura 3.33: Verificación de Trayectorias.....	54
Figura 3.34: Simulación Inicial .....	54
Figura 3.35: Simulación Final.....	55
Figura 3.36: Ventana Verificar.....	55
Figura 3.37: Post-procesado .....	56





Figura 3.38: Definición de Máquina .....	57
Figura 3.39: Ejes referencia Fresadora .....	57
Figura 3.40: Combinar .....	58
Figura 3.41: Ventana Transformar .....	59
Figura 3.42: Fresadora en Mastercam .....	59
Figura 3.43: Cambiar Capa.....	60
Figura 3.44: Capas .....	61
Figura 3.45: Vista Isométrica.....	61
Figura 3.46: Vista Frontal .....	62
Figura 3.47: Simulación de Máquina .....	63
Figura 3.48: Opciones Simulación de Máquina .....	64
Figura 3.49: Opciones Simulación Definición de Máquina .....	64
Figura 3.50: Ventana Simular.....	65
Figura 3.51: Simulación Vista.....	65
Figura 3.52: Simular Nueva Máquina .....	66
Figura 3.53: Simular Nueva Máquina 2 .....	66
Figura 3.54: Simulación Fresadora A-16.....	67
Figura 3.55: Simulación Árbol Fresadora A-16 .....	68
Figura 3.56: Colisiones.....	69
Figura 3.57: Control de Ejes y Valores.....	69
Figura 3.58: Opciones de Simulación Propiedades .....	70
Figura 3.59: Opciones de Simulación Gráficos .....	70
Figura 3.60: Selección Fresadora Simulación.....	71
Figura 3.61: Comando Curvas.....	72
Figura 3.62: Desplazar Mordaza .....	72
Figura 3.63: Mesa con Mordaza.....	73
Figura 3.64: Fresadora con Mordaza .....	73
Figura 3.65: Opciones Simulación Máquina Fijación .....	74



Figura 3.66: Opciones Simulación Máquina M. bruto y Tolerancias.....	74
Figura 3.67: Simulación de Fresado .....	75
Figura 3.68: Simulación pieza final .....	76
Figura 3.69: Árbol operaciones simulación .....	77
Figura 3.70: Geometría fresa plana .....	78
Figura 3.71: Cambio de herramienta .....	79
Figura 3.72: Colisión pieza herramienta .....	80
Figura 3.73: Colisión herramienta mordaza.....	81
Figura 3.74: Fresa contorno .....	82
Figura 3.75: Trayectorias fresado contorno .....	83
Figura 3.76: Simulación final fresado .....	83



# Capítulo 1. Introducción

## 1.1. Introducción

En el presente trabajo de fin de grado se va a introducir brevemente los aspectos más importantes acerca de la historia del fresado como herramienta en la fabricación, desde los inicios hasta la actualidad, para ser conscientes del punto en el que nos encontramos en dicha técnica. Se presentarán también las bases sobre las que se apoya el fresado de control numérico asistido por ordenador, que es la técnica de fabricación con la que vamos a trabajar, así como los programas auxiliares de diseño y fabricación por ordenador actuales necesarios para hacer un análisis completo en una operación de fresado CNC.

Por otro lado, se presenta una guía paso a paso para la implementación de una fresadora de control numérico, concretamente la fresadora A-16 de Nicolás Correa presente en el taller de fabricación de la escuela, para poder configurar correctamente el modelo 3D en el programa de ingeniería y fabricación asistida por ordenador Mastercam 2020 Demo-HLE, además de unas nociones básicas de dicho programa en el módulo de fresado y diseño.

## 1.2. Justificación

Debido al reciente uso de Mastercam por parte de la Escuela de Ingenierías Industriales de Valladolid, y más concretamente de la versión Mastercam 2020 Demo-HLE, y teniendo ya realizado el modelado de la fresadora A-16 de Nicolás Correa mediante Catia v5 por David García López en un TFG anterior, se ha realizado este estudio sobre el módulo de fresado y más concretamente la simulación de esta fresadora modelada en CAD para implementar la máquina herramienta en dicho programa y poder hacer un estudio de la misma. De la misma manera el fin de este trabajo es servir de guía práctica para el resto de los alumnos de la escuela de manera que ellos mismos puedan operar sobre dicha fresadora virtual y posteriormente puedan ver de manera física operar la misma fresadora en el taller de la escuela y mejore su aprendizaje sobre los procesos de fabricación CNC. Por otra parte, dicho estudio sirve también para que el profesorado del departamento de ingeniería de los procesos de fabricación sea consciente de las posibilidades y limitaciones de dicha versión del programa enfocada hacia la educación.



## 1.3. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es implementar la fresadora A-16 de Nicolás Correa presente en el taller de fabricación de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid, en el programa de simulación del mecanizado Mastercam, y específicamente en la versión para estudiantes Mastercam 2020 Demo-HLE, para realizar un análisis 3D en un espacio virtual mediante la simulación de un proceso de fresado con el fin de optimizar y verificar la seguridad de todas las partes (pieza, máquina, operario) para realizarlo posteriormente en el taller.

Por otro lado, este trabajo busca dar unas pequeñas nociones básicas del uso de Mastercam para el fresado de diferentes geometrías importadas desde Catia de la misma manera que se realiza en la escuela, con el fin de crear las trayectorias de corte y verificar dichos desplazamientos.

## 1.4. Estructura del trabajo

Este trabajo está dividido en tres capítulos donde el capítulo 1 se centra en la introducción del estudio realizado, en el capítulo 2 se introducen unos ciertos conceptos acerca del fresado en control numérico, los programas dedicados a ello, la historia del fresado y las fresadoras. Y además se presenta la fresadora A-16 de Nicolás Correa, con todas sus partes, que es la fresadora sobre la que hacemos el estudio.

Finalmente, en el capítulo 3 nos centramos en el uso de Mastercam, y más concretamente en el módulo de simulación en el que trabajaremos con el modelo de nuestra fresadora, mostrando todas las opciones y creando una guía paso a paso para poder cargar esta fresadora, o cualquier otra, modelada previamente en un programa CAD, como puede ser Catia.



# Capítulo 2. Conceptos Previos, Historia y Fresadoras.

## 2.1. Máquinas fresadoras

La producción y fabricación de objetos o piezas ha ido evolucionado durante el paso de los años, desde una producción completamente manual durante la prehistoria poco a poco se han ido introduciendo avances como la utilización de fuerza animal o hidráulica para operar las herramientas, mejora en los materiales o automatización de los procesos repetitivos, pero la principal revolución vino de la mano de la máquina de vapor de James Watt en 1765 y la revolución industrial, pues los motores de vapor con mecanismo biela manivela fueron muy usados en estas primeras máquinas y era necesario fabricar piezas cada vez más precisas y con índices de tolerancia cada vez más bajos, por lo que en unos pocos años estos métodos de fabricación avanzaron muchísimo.

Se toma la fresadora de Eli Whitney de 1818 como la primera fresadora moderna y a partir de la cual derivaron el resto, la principal diferencia con sus predecesoras era la automatización del proceso y la repetibilidad de dimensiones en las piezas a fabricar, ya que en las anteriores había muchas diferencias en dimensiones y tolerancias y no se podía implementar en una cadena de montaje, o sustituir unas piezas por otras en diferentes modelos por lo que difícilmente las piezas podían estar normalizadas.

En el año 1861 se llevó a cabo otro avance muy importante como fue la creación de la primera fresadora con plato divisor que permitía desplazamientos longitudinal, transversal y vertical (ejes X, Y, Z) muy útil sobre todo a la hora de fabricar engranajes helicoidales.

El avance en el estudio de los materiales permitió avanzar mucho en las tolerancias obtenidas y calidades superficiales, la introducción del carburo de silicio (SiC) mejoró la calidad del corte, la vida útil de la herramienta, y disminuyó la potencia empleada, los tiempos de corte y por tanto de fabricación y permitió trabajar con otros tipos de acero más duros.

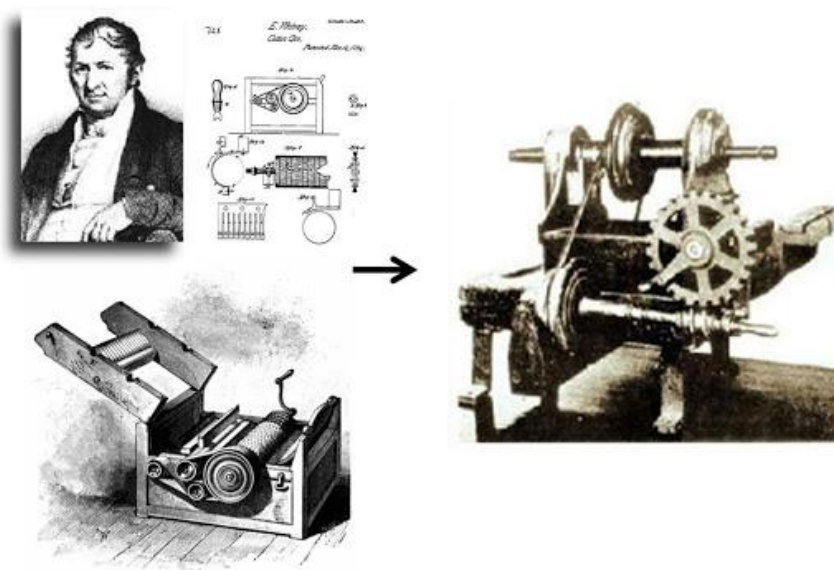


Figura 2.1: Fresadora de Eli Whitney 1818 [2]

## 2.2. Tipo de fresadora

La fresadora sobre la que vamos a trabajar es el modelo A-16 del fabricante Nicolás Correa SA, del año 1989 con número de serie 9682303, que es la fresadora ubicada en el taller de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid (Uva). Es una máquina fresadora universal CNC de 3 ejes con bancada fija.

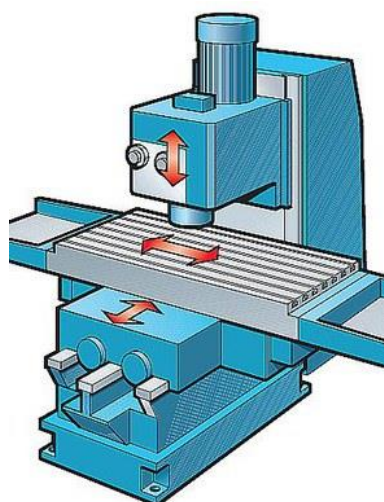


Figura 2.2: Esquema Fresadora 3 Ejes [3]



La potencia máxima de la máquina es de 12 kW (19 kW brutos) conectada a una toma de corriente de 380V a 50Hz de frecuencia. Con un rectificador de corriente para el motor eléctrico de corriente continua que gobierna un cabezal de doble mandrino, dicho cabezal puede girar entre 25 y 3250 rpm todo ello controlado automáticamente por un sistema hidráulico por control numérico.

Se trata de una fresadora de tres ejes (X, Y, Z) donde la mesa consta de tres motores de corriente continua que mediante unos husillos de bolas (para eliminar holguras) posicionan la pieza para su fabricación.

Para el desplazamiento vertical se dispone de un acumulador con nitrógeno que a su vez funciona como freno de seguridad si es accionado el botón de parada de emergencia o la máquina pierde corriente repentinamente.

El lenguaje de control numérico utilizado es el Heidenhain TNC-355. Los avances de máquina son de entre 5 y 5000 mm/min para avances de trabajo y un máximo de 8000 mm/min para avances rápidos.

Los desplazamientos máximos son de 1800 mm en el eje "X" (longitudinal) y 800 mm tanto para el eje "Y" (transversal) como el eje "Z" (vertical)

La mesa tiene unas dimensiones de 2000 x 630 mm con seis ranuras en forma de T invertida de 18 mm espaciadas entre sí una distancia de 80 mm. El peso total de la máquina es de 7500 kg. Las dimensiones totales de la máquina son de 4920 x 2714 x 2417 mm.

En la figura 2.7 se muestra la fresadora Correa A-16 en catálogo, aunque la fresadora de la Escuela de Ingenierías Industriales de Valladolid cuenta con unas puertas de seguridad que se añadieron posteriormente para evitar las proyecciones de viruta, así como invadir ocasionalmente el espacio de trabajo de la máquina.



Figura 2.3: Fresadora A-16 Nicolás Correa [1]

## 2.3. Historia de la marca

Nicolás Correa S.A., es una empresa con sede y fabricación en Burgos. Fundada en 1947, es la sociedad matriz del Grupo Nicolás Correa.

Con más de 800 máquinas puente y más de 600 máquinas de columna móvil instaladas en todo el mundo, se constituye como uno de los líderes europeos en soluciones de fresado, perfectamente adaptadas a los entornos productivos más exigentes, como el energético, automoción, aeroespacial y ferroviario.

En la actualidad, Nicolás Correa exporta en torno al 90% de su producción a más de 20 países. Para ello, cuenta con una amplia red de distribuidores y filiales comerciales que posibilitan un contacto directo y personalizado con el cliente.

Su misión es en primer lugar contribuir al éxito de sus clientes, con atención personalizada tanto en el desarrollo de la máquina como en la utilización de esta, y a su vez ser una empresa rentable siendo referente en servicio, calidad, innovación y tecnología. Por ello, según indican en su web (<https://www.nicolascorrea.com/es>), sus valores son:

- Orientación al cliente para lograr su satisfacción como principal objetivo estratégico de la empresa. Trabajar de forma profesional y constante en proporcionar las mejores soluciones con la máxima agilidad de respuesta.





- Compromiso con el proyecto empresarial, para hacer que su misión y visión sean una realidad.
- Trabajo en equipo para fomentar la participación y el intercambio de ideas aprovechando al máximo la diversidad de conocimientos.
- Iniciativa para adelantarse en la búsqueda de nuevas soluciones y su implementación.
- Honestidad como herramienta fundamental para generar confianza y credibilidad en el trabajo desarrollado y en la propia organización.
- Responsabilidad Social para contribuir a la mejora del entorno.

### 2.3.1. COMPROMISO CON EL MEDIO AMBIENTE

Otro objetivo muy importante para la máquina se basa en su compromiso con el medio ambiente, así como asegurar la sostenibilidad de su empresa reduciendo en todo lo posible las emisiones contaminantes y buscando una fabricación más limpia y respetuosa con la naturaleza, por ello se han marcado unos objetivos generales:

#### Objetivos Generales:

- Cumplir con la Normativa Ambiental
- Establecer Objetivos Ambientales
- Mantener la Certificación ISO 14001
- Proteger el medio ambiente
- Prevenir la contaminación

Para conseguir esto la empresa se centra en los cinco principales problemas contaminantes en este tipo de empresa, y una hoja de ruta muy clara para hacerles frente.

- Consumo Energía Eléctrica
- Residuos Peligrosos
- Residuos No Peligrosos
- Consumo Agua
- Huella de Carbono

#### Certificado Eco-Máquina

Un objetivo fundamental para la empresa es seguir renovando cada año todos los certificados que acreditan este esfuerzo por avanzar en la sostenibilidad energética, por ello introducen diversas mejoras tales como:

- **Función Stand-By:** Si la fresadora, estando encendida, no se utiliza durante un tiempo determinado (éste puede ser configurado) la



máquina entra en un estado de reposo en el cual reduce su consumo energético al mínimo. Esto permite reducir un 15% el consumo de energía debido a tiempos muertos.

- **Función de Auto Apagado:** Puede programarse el auto apagado de la máquina, función muy útil en aquellos talleres que trabajan con la máquina desasistida en los turnos nocturnos. De ese modo se garantiza que la máquina solo estará consumiendo energía cuando esté fabricando piezas.

### 2.3.2. I+D+i

Otro objetivo importante en la marca es la inversión en investigación y desarrollo tecnológico pues es fundamental en este sector estar siempre en la vanguardia de la técnica a fin de ser una empresa competitiva con el resto.

Del mismo modo la empresa busca satisfacer las demandas personales de cada cliente, por lo que el departamento de I+D+i mediante diferentes programas busca una retroalimentación en continuo contacto con las empresas de destino de sus máquinas para así continuar mejorando cada día en un trato más personal y ajustándose a cada situación con sus clientes.

### Ingeniería de Aplicaciones

Nicolás Correa cuenta con un departamento de aplicaciones formado por especialistas con amplia experiencia en el mecanizado de piezas de diferentes sectores.

- Amarre de piezas
- Programación en CNC, Heidenhain i530, i640 y Siemens 840D
- Selección de herramientas de corte
- Programación CAM 3, 3+2 y 5 ejes

### 2.3.3. SERVICIOS

Entre los servicios post venta que ofrece la empresa Nicolás Correa se encuentran:

- **Configuración de la máquina adecuada.** El equipo de aplicaciones analiza las piezas a mecanizar, configurando la máquina adecuada, así como sus cabezales y accesorios.



- **Estudio de tiempos.** Se elabora un estudio de tiempo de mecanizado para una pieza dada. Especificando las condiciones de corte y la herramienta en cada operación.
- **Pruebas de mecanizado.** Se ejecutan pruebas de mecanizado tanto aquellas que están estandarizadas como a petición del cliente para evaluar diferentes comportamientos de la máquina.
- **Formación.** Realizando formaciones en casa de cliente de CNC Heidenhain i530, Heidenhain i640 y Siemens 840D.
- **Programación paramétrica.**
- **Ciclos a medida.**
- **Utilización de sondas de palpación y Generación de informes.**
- **Funciones de plano inclinado y RTCP.**
- **Formaciones a medida del cliente.**

## 2.4. Modelado. Partes modeladas

Las piezas modeladas fueron realizadas por David García López, durante su TFG en la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid (Uva) y presentado en la misma escuela en junio de 2016, en el cual se modeló en Catia v5 cada parte por separado de la fresadora CNC modelo A-16 de la empresa Nicolás Correa presente en el taller de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad Valladolid, y posteriormente se realizó el ensamblaje de la máquina completa en un espacio virtual 3D lo cual nos permite apreciar realmente las dimensiones de dicha máquina, los desplazamientos de las partes móviles así como la distribución en planta de la misma para poder asegurar todas las medidas de prevención de accidentes, espacios de paso para empleados y medidas mínimas de pasillos para prevención de incendios.

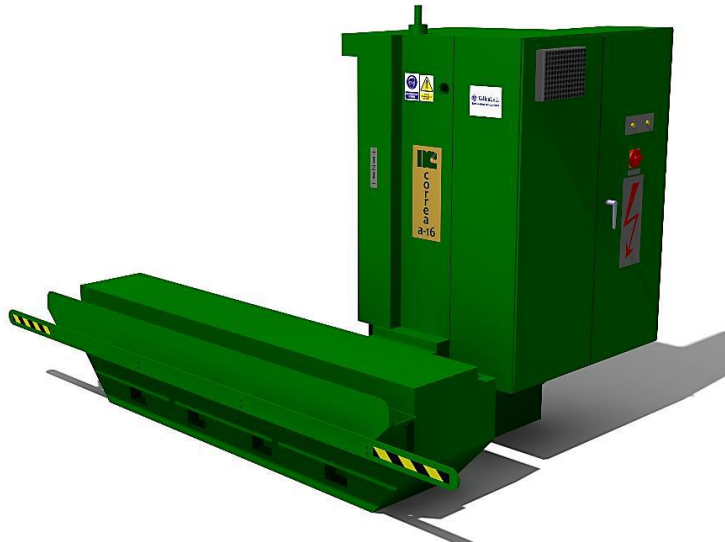
Para este estudio, en el cual nos centraremos únicamente en el funcionamiento de Mastercam 2020, tomamos de base la fresadora ya modelada previamente en Catia v5, pero cabe señalar la necesidad del modelado 3D de cada parte de la máquina si no se dispone de ellas en una biblioteca dadas por el fabricante o perteneciente a otro estudio anterior. En nuestro caso y debido a la versión utilizada (Mastercam 2020 Demo-HLE) hemos tenido que modificar el formato de los archivos obtenidos en Catia “.part” a un formato “.stp” que guarda únicamente la geometría 3D de cada pieza a fin de que sea legible por nuestro software, mediante el programa de conversión de formatos Inventor, aunque en la versión completa de Mastercam no sería necesario pues permite la compatibilidad de formatos procedentes de Catia a Mastercam.

Dichas partes son: Cuerpo Principal, Mesa, Porta-Carnero, Carnero, Puertas, Brazo y Panel de Control y Sistemas de Sujeción.

### 2.4.1. CUERPO PRINCIPAL

Es la parte más voluminosa de toda la máquina herramienta, y está formado por la base, la columna vertical, la guía corredera y el canalón para la evacuación de la taladrina, y aunque el modelado es bastante fiel a la máquina real la parte trasera se ha simplificado respetando únicamente las dimensiones importantes y obviando los detalles.

En la zona lateral de la columna se ubican los 2 carriles para el movimiento del portacarnero, las dimensiones totales son de 2000 x 2714 x 2417 mm.

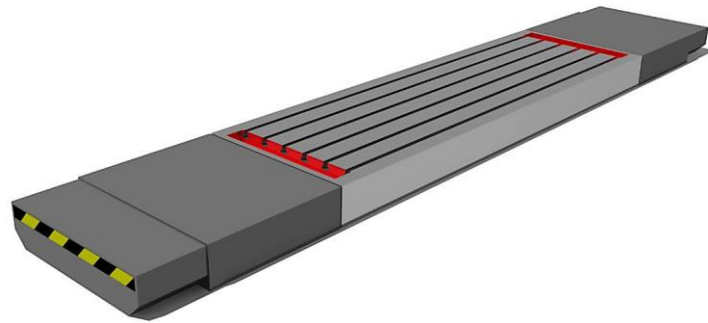


*Figura 2.4: Cuerpo Principal*

### 2.4.2. MESA

La mesa consta de varias partes, la superior dónde se apoya la pieza a mecanizar compuesta por 6 ranuras en forma de T de 8x16mm distanciadas 98mm entre ellas, y la parte inferior compuesta por un tornillo sin fin para el movimiento longitudinal, pero para el caso del estudio se han obviado mecanismos internos y geometrías complejas internas.

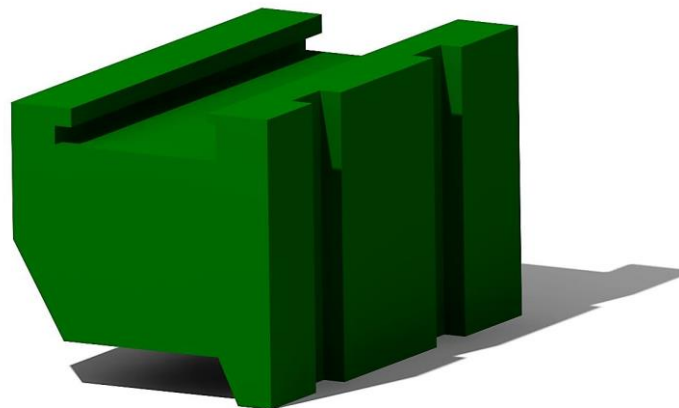
Las dimensiones son de 2000 x 630 mm. En la figura 2.9 se puede observar la mesa renderizada:



*Figura 2.5: Mesa*

### **2.4.3. PORTA-CARNERO**

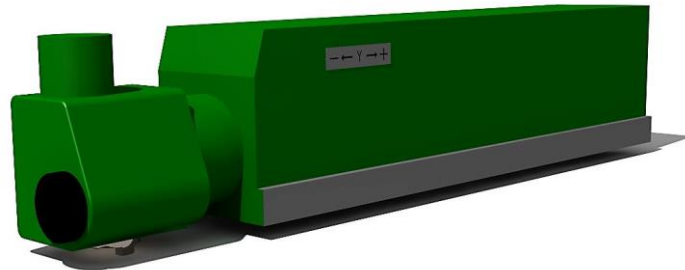
Es la parte de la máquina que realiza el desplazamiento vertical sobre los carriles de la columna, y a su vez soporta el movimiento transversal del carnero. En el modelado de esta pieza se ha simplificado bastante pues no es fundamental para el funcionamiento.



*Figura 2.6: Porta-Carnero*

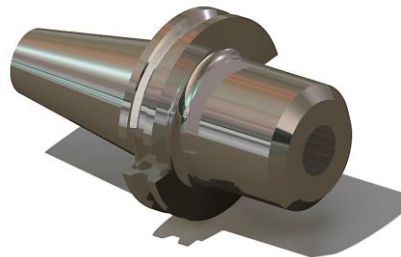
#### 2.4.4. CARNERO

Es la parte de la máquina herramienta que contiene el husillo principal y portaherramientas, y la encargada del movimiento transversal. A continuación, se muestra el carnero.



*Figura 2.7: Carnero*

Por otro lado, se encuentra el portaherramientas con conicidad ISO 50, mediante el cual acoplamos las herramientas de corte al carnero.



*Figura 2.8: Portaherramientas ISO 50*

#### 2.4.5. PUERTAS

Su función en la máquina es proteger a la persona que opere la máquina o a cualquier trabajador del taller de posibles proyecciones de viruta durante el proceso de fresado.



Figura 2.9: Puertas

#### 2.4.6. BRAZO Y PANEL DE CONTROL

Se trata de la parte sobre la cual el operario controla la máquina, consta de un brazo móvil y un panel de control como se muestra en la figura 2.14:

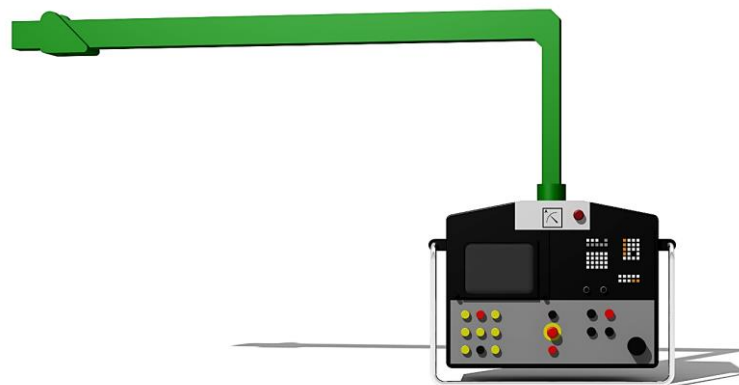


Figura 2.10: Brazo y Panel de control

### 2.4.7. SISTEMAS DE SUJECCIÓN

Se han colocado sobre la mesa una mordaza acorde a las dimensiones de las piezas que se suelen fabricar a fin de fijar dicha pieza perfectamente a la misma durante su fabricación.

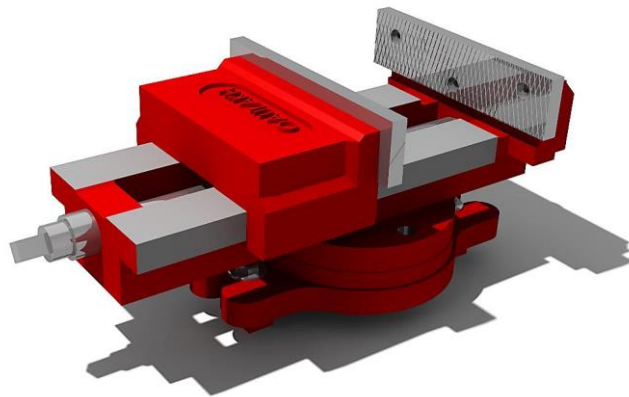


Figura 2.11: Mordaza [4]

De la misma manera dependiendo de la pieza a fabricar y su geometría, se puede recurrir a unas bridas de sujeción para la mecanización.

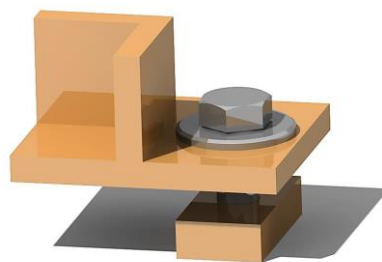


Figura 2.12: Bridas de Sujeción [4]

### 2.4.8. RESULTADO FINAL

Finalmente obtenemos el resultado final ya ensamblado, en la figura 2.17 podemos apreciar el modelo virtual renderizado simulado en Catia v5 con todos



sus componentes y podemos compararlo con una foto de la máquina real situada en el taller de fabricación de la escuela figura 2.18.



*Figura 2.13: Fresadora Modelada Completa*



*Figura 2.14: Fresadora Real*



## 2.5. SISTEMAS CAD/CAM

**Computer-Aided Design (CAD):** diseño asistido por ordenador.

**Computer-Aided Manufacturing (CAM):** fabricación asistida por ordenador.

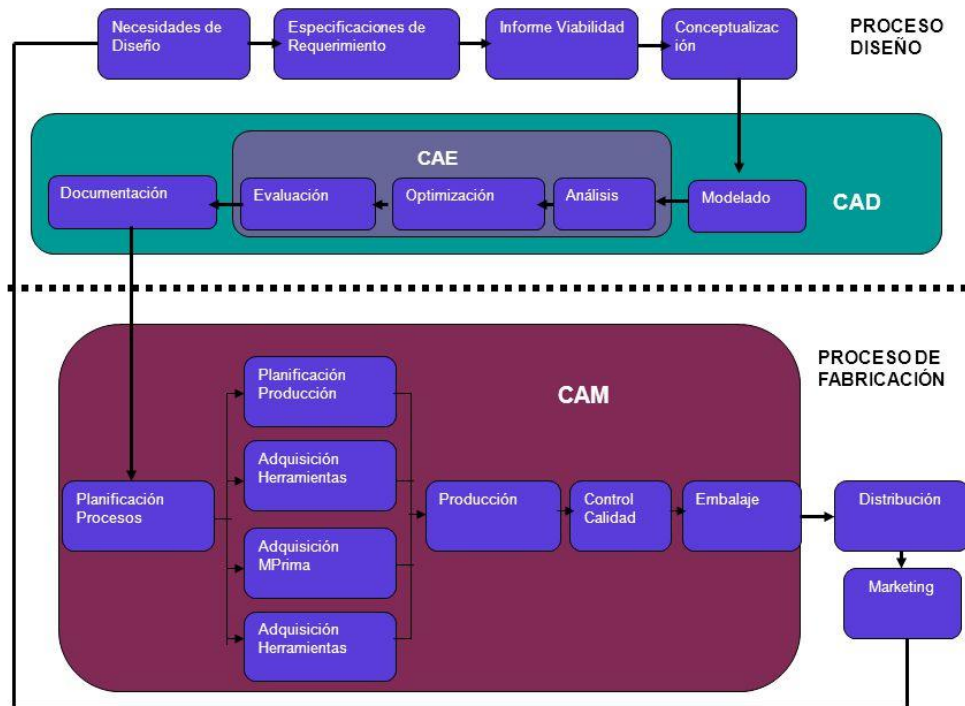
CAD/CAM es el nombre que reciben todas las técnicas de diseño y fabricación con ayuda del ordenador, entre las cuales se encuentran el diseño gráfico, bases de datos, control numérico en máquinas herramienta, robótica y visión computarizada entre otras muchas.

Históricamente CAD y CAM se tomaban como dos tecnologías separadas, pero poco a poco han pasado a ser parte común de una tecnología suma de las dos y de manera indivisible la una de la otra.

Las ventajas del uso de sistemas CAD/CAM en la industria son muchas, reducción de costes, minimización de tiempos, fabricación en masa más compleja y de mayor calidad...

Últimamente se tiende a diferenciar dentro de la etapa de diseño (CAD) lo que se conoce como Ingeniería Asistida por Ordenador (CAE) por sus siglas en inglés Computer Aided Engineering, encargado de analizar y simular los diseños de ingeniería realizados con el ordenador para valorar sus características y propiedades a fin de optimizar el desarrollo, suelen presentarse en programas informáticos como extensiones de programas CAD e incorporan:

- Análisis cinemático.
- Análisis por el método de elementos finitos (FEM, Finite Elements Method).
- Maquinado por control numérico CNC (Computered Numeric Control).
- Exportación de diversos formatos de archivo para operaciones posteriores.



Relación entre el CAM-CAD-CAE

Figura 2.15: Esquema en sistemas CAD/CAM [5]

### 2.5.1. SISTEMAS CAD

Forma parte fundamental del proceso de fabricación, ya que, al tratarse de la primera fase en el diseño, cada error será arrastrado a las posteriores etapas de fabricación, y cada mejora en el diseño facilitará los procesos posteriores de la pieza, así como su funcionamiento durante su vida útil. Los sistemas CAD utilizan sistemas computacionales y sus aplicaciones informáticas para mejorar y facilitar toda la etapa de diseño, es una tecnología ampliamente utilizada desde los sectores más complejos (ingeniería naval, aeroespacial...) hasta pequeñas industrias de solicitud técnica menos elevada. Este sistema permite también simular en un entorno virtual de trabajo cada componente antes de su fabricación y ensayarlo en diferentes escenarios comprobando que cumple todas las especificaciones (tolerancias, peso, inercias, disposición en planta...) y permitiendo hacer cambios de diseño a un bajo coste, lo cual sería muy caro con la pieza ya fabricada.



Ejemplos de software CAD:

- AutoCad
- Siemens Nx
- Inventor
- SolidWorks
- Catia
- Rhinoceros
- CypeCad

### 2.5.2. SISTEMAS CAM

De la misma manera que el sistema CAD, el CAM utiliza sistemas computacionales en el control de las máquinas herramienta para el proceso de fabricación, estos sistemas controlan los movimientos de la máquina CNC mediante un software propio, y a su vez buscan simular y optimizar el proceso de fabricación, modificando trayectorias y velocidades con el fin de evitar choques. Una vez la simulación es correcta se genera el código CNC para la fabricación mediante la máquina correspondiente.

Las principales ventajas del sistema CAM son el ahorro económico, ahorro en tiempo de producción por artículo, fácil adaptabilidad para cambiar la línea de producción y la disminución de riesgos laborales.

Ejemplos de software CAM:

- Catia
- MasterCam
- ArtCAM
- SolidCam
- RhinoCam
- Siemens Nx
- GibbsCAM

## 2.6. Control numérico

El control numérico (CN) o control decimal numérico es un sistema de automatización de máquinas herramienta que son operadas mediante comandos programados mediante ordenador o un sistema de control digital.

Entre los años 40 y 50 fueron introducidas las primeras máquinas de control numérico por el ingeniero John T. Parsons, dichas máquinas estaban basadas en otras ya existentes con motores controlados manualmente siguiendo instrucciones dadas por tarjetas perforadas, a partir de estos se



implementaron en equipos analógicos y digitales, y con el paso de los años, las mejoras en la electrónica digital y la aparición de procesadores más potentes y baratos ha derivado en el control numérico por ordenador o control numérico computarizado (CNC).

Las mejoras en los motores (eléctricos, hidráulicos y neumáticos) ayudó a automatizar los mecanismos de las máquinas, y el control numérico por ordenador se ha extendido a todo tipo de maquinaria: tornos, fresadoras, corte láser, impresoras 3D. Hoy en día han aparecido los llamados centros de mecanizado en los que se realizan multitud de mecanizados automatizados.

Las principales ventajas de la implantación de CNC en las máquinas son:

- Mejora de precisión y calidad
- Abaratamiento de costes
- Optimización de productividad
- Aumento del ratio máquina/operario
- Uniformidad en la producción
- Posibilidad de fabricación compleja

Y entre las desventajas encontramos:

- Elevado coste de maquinaria
- Alta cualificación del operario
- Necesidad de grandes volúmenes de producción para amortizar
- Costes elevados de mantenimiento

La comunicación entre ordenador y máquina se lleva a cabo por medio de un lenguaje de programación, se puede programar mediante sistema CAM, en ordenador o manualmente. Dicho lenguaje describe cada trayectoria (coordenadas, velocidad de corte, avance...) en una línea generando un código guardado como archivo de texto en formato ASCII, tras esto se necesita un post-procesador para hacer que la máquina “comprenda” dichas instrucciones.

Esta parte es muy importante en el proceso puesto que es el único vínculo entre el sistema CAM y la máquina. Los más utilizados son los lenguajes ISO, Heidenhain y APT.

### **2.6.1. LENGUAJE APT (Automatically Programmed Tool)**

Fue creado en el MIT por Douglas T. Ross y es considerado el predecesor de los lenguajes actuales, desarrollado antes de la aparición de sistemas CAD/CAM para controlar las primeras fresadoras de control numérico en la década de los

50, y con gran fama en los 70 durante la gran aparición de este tipo de máquinas en la industria.

Un ejemplo sencillo sería:

```

PARTNO ejemplo APT 1
MACHIN/MILLING,01
CLPRNT
UNITS/MM
CUTTER/20.0
REMARK geometría
PTARG=POINT/0.0,-50.0,10.0
P1=POINT/0.0,-25
P2=POINT/160.0,-25
P3=POINT/160.60,-25
P4=POINT/35.90,-25
P8=POINT/130.60,25
L1=LINE/P1,P2
L2=LINE/P2,P3
C1=CIRCLE/CENTER,P8,RADIUS,30
L3=LINE/P4,LEFT,TANTO,C1
L4=LINE/P4,P1
PL1=PLANE/P1,P2,P4
REMARK movimientos
FROM/PTARG
SPINDL/1000,CLW
FEDRAT/50,IPM
GO/TO, L1, TO, PL1, ON, L4
GORGT/L1,PAST, L2
GOLFT/L2,TANTO,C1
GOFWD/C1,PAST,L3
GOFWD/L3,PAST,L4
GOLFT/L4,PAST,L1
RAPID
GOTO/PTARG
SPINDL/OFF
FINI
    
```

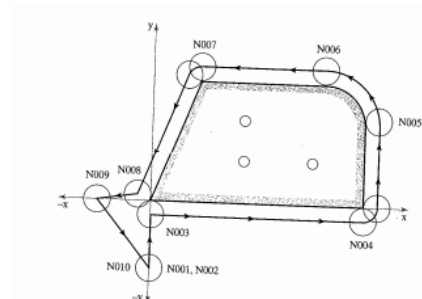
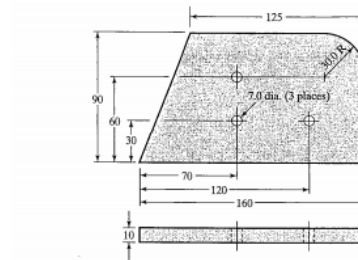


Figura 2.16: Código APT [6]

## 2.6.2. LENGUAJE ISO

Lenguaje más moderno y usado actualmente, es el lenguaje estándar normalizado para CNC, de baja complejidad, que descompone las operaciones de la máquina en sus trayectorias, pero es poco eficaz para solicitudes técnicas elevadas.

La estructura de cada línea sería la mostrada en la figura 2.1, pudiendo contener alguna o varias de las sentencias, pero siempre manteniendo el orden.

Un sencillo ejemplo de un bloque sería:





# Capítulo 3. Mastercam

## 3.1. Introducción a Mastercam 2020

Mastercam (MasterCAM) es un conjunto de aplicaciones de software de fabricación asistida por ordenador (CAM), aunque también desarrolla procesos de diseño por lo que sería más completo hablar de un sistema CAD/CAM. Desarrollada por la empresa estadounidense CNC Software, Inc. Fundada en 1983, es uno de los desarrolladores más antiguos de software de diseño CAD/CAM. Fueron uno de los primeros en introducir el software CAD/CAM diseñado tanto para operadores de máquina herramienta como para ingenieros. Mastercam, comenzó como un sistema CAM 2D con herramientas CAD que permitían a los trabajadores diseñar piezas virtuales en una pantalla de computadora y también guiaban las máquinas herramienta controladas numéricamente (CNC) en la fabricación de piezas. Desde entonces, Mastercam se ha convertido en el paquete CAD/CAM más utilizado en el mundo.

Mastercam ofrece un nivel de flexibilidad que permite la integración de aplicaciones de terceros, para abordar escenarios específicos de procesos o máquinas únicas.

El nombre de Mastercam es un doble sentido: implica el dominio de CAM (fabricación asistida por ordenador), que involucra la última tecnología de control de máquinas herramienta de hoy; y simultáneamente rinde homenaje a la tecnología de control de máquinas herramienta de ayer al hacerse eco del término más antiguo de leva maestra, que se refería a la leva principal o modelo que seguía un trazador para controlar los movimientos de una máquina herramienta automatizada mecánicamente.

En noviembre de 2018, Mastercam lanzó [mastersofcam.com](http://mastersofcam.com), una plataforma basada en contenido de sitios web para usuarios de Mastercam.

Los módulos de mecanizado más usados en Mastercam son fresado y torno aunque cuenta con diversos procesos de mecanizado virtual como la electroerosión por hilo, procesos combinados de torno-fresado, y la posibilidad de trabajar con máquinas de diferentes características, número de ejes, etc.

La interfaz en las versiones más actuales de Mastercam se parece mucho a las de Windows con lo que la hace muy intuitiva para usuarios no familiarizados con la programación o programas más complejos. Mastercam admite muchos tipos de máquinas, cada una con una selección de niveles de funcionalidad, además de ofrecer complementos opcionales para el mecanizado de 4 y 5 ejes. La siguiente lista describe los niveles de productos de Mastercam presentes a partir de Mastercam 2017:





- **Diseño:** creación de geometría de estructura alámbrica en 3D, modelado de superficies y sólidos, dimensionamiento, importación y exportación de archivos CAD que no son de Mastercam (como AutoCAD, SolidWorks, Solid Edge, Inventor, Parasolid, etc.).
- **Entrada de fresado:** incluye diseño, mecanizado básico y verificación completa de la trayectoria de la herramienta.
- **Fresado 2D:** incluye entrada a la fresadora, mecanizado de una sola superficie de 2-3 ejes, más mecanizado en paralelo de acabado y ranurado de varias superficies.
- **Fresado 3D:** incluye fresado más soporte adicional para mecanizado de superficies múltiples de hasta 3 ejes.
- **Complemento de varios ejes:** desbaste de 5 ejes, acabado, línea de flujo de múltiples superficies, contornos, cortes de profundidad, taladrado, verificación avanzada de ranuras.
- **Complemento Fresado-torno:** incluye simulación de máquina completa y la capacidad de sincronizar múltiples flujos de código.
- **Entrada de torno:** incluye diseño, sólidos y funcionalidad de torneado totalmente asociativo de 2 ejes y verificación completa de la trayectoria de la herramienta.
- **Torno:** funcionalidad completa de torneado de 2 ejes con operaciones de mecanizado y manipulación de piezas.
- **Entrada de enrutador:** incluye mecanizado básico de diseño de 2-2 1/2 ejes que incluye contorneado asociativo, embutido en zigzag y unidireccional, operaciones de perforación y verificación completa de la trayectoria de la herramienta.
- **Router:** incluye entrada de router, mecanizado de una sola superficie de 2-3 ejes más ranurado en bruto de varias superficies limitado y mecanizado paralelo de acabado.
- **Router 3D:** incluye router adicional para mecanizado de superficies múltiples de hasta 3 ejes. Incluye diseño, grabado, Rast2Vec, anidamiento y sólidos
- **Hilo:** incluye diseño más paquete de 2 y 4 ejes para aplicaciones de electroerosión por hilo.
- **Complemento de diseño:** diseño 3D rápido, contornos 2D en formas 3D, combinación de formas, conversión de ilustraciones 2D en geometrías mecanizables, además de trayectorias de herramientas rápidas exclusivas, estrategias de desbaste y acabado y corte de piezas en pantalla.

A continuación, vamos a dar un breve repaso a las opciones más básicas e importantes que presenta Mastercam entorno al fresado, que es la operación

de fabricación sobre la que nos centramos, con la realización de una pieza de geometría simple con el fin de familiarizarnos con el uso de dicho programa.

### 3.1.1. UNIDADES SISTEMA INTERNACIONAL

Lo primero nos aseguramos de estar trabajando en el sistema internacional, o bien como es el caso en un submúltiplo de este, en milímetros, para ello vamos a “Archivo”, “Configuración” y en unidades para analizar mediciones seleccionamos milímetros y aceptamos.

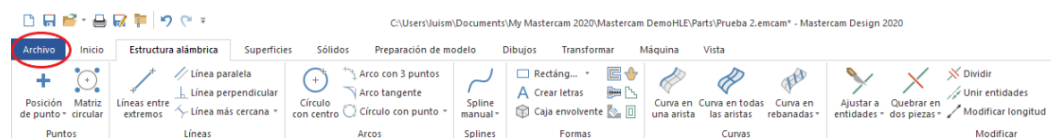


Figura 3.1: Menú principal



Figura 3.2: Configuración

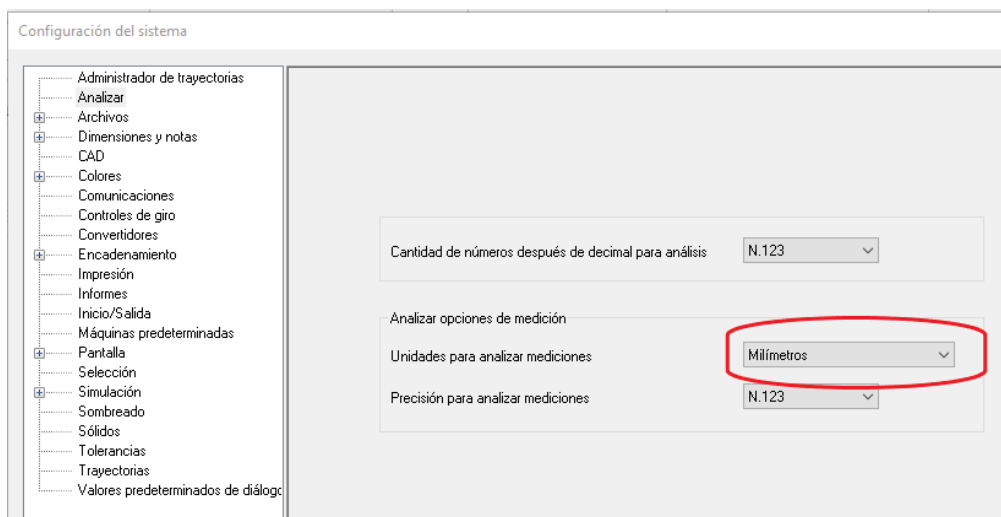


Figura 3.3: Sistema de Unidades

También es importante familiarizarse con la ventana Vista donde podemos seleccionar el tipo de vista en “Vista de gráficos” los ejes en “Mostrar” y el comando “Ajustar” para ver en pantalla la totalidad de la pieza.

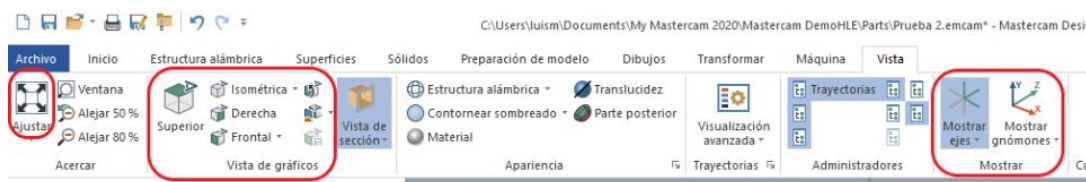


Figura 3.4: Ventana Vista

### 3.1.2. PROCESO DE DISEÑO

Procedemos a crear una estructura sencilla, en la ventana “estructura alámbrica” seleccionamos rectángulo, anclado al centro de coordenadas de 80 x 50 mm.

En la herramienta “redondear entidades” elegimos un radio de 5mm y vamos seleccionando las aristas contiguas del rectángulo, y automáticamente se redondean las esquinas del mismo con dicho radio.

Seleccionamos “Círculo con centro”, elegimos un radio de 2,5 mm y bloqueamos en el candado este valor, ahora nos fija círculos de dicho radio que situaremos en las esquinas previamente redondeadas del rectángulo,

Mastercam nos fija el centro de estas curvas por lo que es más sencillo y preciso dicha operación.

Finalmente posicionaremos un círculo de 2,5 mm de radio y otro de 10 mm en el centro (origen de coordenadas).

En la ventana “Sólidos” aparecen varias herramientas a fin de pasar de una estructura alámbrica 2D, a un cuerpo sólido en las tres dimensiones. Seleccionamos la operación “Extruir”

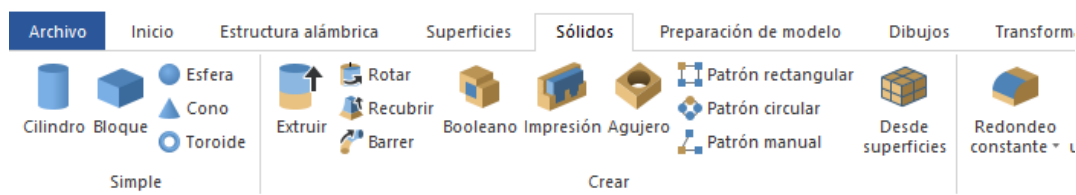


Figura 3.5: Ventana Sólidos

Aparecen diferentes opciones para seleccionar la estructura a extruir, seleccionamos cadena que automáticamente selecciona todas las líneas conexas entre sí, y seleccionamos el contorno exterior, los círculos de las esquinas y el círculo central de 10 mm de radio.

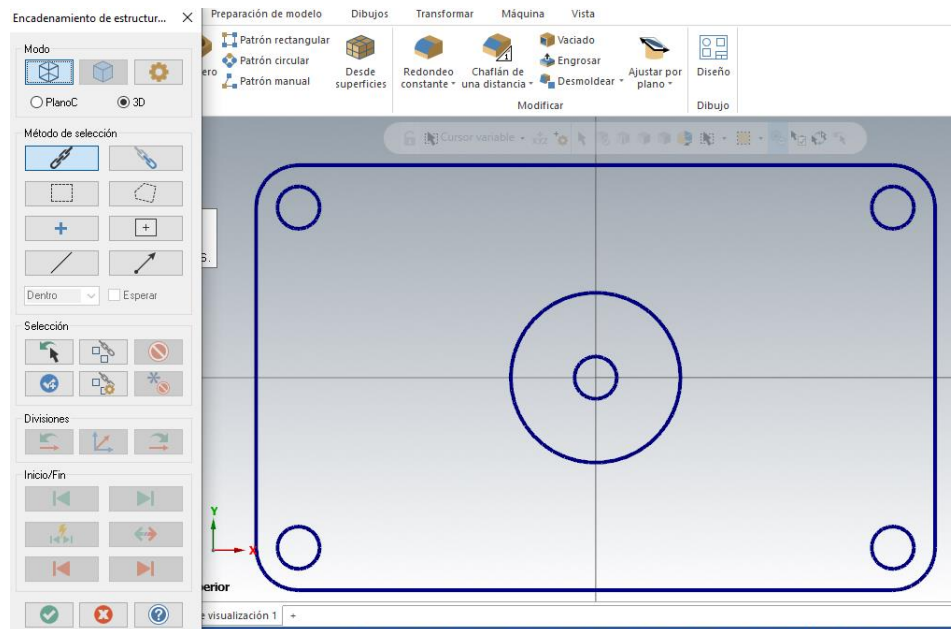


Figura 3.6: Dibujo 2D

Seleccionamos una altura de 10 mm, entre las opciones podemos invertir el sentido del eje de la extrusión (eje z en nuestro caso)

Ahora seleccionamos los círculos centrales y extruimos con una distancia de 30 mm, por lo que obtenemos esa parte central con mayor altura y un agujero central de 5 mm de diámetro.

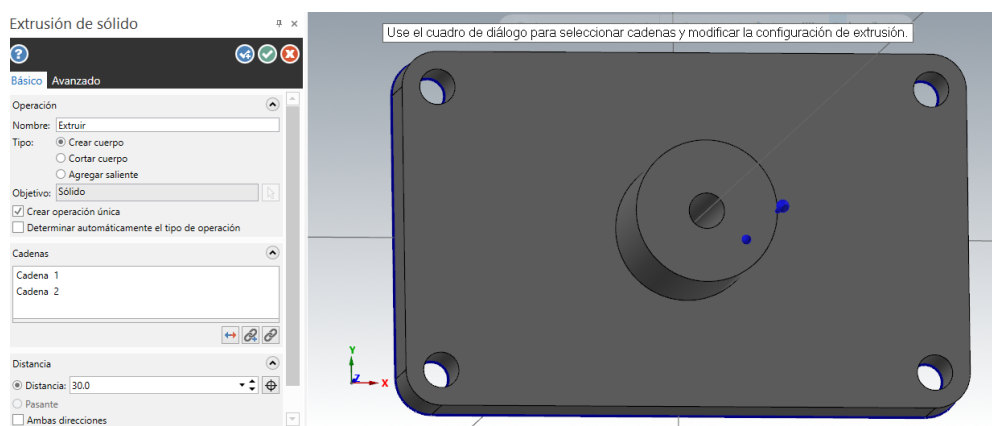


Figura 3.7: Extruir

Otra opción es “cortar” las zonas que queremos que sean huecas una vez creado el sólido macizo, para ello en las opciones de extrusión, tipo: Cortar cuerpo. Pudiendo ser una distancia dada por nosotros o pasante a toda la pieza, en el apartado inferior de “Distancia”.

Una vez obtenido el cuerpo podemos modificar su apariencia en la esquina inferior derecha para poder ver a través de él, o darle una apariencia más real.



Figura 3.8: Apariencia

### 3.1.3. PROCESO DE FABRICACIÓN

Una vez creado el cuerpo a mecanizar vamos a la ventana “Máquina” donde nos aparecen todas las funciones de mecanizado y diferentes máquinas.

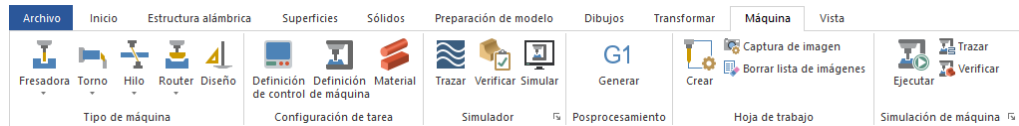


Figura 3.9: Ventana Máquina

En lo que a nosotros nos interesa, que es el fresado, iremos a la opción Fresadora, es importante tener la opción “Trayectorias” activada dentro de la venta “Vistas”.

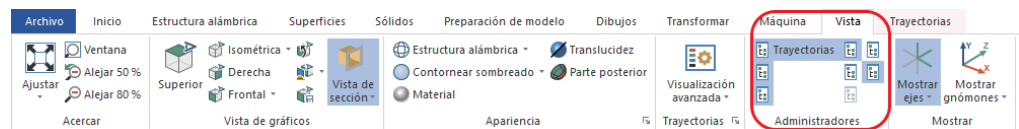


Figura 3.10: Vista Trayectorias

En el menú “Trayectorias” nos aparecen diversas funciones

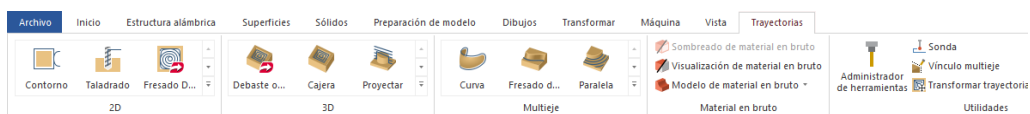


Figura 3.11: Ventana Trayectorias

En la ventana izquierda de “Trayectorias” aparece un árbol donde se situarán todas las trayectorias de la fresadora, y a su vez más propiedades de dicha fresadora. En propiedades, archivos podemos modificar propiedades de nuestra fresadora como el nombre de la máquina, así como configuración de las herramientas, el material a fresar...

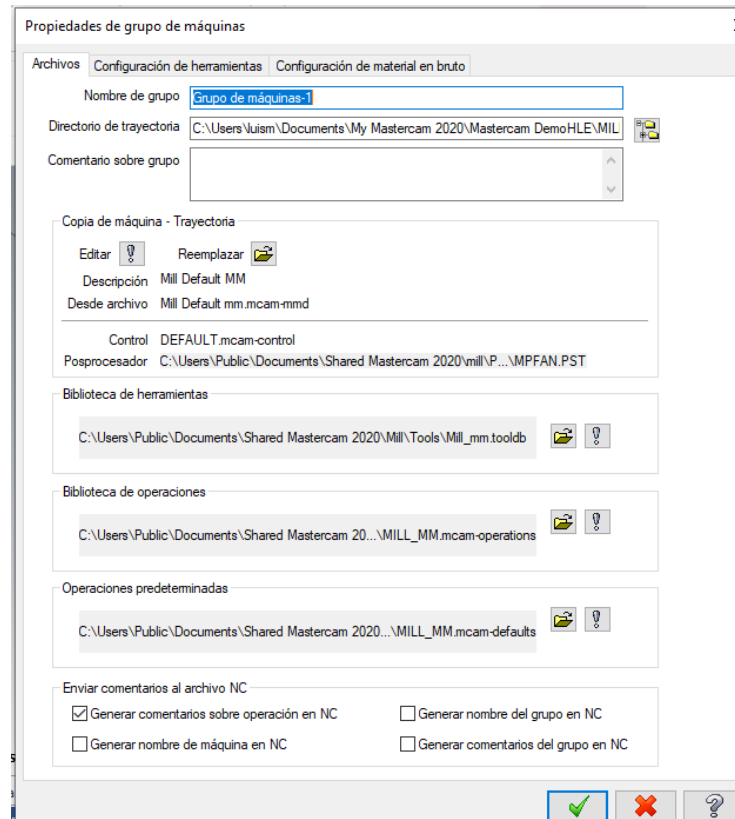


Figura 3.12: Propiedades Fresadora



Propiedades de grupo de máquinas

Archivos Configuración de herramientas Configuración de material en bruto

Nº de programa predeterminado

**Cálculo de avance**

- Desde herramienta
- Desde material
- Desde valores predeterminados
- Definido por el usuario

Velocidad del husillo

Velocidad de avance

Velocidad de retracción

Avance de penetración

Ajustar avance en el movimiento de arco

Avance de arco mínimo

**Configuración de trayectoria**

- Asignar números de herramienta en secuencia
- Advertir de números de herramientas duplicados
- Usar picoteado, refrigerante o paso de herramienta
- Buscar en biblioteca de herramientas al introducir números de herramienta

**Opciones avanzadas**

- Reemplazar valores predeterminados con modales
  - Altura de separación
  - Altura de retracción
  - Plano de avance

**Número de secuencia**

Iniciar

Incremento

**Material**

Figura 3.13: Propiedades Configuración Herramientas

Dentro de la biblioteca de Mastercam tenemos multitud de materiales para seleccionar, de la misma manera nosotros también podremos editar las características de nuestro material.



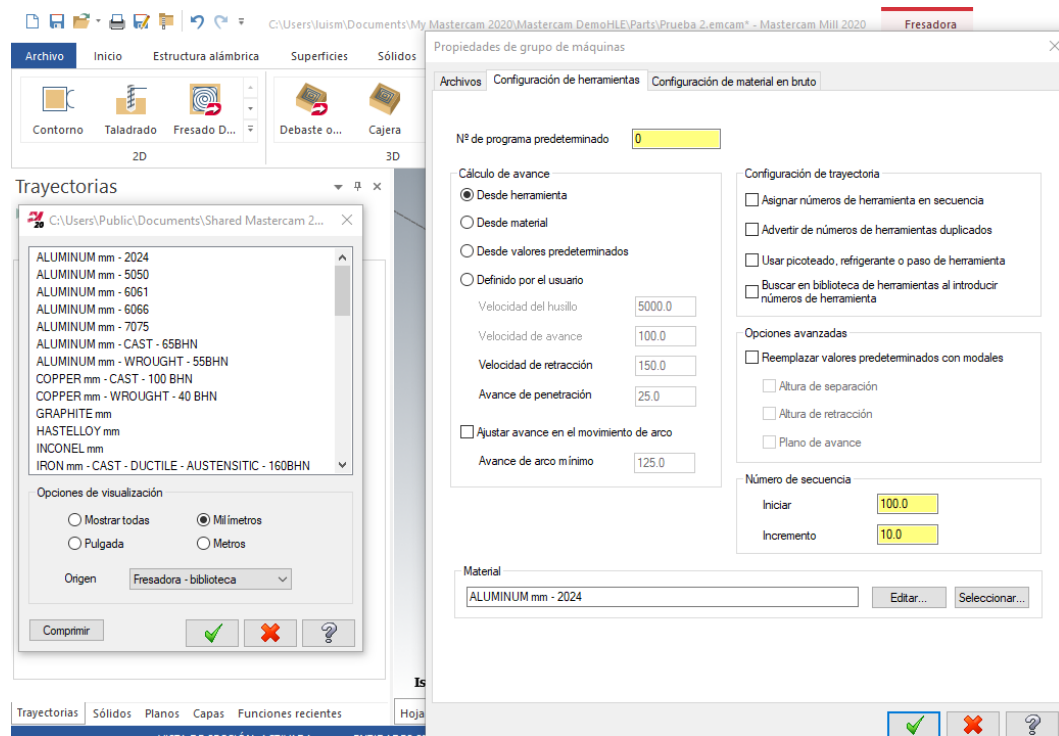


Figura 3.14: Propiedades Material

Seleccionaremos el cálculo de avance “desde la herramienta” y activaremos las funciones “Asignar números de herramientas en secuencia” y “Advertir de números de herramientas duplicados” que son funciones muy importantes a la hora de optimizar todo el proceso de mecanizado.

Mastercam posee otras opciones avanzadas muy interesantes a la hora de analizar y ejecutar todas las operaciones, pero para el caso que nos interesa estas dos serían las más importantes.

Propiedades de grupo de máquinas

Archivos Configuración de herramientas Configuración de material en bruto

Nº de programa predeterminado

**Cálculo de avance**

- Desde herramienta
- Desde material
- Desde valores predeterminados
- Definido por el usuario

Velocidad del husillo

Velocidad de avance

Velocidad de retracción

Avance de penetración

Ajustar avance en el movimiento de arco

Avance de arco mínimo

**Configuración de trayectoria**

- Asignar números de herramienta en secuencia
- Advertir de números de herramientas duplicados
- Usar picoteado, refrigerante o paso de herramienta
- Buscar en biblioteca de herramientas al introducir números de herramienta

**Opciones avanzadas**

- Reemplazar valores predeterminados con modales
  - Altura de separación
  - Altura de retracción
  - Plano de avance

**Número de secuencia**

Iniciar

Incremento

**Material**

Figura 3.15: Configuración Trayectoria

En cuanto al número de secuencia Mastercam inicia por defecto en N100 y aumenta progresivamente de 10 en 10 (N100, N110, N120...) esta secuencia podría cambiarse en el apartado “Número de secuencia”

Por último, en la opción de seleccionar el material bruto introducimos los valores del tocho original del que parte la pieza, en este caso sería un cuerpo de 80 x 50 x 35 mm, dejando así un sobre espesor en la parte superior de 5mm que la fresadora deberá maquinar. En las coordenadas de origen del material bruto tomamos la base de la pieza por lo que en el eje “Z” debemos tomar un valor de 35mm en este eje.

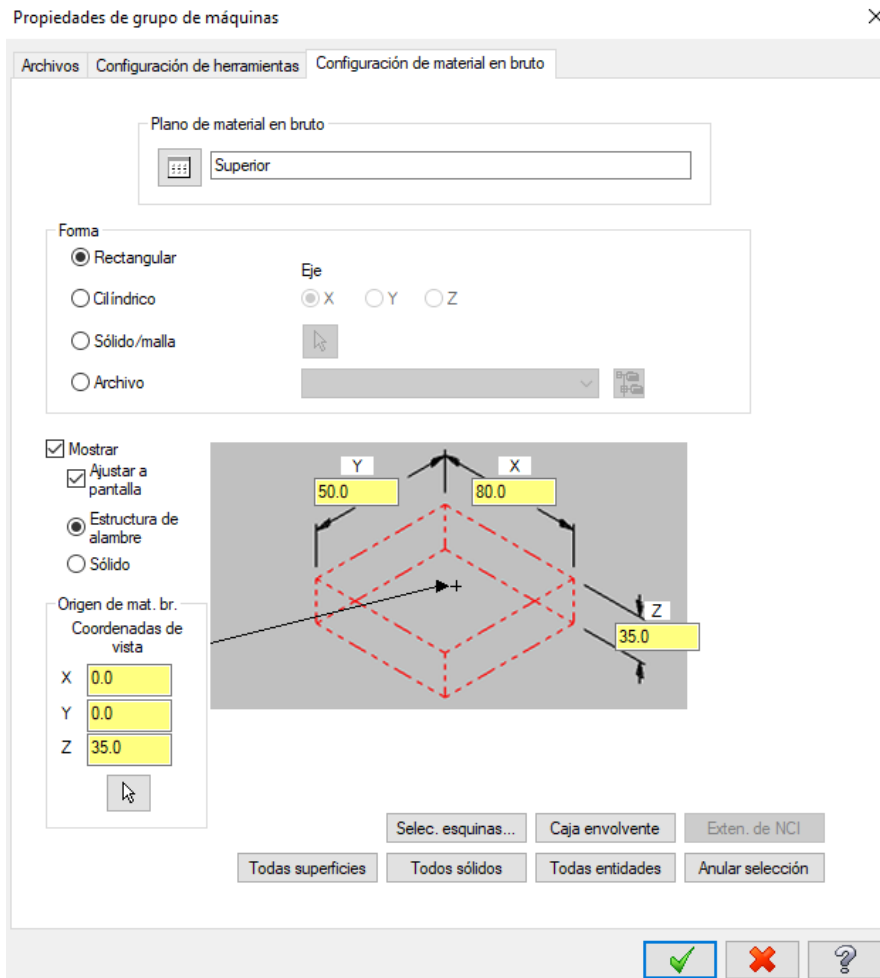


Figura 3.16: Material en Bruto

Obtenemos la siguiente representación:

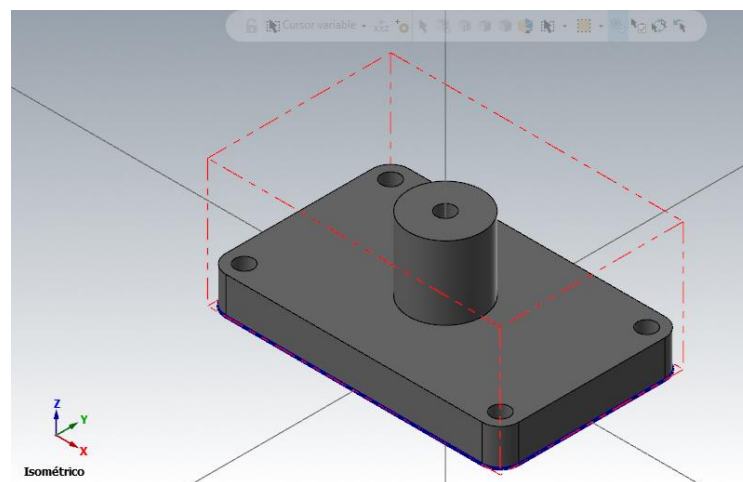


Figura 3.17: Pieza y Material Bruto 3D

En la zona inferior hay unas opciones relativas al plano de la herramienta, al de la máquina y al del trazo. PLANOC: trazo, PLANOH: herramienta, SCT: máquina



Figura 3.18: Planos de trabajo

Desplegando el panel de operaciones 2D encontramos diferentes operaciones para nuestra pieza. La primera operación a realizar será un planeado de la parte superior y eliminar los 5mm sobrantes, así como obtener una rugosidad y planicidad adecuada en la cara superior. Para ello seleccionamos “Fresado” y en las opciones “Planear”.



Figura 3.19: Operaciones de Fresado

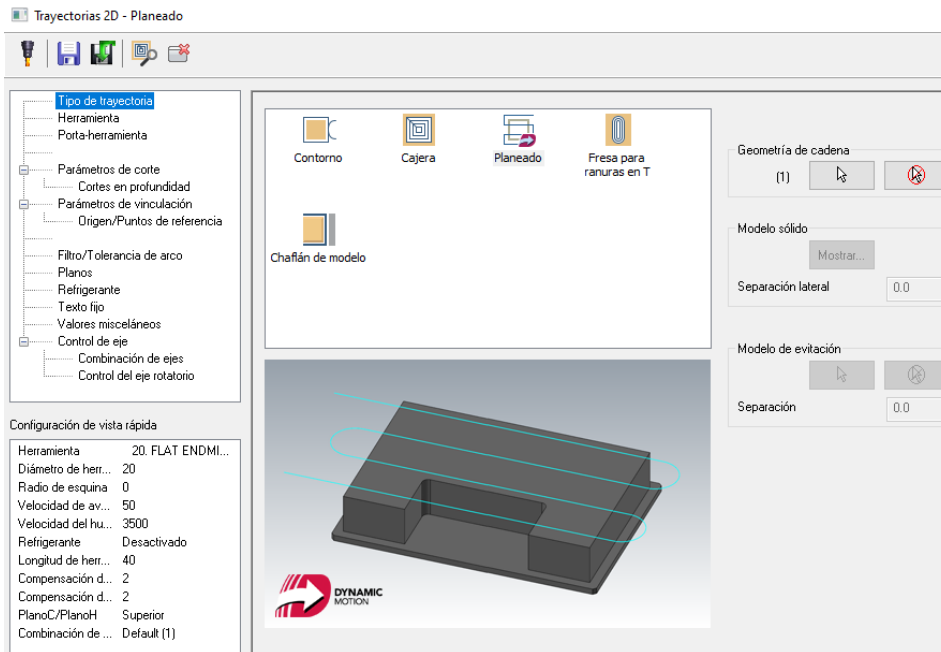


Figura 3.20: Planear

En esta operación no modificaremos la herramienta, pero en la ventana cortes en profundidad activaremos dicha opción con un paso de desbaste de 1mm.

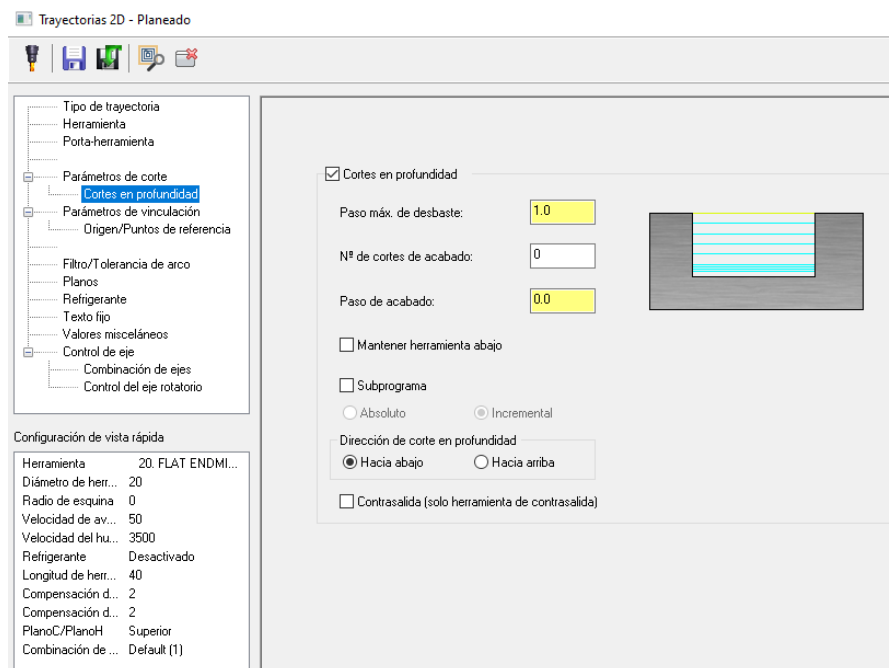


Figura 3.21: Corte en Profundidad

A continuación, en “Parámetros de vinculación” seleccionaremos bien por valores numéricos o mediante la selección 3D los valores iniciales y finales de

nuestro material en dicho planeado, así como la retracción de la herramienta en cada pasada.

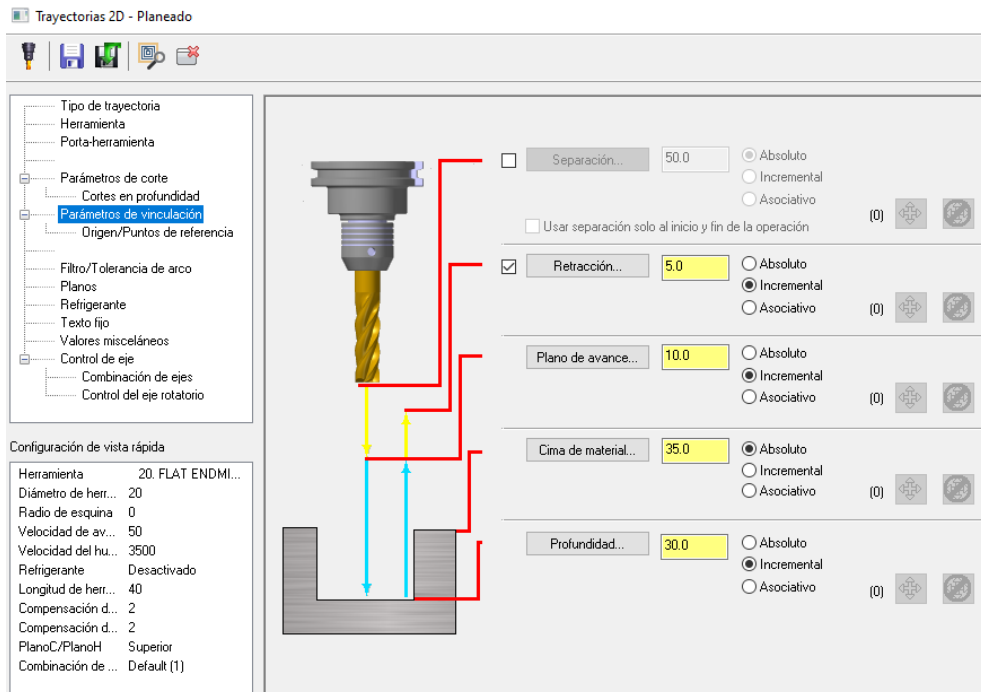


Figura 3.22: Parámetros de Vinculación

Para la siguiente operación que será el desbaste de la isla central de la pieza realizamos una “Cajera” seleccionando la arista de dicha isla, con cuidado de invertir el movimiento si la herramienta nos mecaniza la pieza por dentro en vez de por fuera de la isla central.

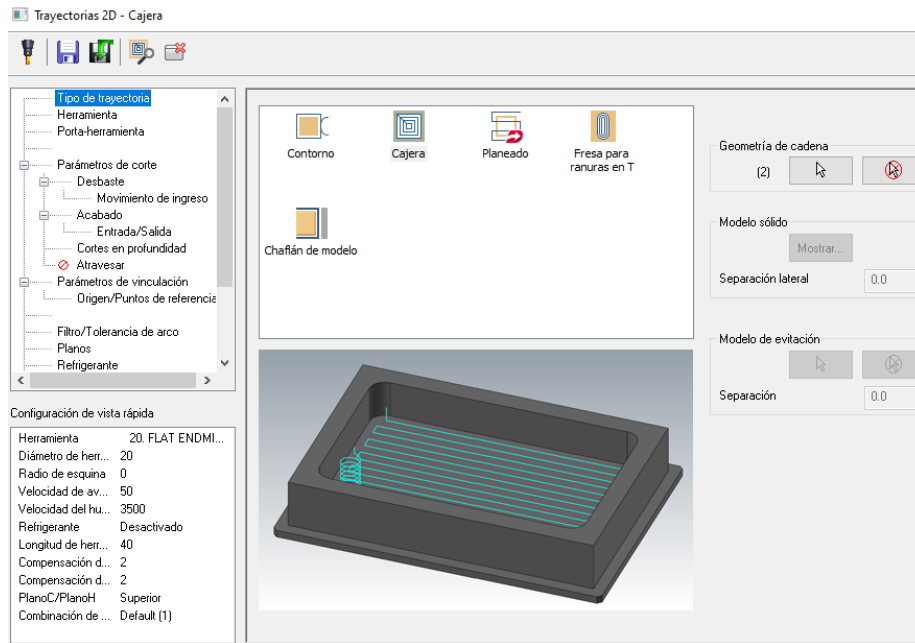


Figura 3.23: Cajera

En la ventana de “Parámetros de Corte” Seleccionamos tipo de cajera: Planeado, para eliminar el mayor material posible en el mínimo tiempo y así abaratar costes. De la misma manera dentro de los parámetros de vinculación asignaremos en plano superior y el inferior o final de la operación.

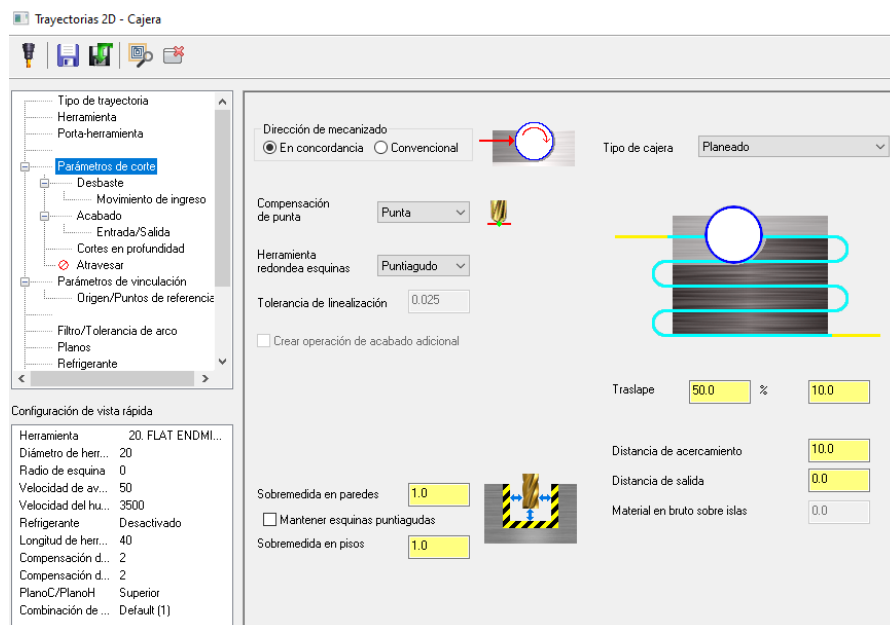


Figura 3.24: Parámetros de Corte

Para la siguiente operación realizaremos el taladro central de la pieza de 5mm de diámetro y 30mm de profundidad.

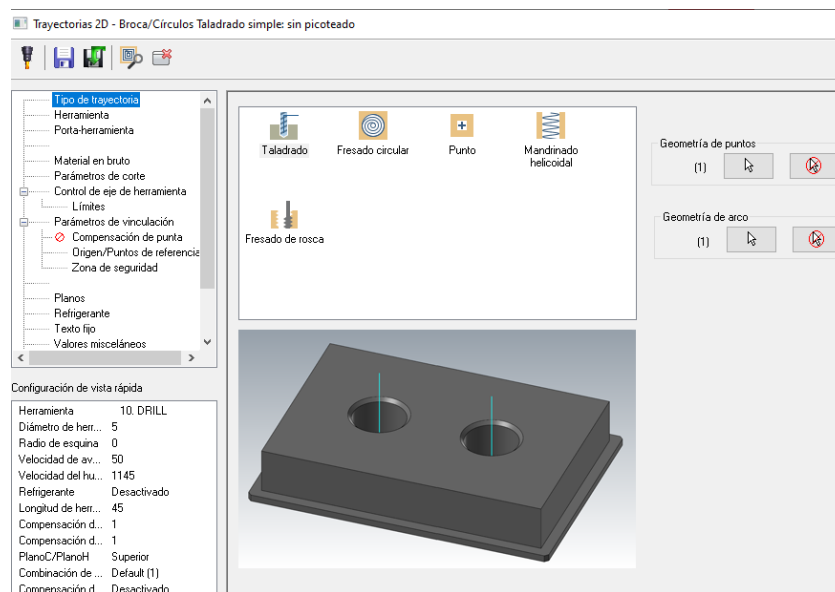


Figura 3.25: Taladrado

En el apartado herramienta podremos modificar parámetros de la herramienta como el diámetro, que lo ajustaremos a 5mm, y la profundidad de corte a 35mm pudiéndose modificar otros valores de velocidades de avance, corte... Podemos también cargar diferentes herramientas desde la biblioteca en la opción Herramientas de biblioteca y seleccionar la más adecuada.

Cabe destacar que dentro de las opciones de herramienta podemos modificar además tanto el nombre como el número para que se ajusten a nuestro caso real en el taller.



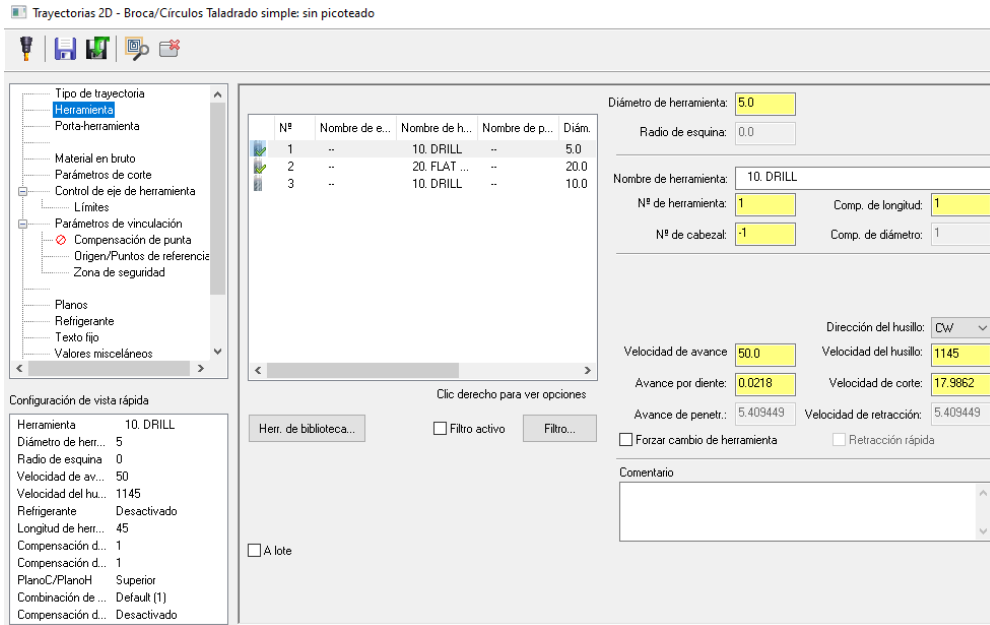


Figura 3.26: Herramienta Taladrado

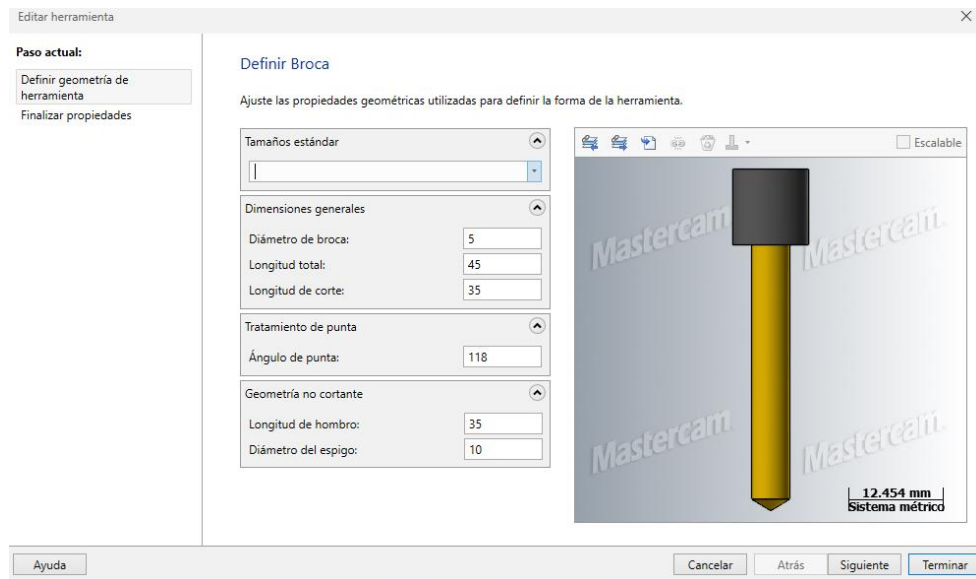


Figura 3.27: Broca

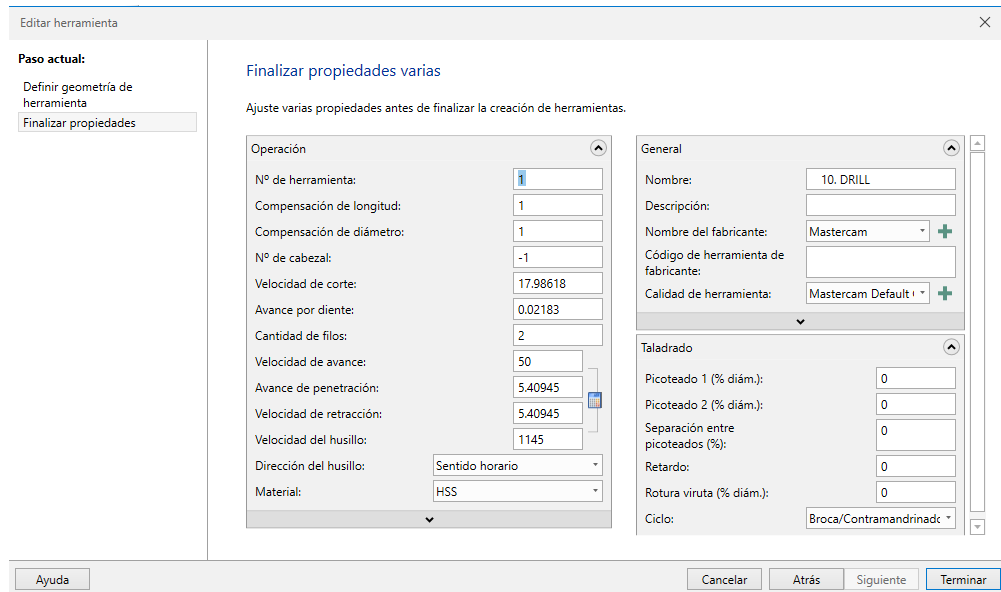


Figura 3.28: Propiedades Herramienta

En la ventana de “parámetros de vinculación” seleccionaremos la superficie inicial y la final, y le daremos una profundidad adicional de 3mm para que la broca atravesase por completo toda la pieza y no deje rebabas.

Posteriormente realizamos los 4 taladros situados en las esquinas, con la misma herramienta de corte, mediante un taladrado. No modificaremos ningún parámetro del apartado anterior por lo que solamente tenemos que elegir la vinculación de manera análoga al paso anterior.

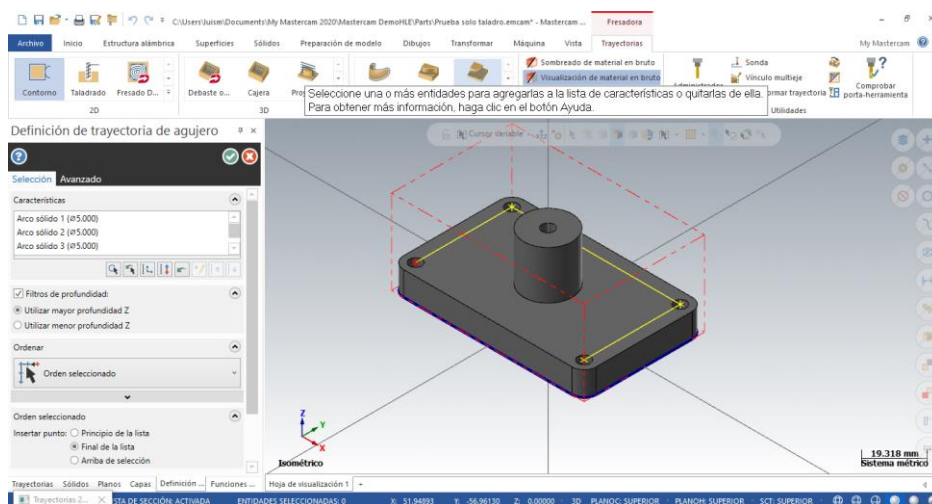


Figura 3.29: Trayectoria Taladrado

Automáticamente aparece otra pantalla donde podemos realizar diferentes operaciones de taladrado (fresado circular, rosca, mandrinado helicoidal...) en este caso no será necesario, pero podría serlo para futuras operaciones.

Podremos también modificar la geometría del portaherramientas. En la operación contorno podemos modificar además otros parámetros del corte, sentido de avance, profundidad de corte, corte en profundidad, pasadas múltiples, redondeo de esquinas... Al ser un aluminio blando no modificaremos los parámetros predeterminados.

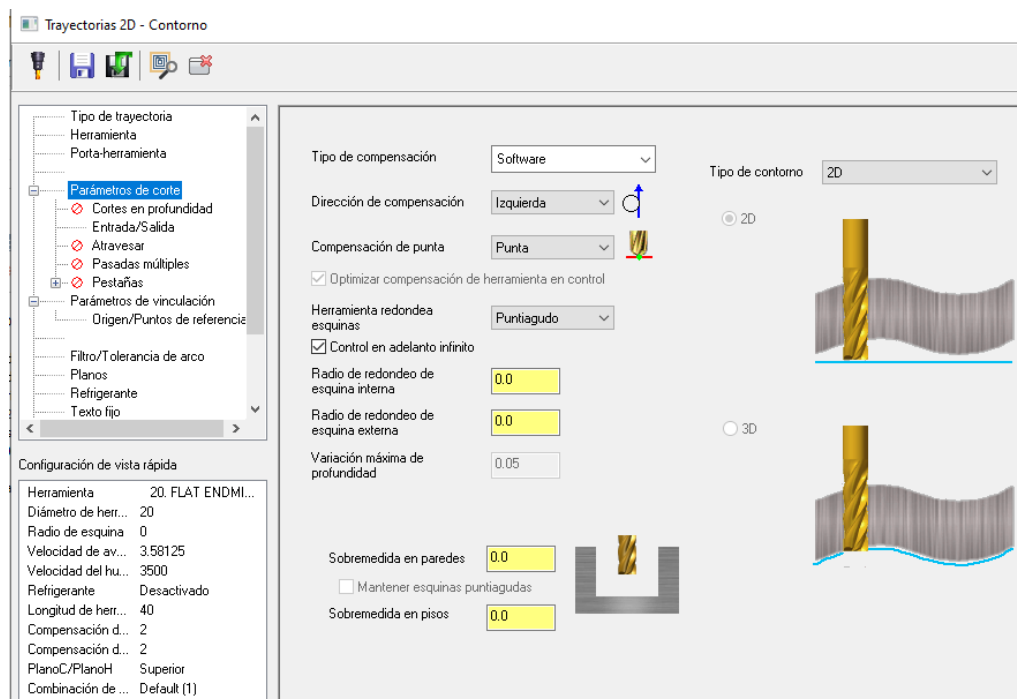
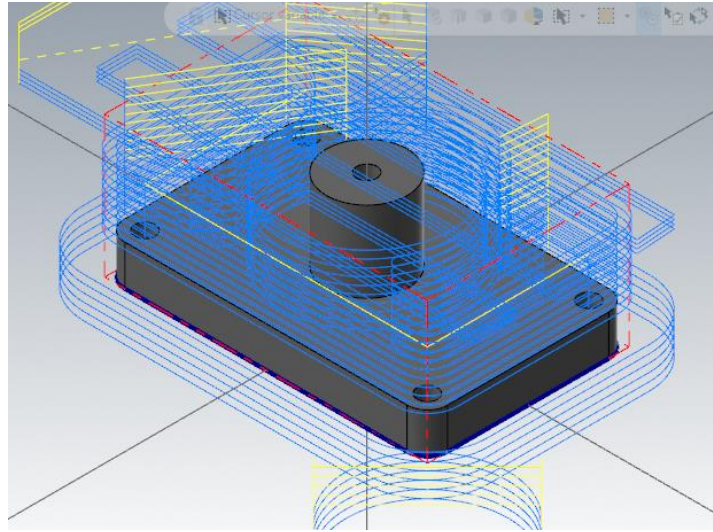


Figura 3.30: Parámetros de Corte

Una vez finalizado obtendríamos la representación de todas las trayectorias.



*Figura 3.31: Trayectorias 3D*

Y la descripción en el árbol de operaciones de cada una de ellas.

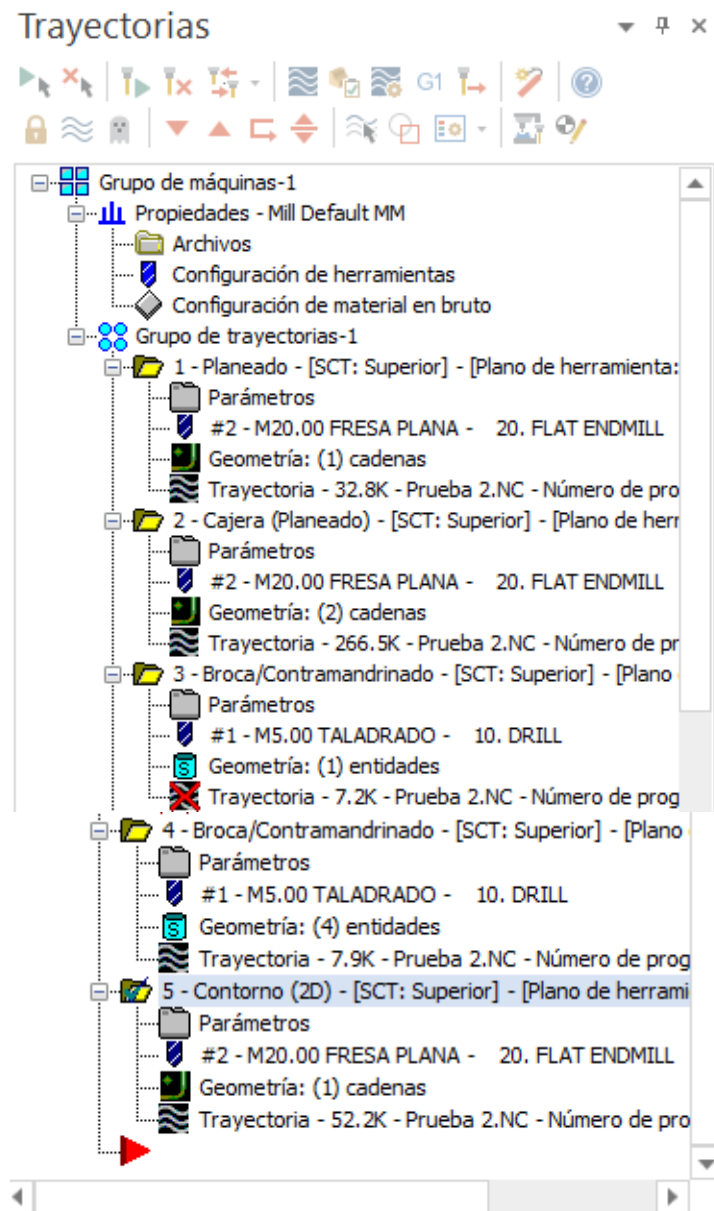


Figura 3.32: Árbol de Trayectorias

### 3.1.4. PROCESO VERIFICACIÓN

Una vez finalizado procedemos a realizar la simulación completa para ello seleccionamos 1º “Seleccionar todas la Operaciones”, luego 2º “Regenerar todas la Operaciones” y finalmente 3º “Verificar Operaciones seleccionadas”

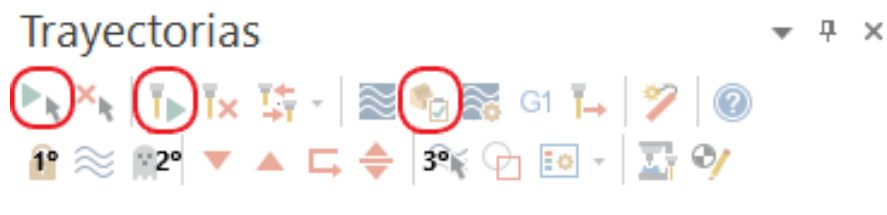


Figura 3.33: Verificación de Trayectorias

Obtendremos una ventana con nuestro material en bruto.

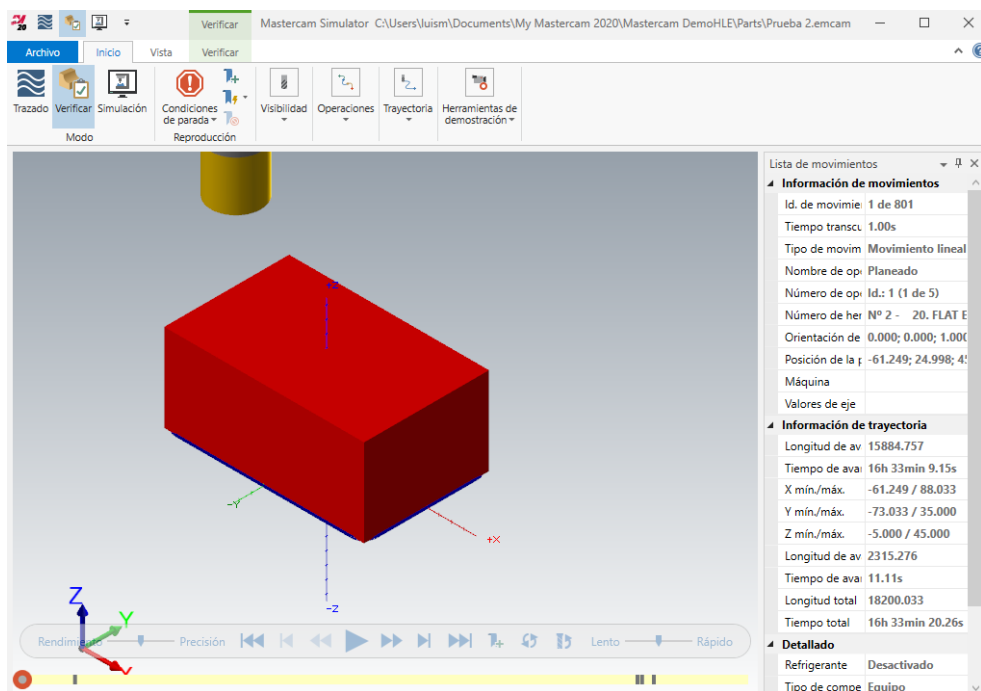


Figura 3.34: Simulación Inicial

Y al terminar la simulación obtenemos la pieza final apreciando así interferencias o posibles choques.

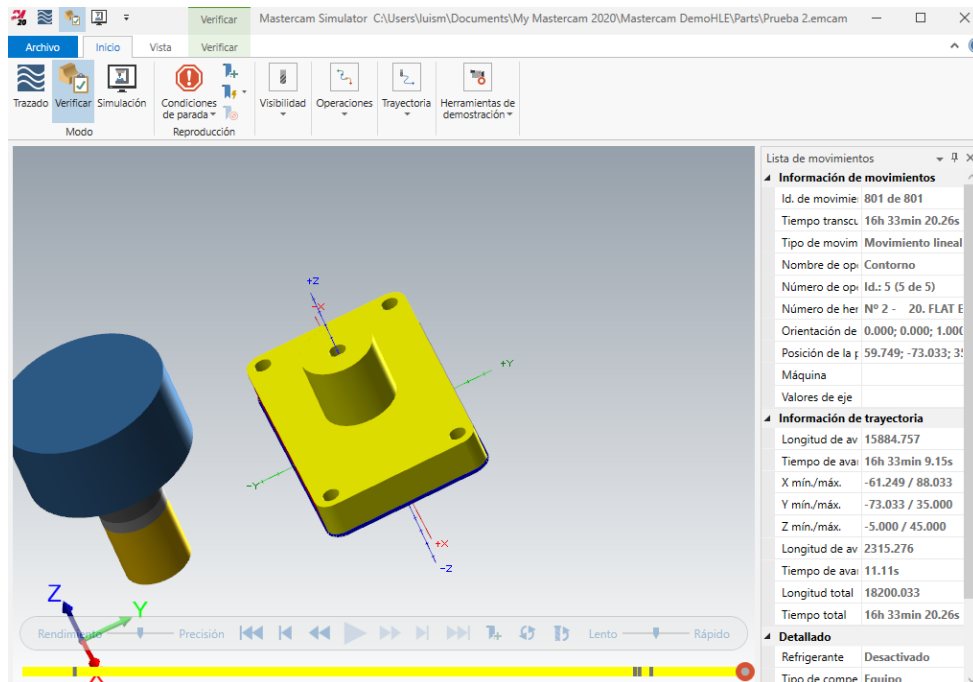


Figura 3.35: Simulación Final

También podemos apreciar el tiempo total de mecanizado con la configuración de trayectorias y herramientas seleccionadas y reducirlo cambiando parámetros en las trayectorias o en su orden.

En la ventana “Verificar” podemos modificar parámetros para apreciar mejor cada operación por separado, por ejemplo, en bucle de color podemos asignar un color diferente a cada operación.

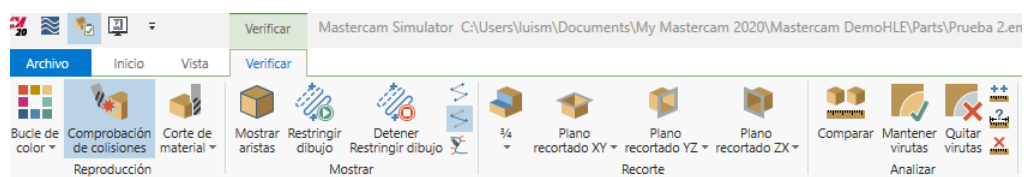


Figura 3.36: Ventana Verificar

Por último, procedemos a obtener el código para el post-procesador, seleccionamos el icono G1. En la versión del estudiante Mastercam Demo HLE 2020, no está disponible esta opción por lo que tendríamos que realizarla con la versión completa del mismo si quisiéramos obtener dicho código.



Figura 3.37: Post-procesado

## 3.2. Simulación centro de mecanizado Fresadora 3 ejes A-16 de Nicolás Correa

A continuación, vamos a simular el centro de trabajo compuesto por la fresadora presente en el taller de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid (A-16 de Nicolás Correa) dentro del programa Mastercam, para posteriormente poder verificar desplazamientos máximos, trayectorias y posibles interferencias a fin de poder optimizar el proceso en un entorno virtual para llevarlo a cabo en la práctica con las mayores garantías posibles.

En el caso que nos ocupa importaremos el modelo, previamente creado en Catia v5 por el alumno David García López, como hemos visto en el apartado 2.4 Modelado, partes modeladas, a Mastercam y crearemos todas las relaciones cinemáticas entre las diferentes partes de la fresadora para su correcto funcionamiento.

### 3.2.1. PASOS PREVIOS

Dentro del menú “Máquina” en el apartado “Fresadora” Mastercam nos permite seleccionar diferentes fresadoras predeterminadas o de biblioteca, sobre las cuales podemos modificar diferentes parámetros, una vez seleccionada la máquina en el árbol de trayectorias encontraremos dicha fresadora sobre la cual en cualquier momento podremos realizar los cambios oportunos ya sea sobre la propia máquina, herramientas o material en bruto.



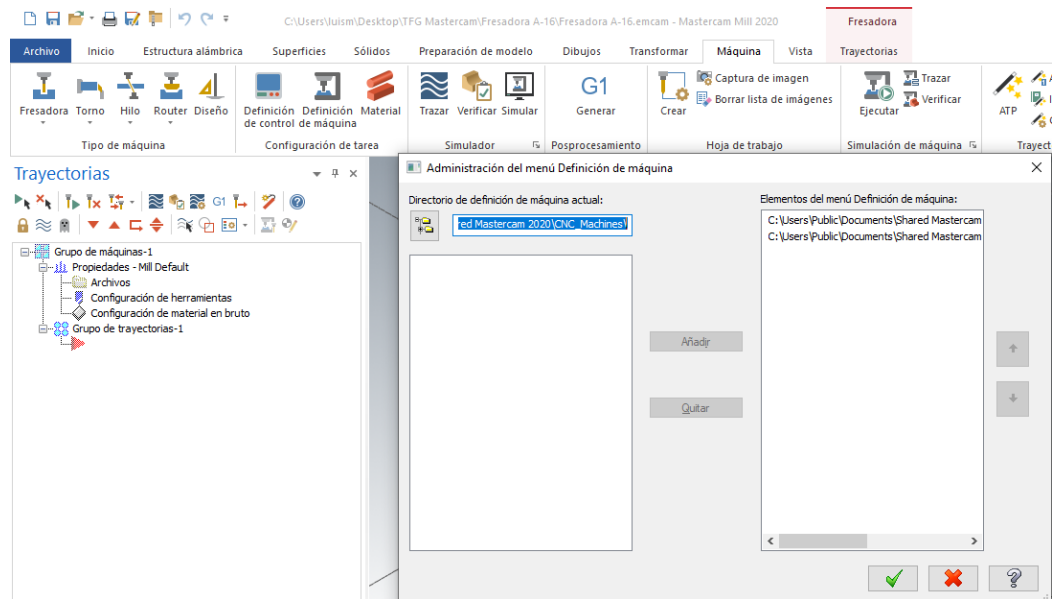


Figura 3.38: Definición de Máquina

Otro aspecto a tener en cuenta es el sistema de coordenadas tomado por Mastecam, ya que deberemos adaptar los movimientos de nuestra fresadora a dichos ejes. Encontraremos en todo momento los ejes y su sentido en la esquina inferior izquierda de la pantalla.

En nuestro caso tomaremos el movimiento de la mesa en el eje X, el movimiento del porta-carnero sobre la columna vertical en el eje Z, el movimiento del carnero en el eje Y, y el movimiento de rotación del cabezal sobre el eje Z.

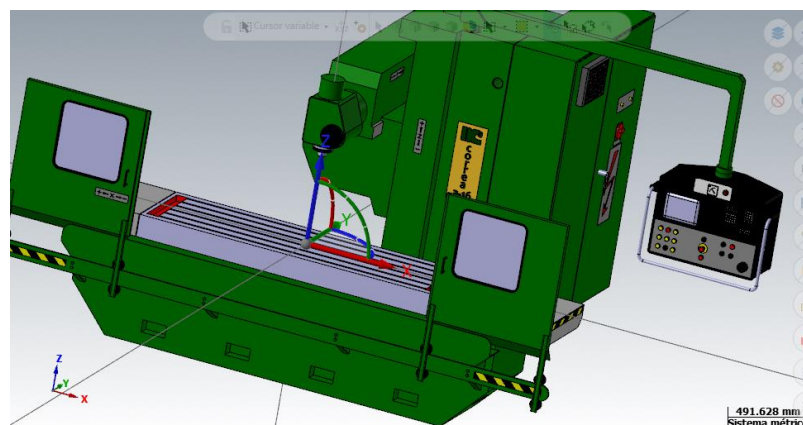


Figura 3.39: Ejes referencia Fresadora

### 3.2.2. IMPORTACIÓN DE LA FRESADORA EN MASTERCAM

Es importante haber guardado el modelado de dicha fresadora en formato “.STEP” (o “.STP”) pues es el formato que guarda la geometría 3D de la máquina, de esta manera podremos cargar en Mastercam cualquier geometría realizada en cualquier programa y será compatible pudiendo trabajar sobre la misma.

Para ello creamos un nuevo archivo de Mastercam que será guardado en formato “.emcam” donde cargaremos nuestra fresadora, y el siguiente paso será cargar todos los archivos que componen la fresadora.

Para ello vamos a “Archivo” y en “Combinar” seleccionamos los archivos en formato “.step” que componen nuestra máquina. Dichos archivos pueden ser guardados directamente en Catia v5 como formato “.step” o en nuestro caso utilizaremos “Inventor” para cambiar el formato de cada geometría. Cabe destacar que la versión completa de Mastercam nos permite importar los archivos directamente de Catia en su propio formato (“.part” o “.process”) y trabajar con ellos sin convertirlos, lo que nos agiliza mucho el trabajo al no tener que transformar formatos.



Figura 3.40: Combinar

En nuestro caso el archivo (Process) resultante de Catia v5 una vez ensamblado y con cada pieza en su lugar tiene una buena compatibilidad en Mastercam por

lo que al cargar no necesitamos alinear las partes o ponerlas en su posición relativa de uso, pero si este no fuera el caso deberíamos seleccionar cada cuerpo y modificar su posición mediante desplazamientos o giros.

Para ello iríamos a la ventana “Transformar” y realizaríamos los cambios precisos a fin de que la máquina estuviera en su disposición correcta de uso. Cabe destacar cuando hacemos un cambio de posición debemos indicarle a Mastercam si queremos Copiar o Mover la pieza pues por defecto el programa tiene seleccionada la opción copiar y deberemos cambiarla.

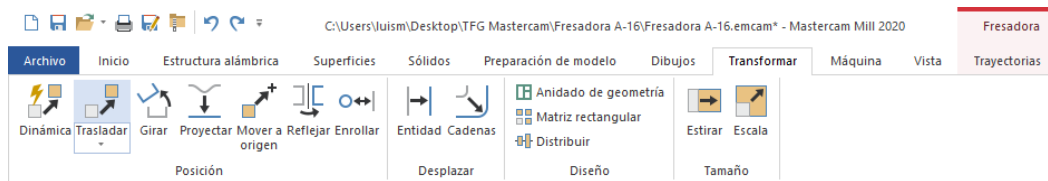


Figura 3.41: Ventana Transformar

Finalmente obtenemos un resultado como el que se muestra en la Figura 3.42.

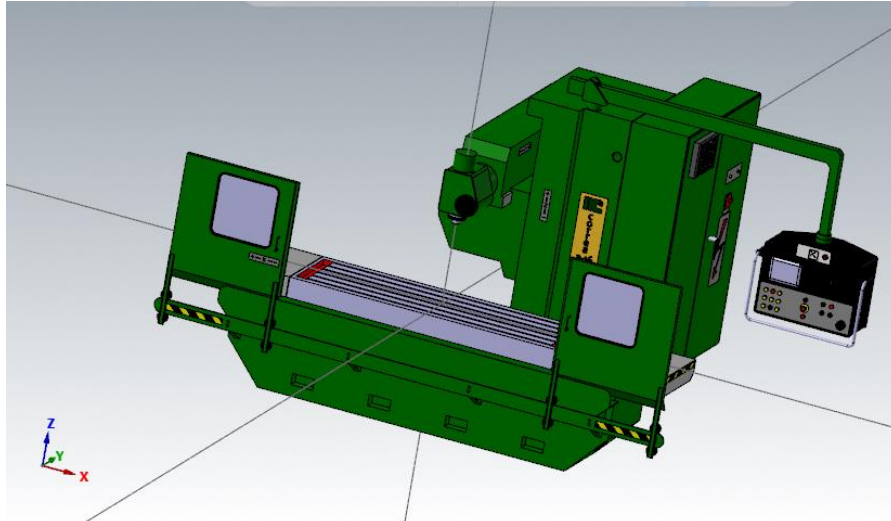


Figura 3.42: Fresadora en Mastercam

El siguiente paso será “mover” cada parte de la máquina a una capa diferente a fin de diferenciar los cuerpos con movimiento relativo de los que son fijos y poder trabajar en el futuro con ellos de forma más sencilla.

Para ello seleccionamos cada parte de la máquina y haciendo “click” con el botón derecho del ratón aparece la opción “Cambiar Capa”, de la misma manera que en el apartado anterior hay que tener cuidado si movemos el objeto de capa o lo estamos copiando.

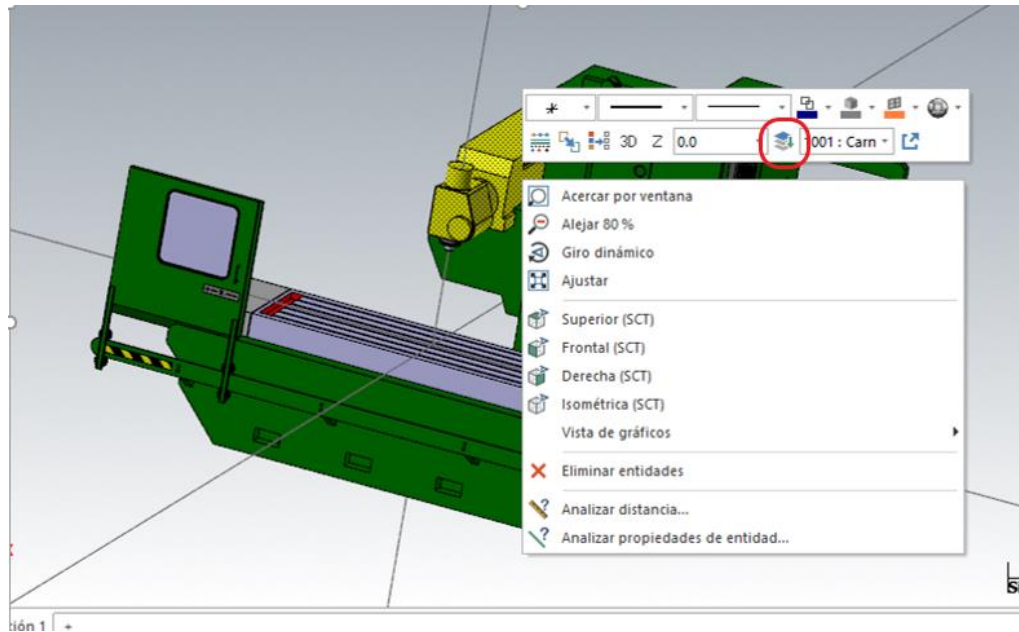


Figura 3.43: Cambiar Capa

Crearemos por tanto una capa para cada pieza con movimiento (Mesa, Carnero, Porta-Carnero, Puertas y Cabezal) y otra para todas las partes sin movimiento a la que llamaremos Bancada. Hemos creado las capas numerándolas a partir del 1000 para no tener problemas con Mastercam en futuras operaciones, y como nombre se le ha dado la de cada elemento presente en ellas para que sea más rápida e intuitiva su identificación.

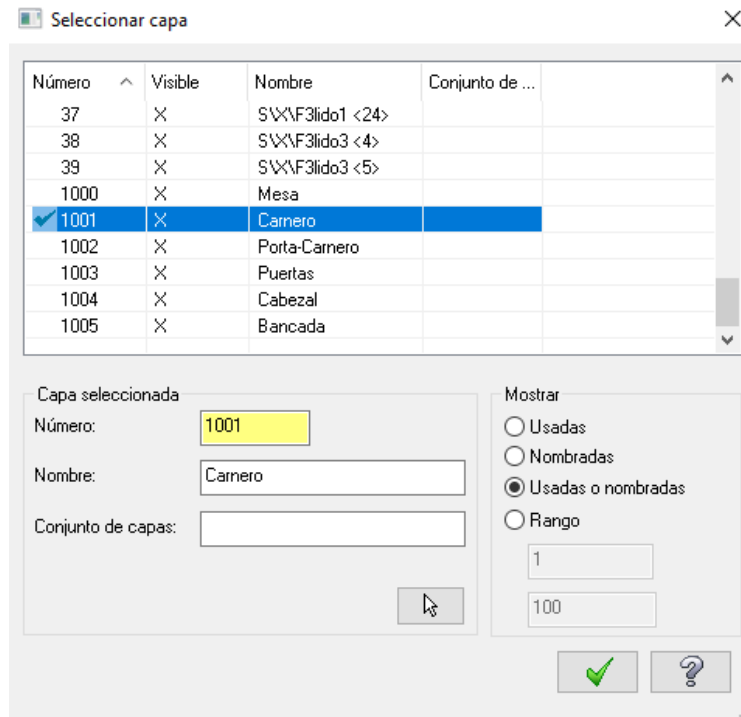


Figura 3.44: Capas

A continuación, vamos a situar la máquina con relación al origen de coordenadas de Mastercam para facilitar los pasos posteriores, para ello situaremos el origen en el centro de la superficie superior de la mesa, haciendo que el eje Z coincida con el eje de rotación del cabezal y desplazaremos el porta-carnero hasta que haga contacto con la mesa para definir el desplazamiento máximo en dicha dirección.

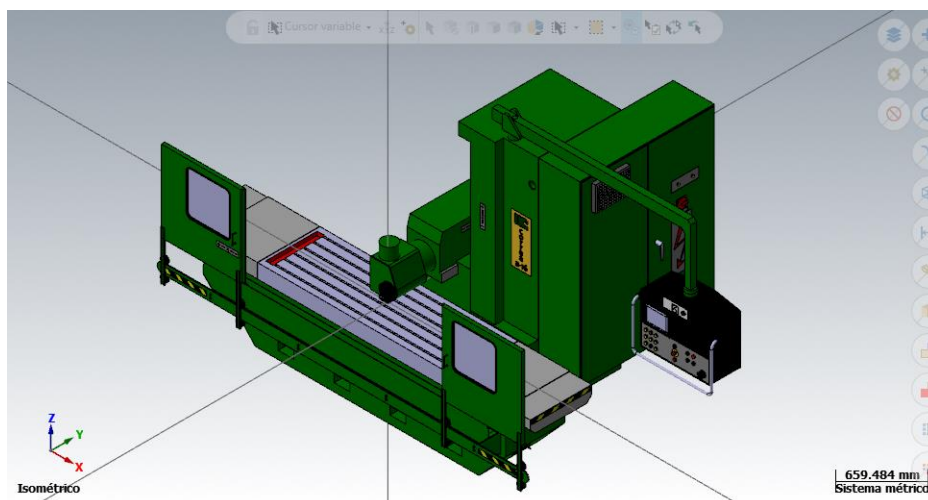


Figura 3.45: Vista Isométrica

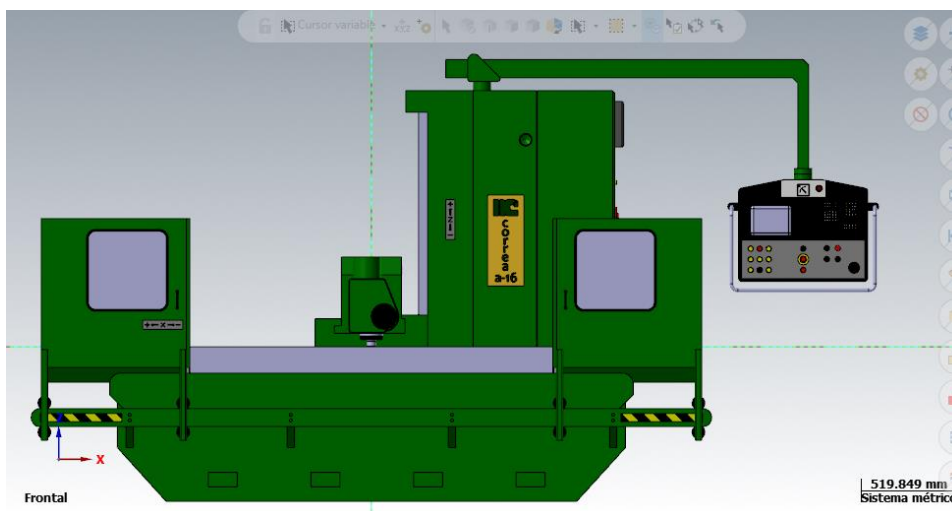


Figura 3.46: Vista Frontal

Al tratarse esta versión de una prueba de carácter educacional hay varios aspectos en lo que está limitada, por lo que aunque lo recomendable en este paso sería guardar cada geometría por separado seleccionando “Archivo” “Guardar algunas” y en formato “.stl” en esta versión (Demo HLE) no es posible por lo que deberemos guardar dichos archivos en la versión completa del programa en dicho formato, también es posible utilizar un programa auxiliar como Inventor para cambiar el formato a los archivos “.step” a archivos “.stl”, pero es recomendable hacerlo con la versión completa de Mastercam pues podemos realizar otras operaciones como cambiar de capa cada cuerpo.

En este punto al tratarse de varios cuerpos y a fin de agilizar el proceso es interesante señalar que podemos agregar un comando rápido en el teclado, a esta o a otra operación, en “Archivo” “Opciones” “Métodos abreviados de teclado” y asociar una acción como por ejemplo “Guardar algunas” a una tecla de nuestro teclado.

### 3.2.3. SIMULACIÓN EN MASTERCAM

Procederemos a simular el fresado en Mastercam mediante la fresadora que acabamos de cargar, para ello simularemos la fabricación de una pieza de geometría sencilla a fin de seguir todos los pasos para la configuración de la fresadora y posterior visualización del proceso en un entorno virtual.

Cargamos la pieza anteriormente creada en el apartado 3.1.3 “Proceso de Fabricación”

A continuación, seleccionamos todas las trayectorias (icono 1º), seleccionamos regenerar todas las trayectorias (icono 2º) y en la ventana “Máquina” hacemos abrimos las opciones de “Simulación de máquina” (icono 3º).

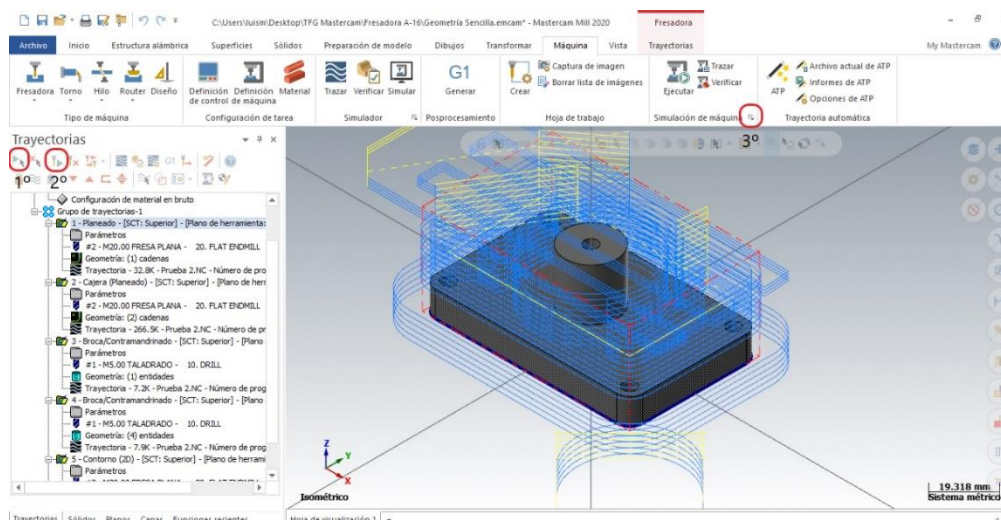


Figura 3.47: Simulación de Máquina

Aparece una ventana con múltiples opciones, en la ventana “Simulación de máquina” en la opción “Máquina” seleccionamos el tipo de fresadora que más se ajusta a nuestro modelo, en nuestro caso una fresadora de 3 ejes, por lo que elegimos la máquina “1\_3AXGEN\_VMC”.

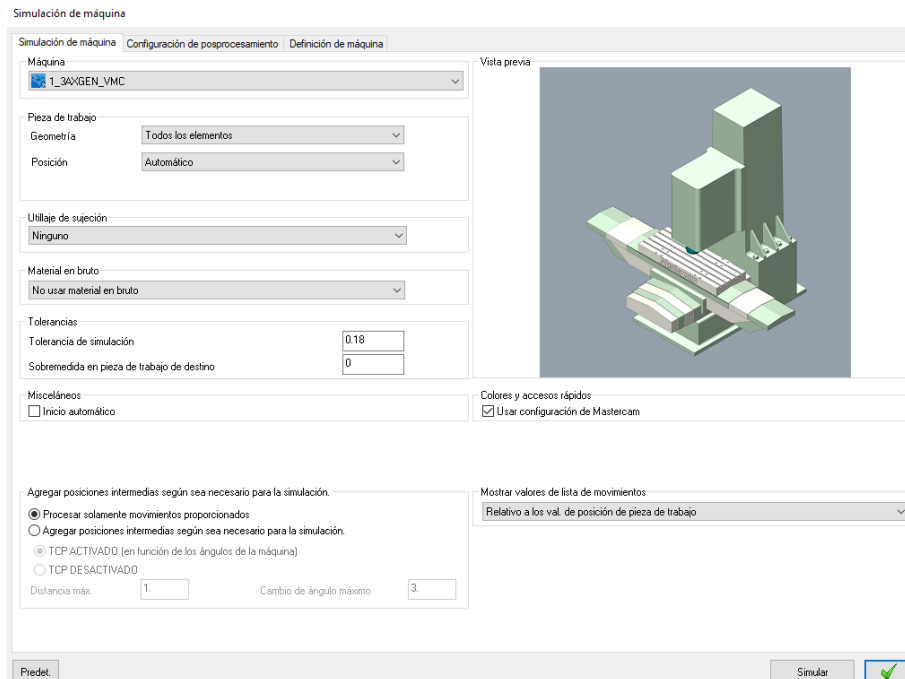


Figura 3.48: Opciones Simulación de Máquina

En la ventana “Definición de máquina” comprobaremos que el modo de detección está en la opción “Detección automática completa” para no tener futuros problemas con movimientos como por ejemplo el movimiento de las puertas en el eje X.

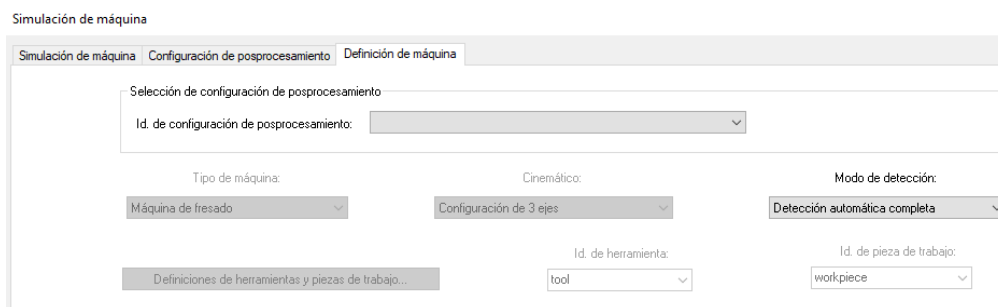


Figura 3.49: Opciones Simulación Definición de Máquina

Una vez realizados estos pasos seleccionamos “Simular” y entraríamos en el modo simulación de Mastercam.



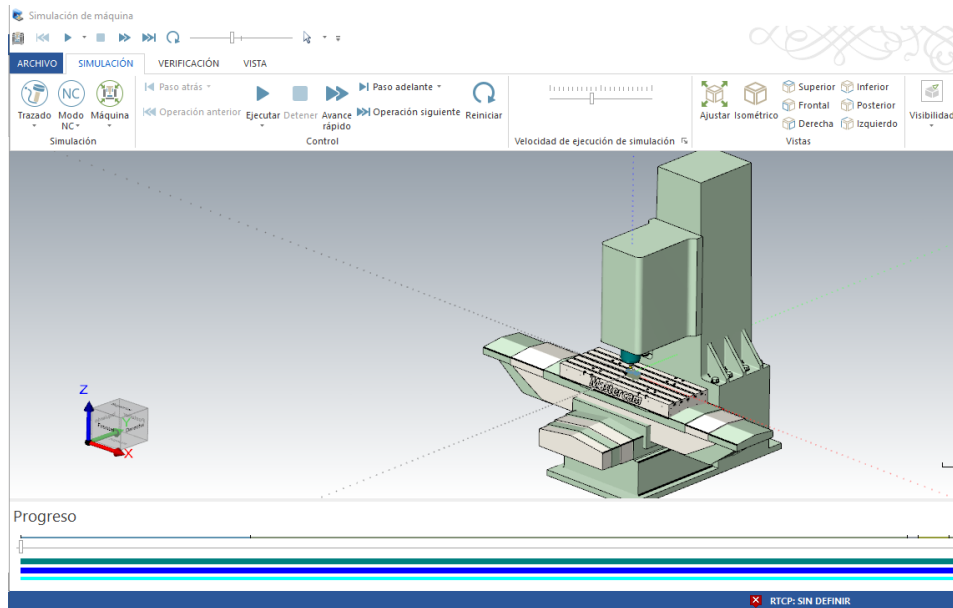


Figura 3.50: Ventana Simular

Nos dirigimos a la venta “Vista” y comprobamos que la opción “Máquina” está habilitada que nos permitirá ver el árbol de componentes de la máquina.



Figura 3.51: Simulación Vista

Procedemos a crear una nueva máquina, para ello seleccionamos “Editar máquina” y después “Nueva máquina” para cargar cada componente de nuestra máquina anteriormente guardado en formato “.stl”. En este apartado podemos darle nombre a nuestra fresadora con el fin de reconocerla rápidamente, en nuestro caso A-16.



Figura 3.52: Simular Nueva Máquina

Haciendo click con el botón derecho del ratón sobre nuestra máquina podremos añadir los movimientos (agregar ejes de traslado o ejes de rotación), los componentes de la máquina asociados a ellos (agregar geometría) y las herramientas de mecanizado (agregar elemento dinámico).

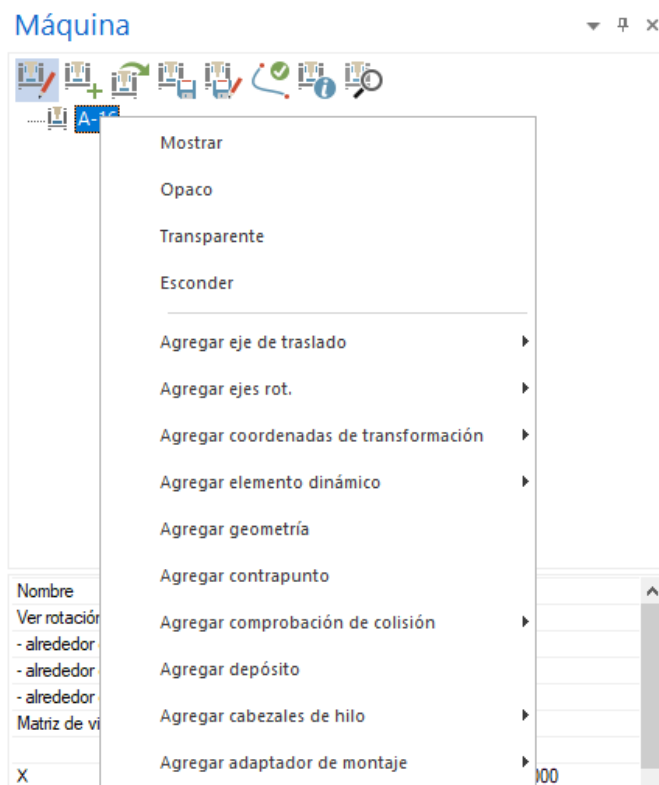


Figura 3.53: Simular Nueva Máquina 2

Una vez cargados todos los elementos y asociados a sus movimientos [Mesa movimiento en el eje X, Porta-carnero movimiento en el eje Z, Carnero en el eje Y y a su vez solidario al Porta-carnero y Cabezal giro en torno al eje Z (eje C en Mastercam) y solidario al Carnero] podemos cambiar la apariencia de cada elemento su color, o transparencia (en el caso de las ventanas) con el fin de

aproximarnos lo más posible a nuestra fresadora real. También hemos introducido el movimiento sobre el eje X de las puertas.

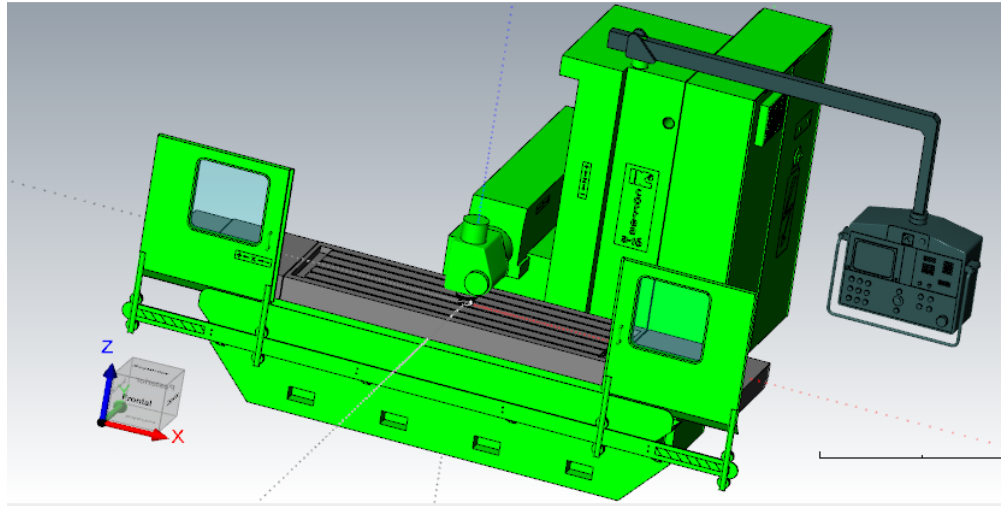


Figura 3.54: Simulación Fresadora A-16

Y el árbol de descripción de movimientos de la máquina quedaría de la siguiente manera:

## Máquina

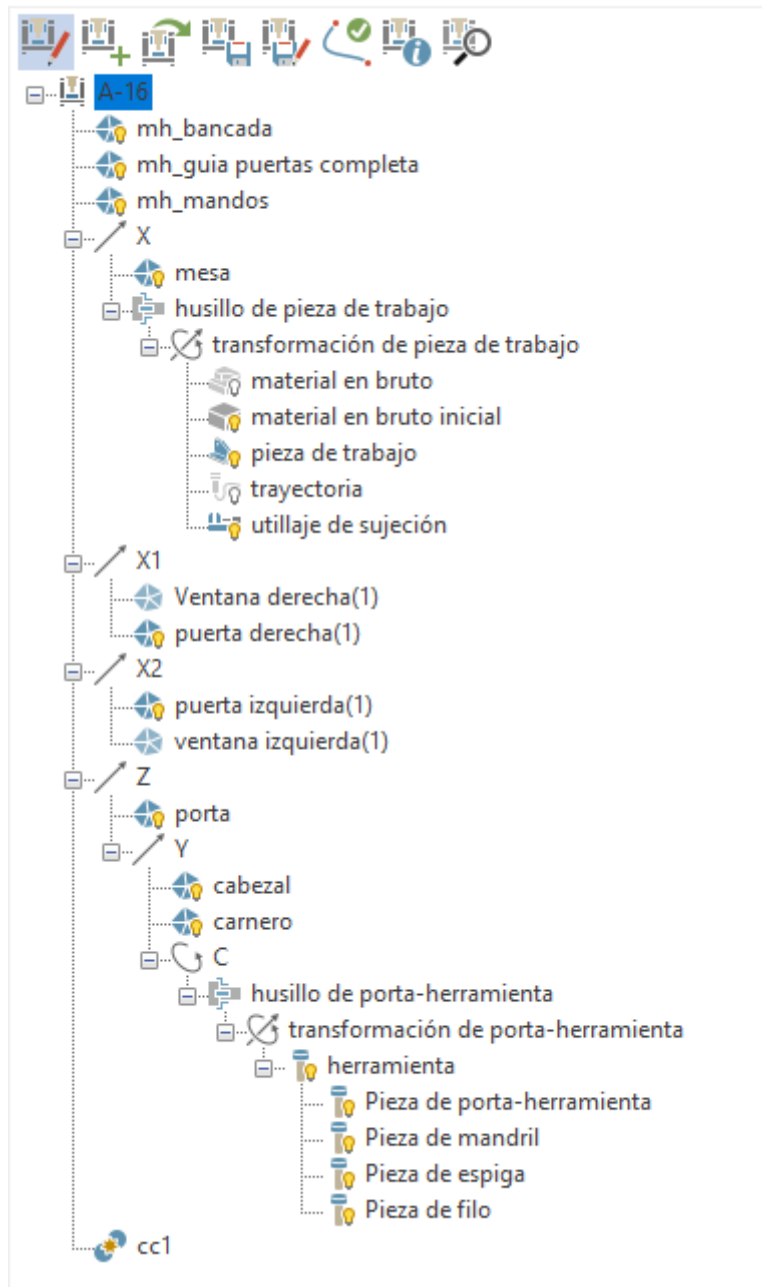


Figura 3.55: Simulación Árbol Fresadora A-16

En el caso de los objetos fijos como son la bancada, mandos y guías de las puertas los introducimos en la simulación como parte de la carcasa de la máquina para posteriormente poder ocultarlos cuando seleccionemos ocultar carcasa.

Añadimos la pieza de trabajo solidaria a la mesa, y la herramienta de fresado al cabezal del carnero, en este caso al movimiento de revolución sobre el eje Z

(eje C en Mastercam), y agregamos una comprobación de colisión, en esta parte aparecerán dos ventanas en una de ellas añadiremos la herramienta y en la otra todas aquellas partes con las que pueda tener contacto, en nuestro caso hemos añadido las siguientes partes:

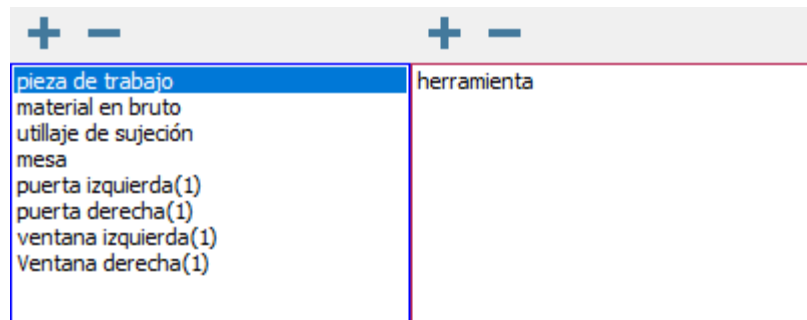


Figura 3.56: Colisiones

A continuación, en la venta “Máquina” seleccionando cada uno de los movimientos (X, X1, X2, Z, Y, C) introduciremos los desplazamientos máximos, mínimos y el valor inicial de cada pieza asociada a ese desplazamiento. Activando la opción “Control de Eje” en la venta “Vista” podremos comprobar de manera visual cada elemento y sus desplazamientos.

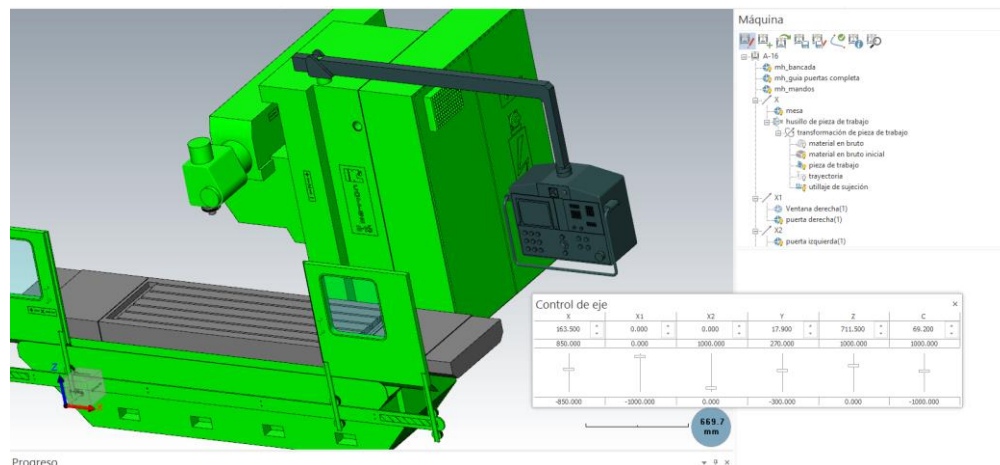


Figura 3.57: Control de Ejes y Valores

En el menú de opciones es recomendable activar las opciones en “Propiedades de Simulación”, “Mostrar notificaciones durante Avance rápido”, “Límite de eje excedidos” y “Valor de eje no coincidente”.

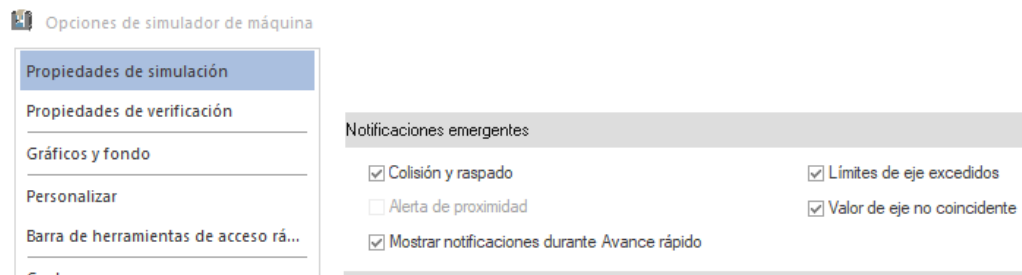


Figura 3.58: Opciones de Simulación Propiedades

Y en la ventana de “Gráficos y fondo” desactivar “Mostrar punto centro de la máquina” y activar “Mostrar punto de coordenadas de trabajo”.

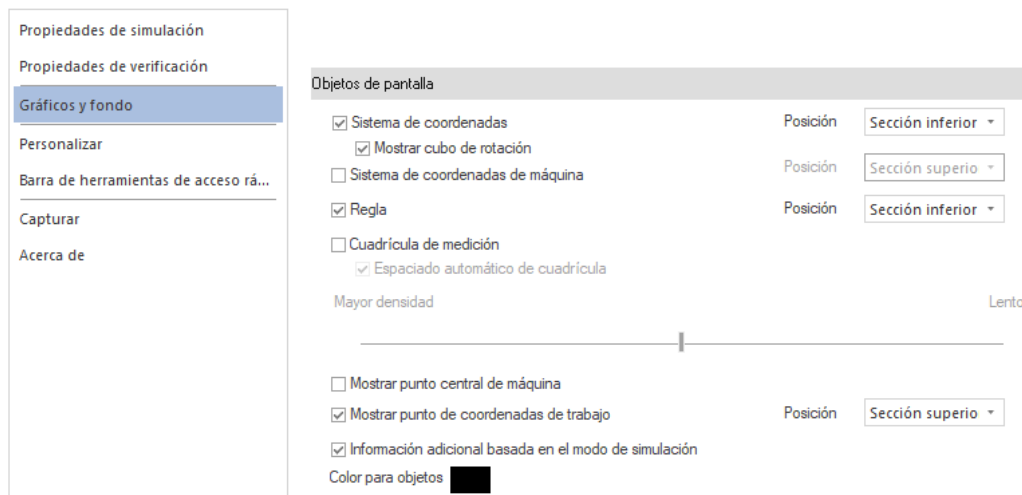


Figura 3.59: Opciones de Simulación Gráficos

Tras esto procedemos a guardar la máquina llamada A-16 en un formato “.xml” sobre la que después trabajaremos en nuestras simulaciones. Podemos también guardar una imagen en formato “.GIF” de la misma, en la misma carpeta y con el mismo nombre y de esta manera la imagen será reconocida al seleccionar el tipo de máquina en la posterior simulación. En la versión de estudiantes (HLE) no es posible cambiar el formato de guardado por lo que esta parte se debería realizar con la versión completa del programa o bien con Inventor cargando la geometría de la fresadora completa en formato “.stp” y exportándola en formato “.GIF”.

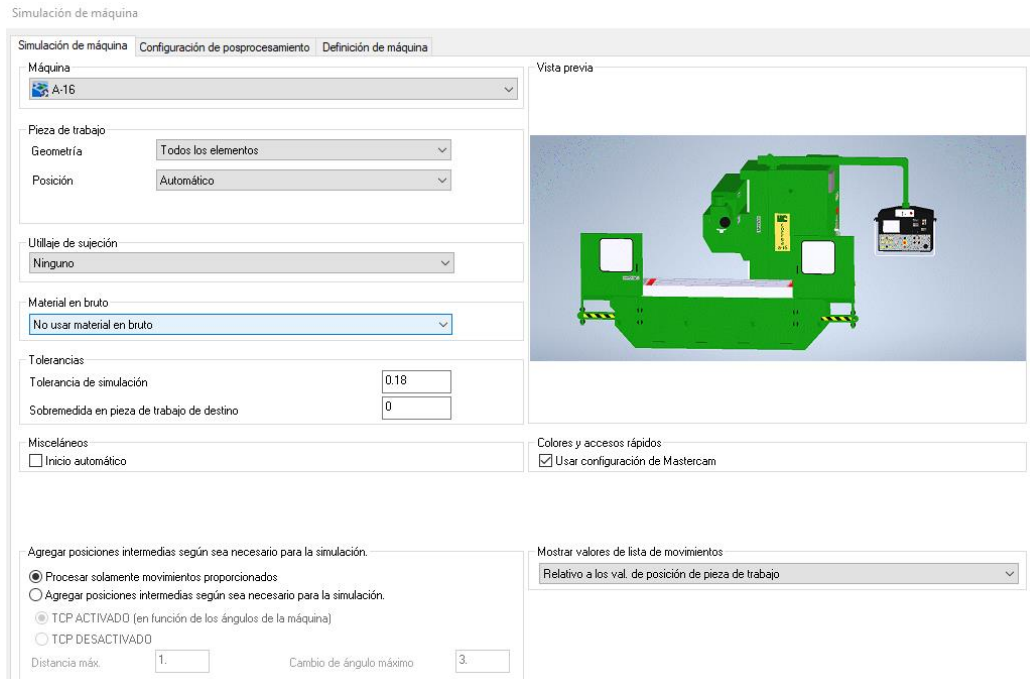


Figura 3.60: Selección Fresadora Simulación

Por último debemos copiar la carpeta donde hemos guardado todos los archivos de la fresadora (archivos “.stl” de las partes, archivo en “.xml” de la fresadora creada y el archivo “.GIF” con la imagen de la misma) y copiarla dentro de los archivos de Mastercam donde se encuentran el resto de las fresadoras por defecto, generalmente guardadas dentro de la instalación del programa en la dirección (C:\Users\Public\Documents\Shared Mastercam 2020\MachineSimulation\MachSim) dentro del disco duro del ordenador. De esta manera ya tendríamos creada nuestra fresadora A-16 de Nicolás Correa en Mastercam y podríamos cargarla para operar con ella.

### 3.2.4. CARGA Y COMPATIBILIDAD DE ELEMENTOS EXTERNOS DE FIJACIÓN

Con el fin de aproximarnos lo máximo posible a nuestra situación real vamos a introducir unos elementos de fijación anclados a la mesa y serán los encargados de soportar todas las fuerzas sobre el mecanizado de la pieza. La parte más interesante en el estudio sobre Mastercam es evitar las colisiones que se pudieran producir entre la máquina-herramienta y estas fijaciones.

Dependiendo la geometría inicial y final del material se deberán elegir unos elementos de fijación u otros. Mediante Mastercam podemos posicionar de manera sencilla dichos elementos en su lugar de trabajo en el espacio 3D.

Para ello ya en Mastercam deberemos abrir un archivo nuevo, en nuestro caso vamos a montar una mordaza previamente maquinada en Catia como se mostró en el apartado 2.6.7 Sistemas de Sujeción en la Figura 2.15 (Mordaza).

De igual manera que importamos la fresadora hacemos con los elementos de sujeción, seleccionamos “Archivo” y después “Combinar” y seleccionamos en formato **.STP** los archivos de mordaza y bridas, en nuestro caso vamos a importar también la mesa de la fresadora con el fin de posicionar los elementos de fijación en su posición exacta.

En la ventana “Estructura alámbrica” encontramos los comandos “Curvas” especialmente “Curva en una arista” y “Curvas en todas las aristas” que son muy útiles para obtener todas las aristas de un cuerpo especialmente en objetos no rectos.

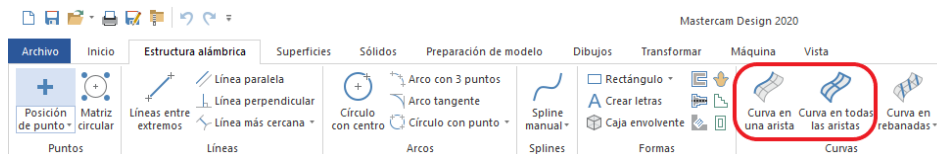


Figura 3.61: Comando Curvas

Cabe destacar que Mastercam nos permite de manera muy sencilla trasladar, girar o alinear sólidos en el espacio virtual 3D por lo que podemos por ejemplo modificar la apertura de las mordazas para ajustarla al tamaño de la pieza a mecanizar. Para ello vamos a la ventana “transformar” y en ella seleccionamos la opción “trasladar”, seleccionamos las partes de la mordaza a trasladar, y colocamos el origen en la cara interior de la superficie de la mordaza a mover.

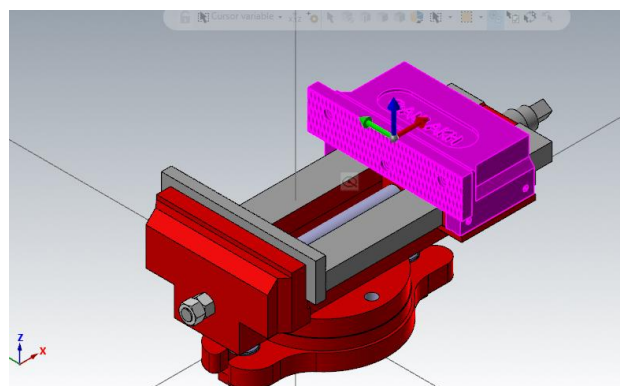


Figura 3.62: Desplazar Mordaza



A continuación, seleccionamos el eje sobre el cual queremos realizar el desplazamiento, eje X en nuestro caso, y en la ventana izquierda podemos introducir el valor exacto del desplazamiento que queremos realizar. Podemos bien medir la apertura de las mordazas en el momento actual con el botón derecho del ratón y el comando “medir distancia” y con la diferencia de longitud de nuestra pieza obtener el valor exacto, o bien cerrar las mordazas a tope en el espacio virtual pues Mastercam nos da una referencia al sólido para hacer coincidir con la otra cara, y tras esto abrirlas con el valor de nuestra pieza a mecanizar.

Una vez posicionada en su lugar de trabajo obtenemos el siguiente conjunto:

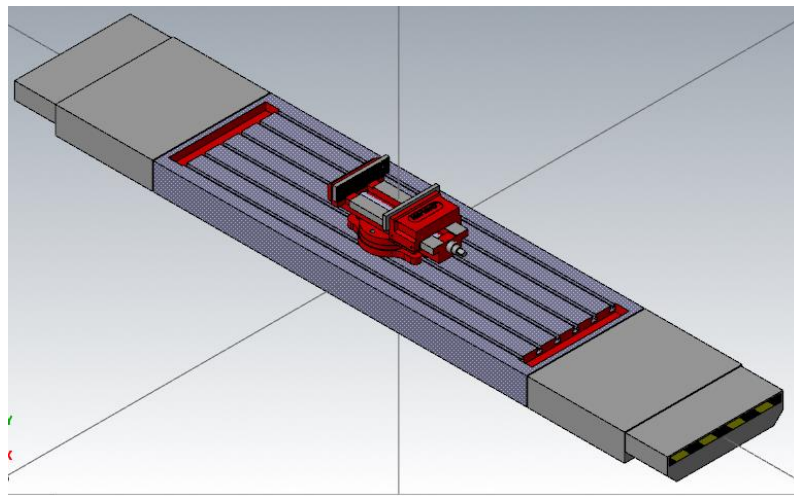


Figura 3.63: Mesa con Mordaza

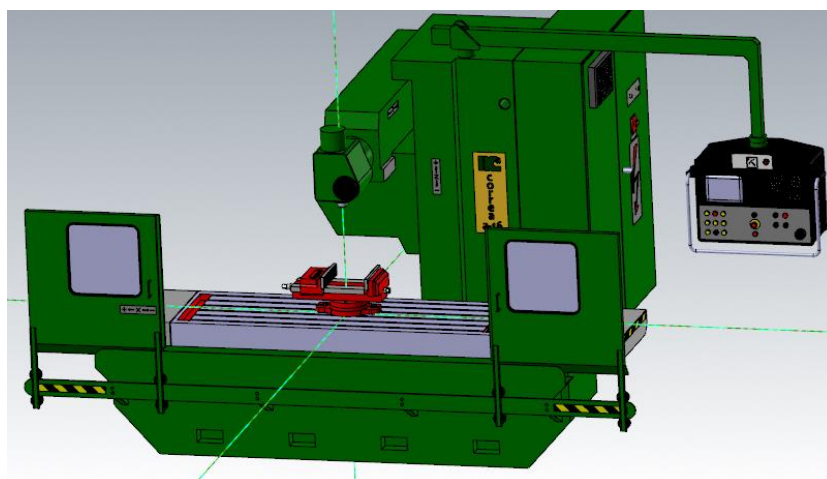
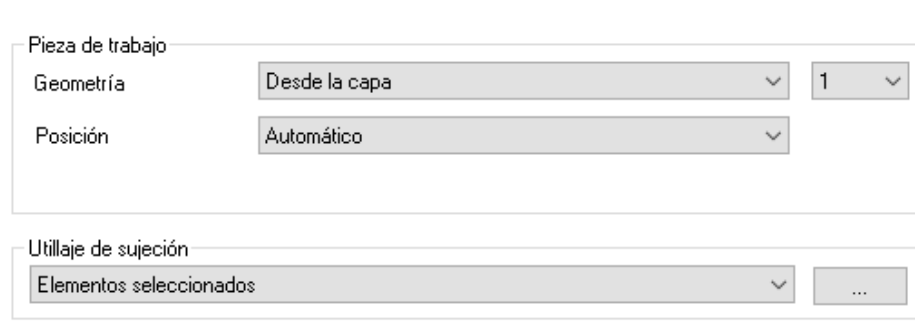


Figura 3.64: Fresadora con Mordaza

Dentro de las opciones de “Simulación de máquina” vistas anteriormente y con nuestra fresadora ya cargada en “Máquina” seleccionaremos geometría “Desde la capa” con el nivel o capa 1 seleccionado de modo que almacene toda la pieza en dicho nivel. Y en la opción Utilaje de sujeción seleccionamos “Elementos seleccionados”.

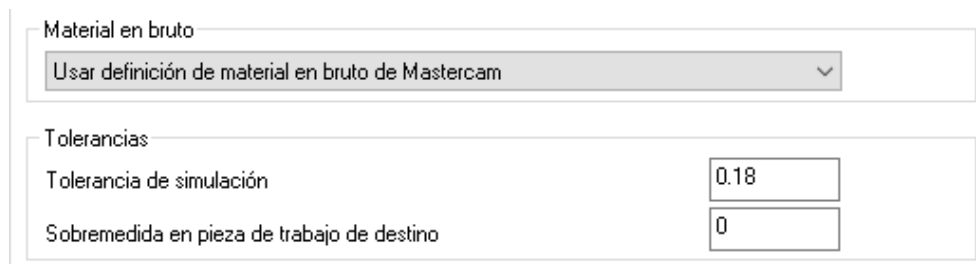


The image shows a software interface for machine simulation. It is divided into two main sections. The first section, titled "Pieza de trabajo" (Workpiece), contains three dropdown menus: "Geometría" (Geometry) set to "Desde la capa" (From layer), "Posición" (Position) set to "Automático" (Automatic), and a numeric dropdown set to "1". The second section, titled "Utilaje de sujeción" (Clamping tooling), contains a dropdown menu set to "Elementos seleccionados" (Selected elements) and a button with three dots "...".

Figura 3.65: Opciones Simulación Máquina Fijación

Como hemos visto en anteriores apartados se puede configurar el material en bruto del que parte nuestra pieza y ver en la simulación de trayectorias como es eliminado y si las trayectorias son correctas o redundantes. Seleccionaremos por tanto en la opción de “Usar definición de material bruto de Mastercam” para facilitar procesos de fresado más complejo en el futuro.

En cuanto a la tolerancia de simulación a la hora de detectar colisiones dejaremos el valor por defecto de Mastercam pues para el tamaño de las piezas y la máquina es un valor óptimo.

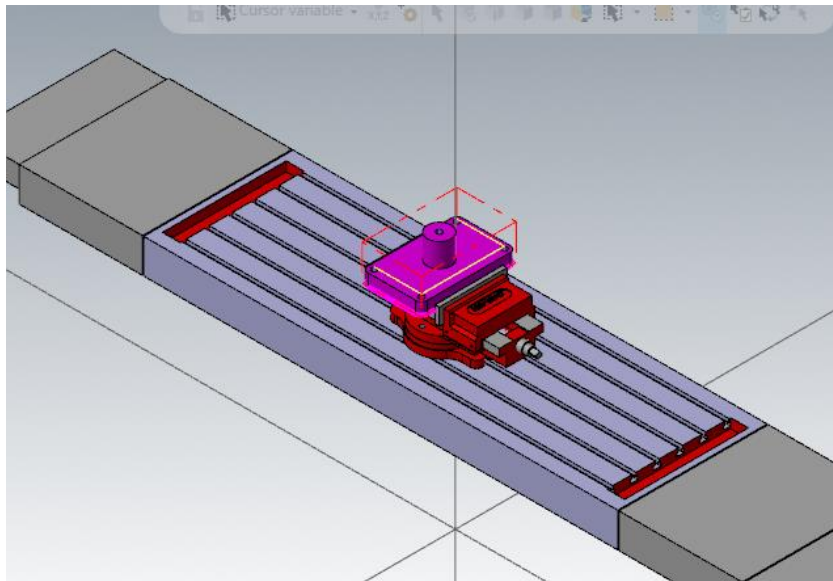


The image shows a software interface for simulation options. It is divided into two sections. The first section, titled "Material en bruto" (Raw material), contains a dropdown menu set to "Usar definición de material en bruto de Mastercam" (Use raw material definition from Mastercam). The second section, titled "Tolerancias" (Tolerances), contains two input fields: "Tolerancia de simulación" (Simulation tolerance) with the value "0.18" and "Sobremedida en pieza de trabajo de destino" (Overallowance on destination workpiece) with the value "0".

Figura 3.66: Opciones Simulación Máquina M. bruto y Tolerancias

### 3.2.5. SIMULACIÓN FRESADO

Finalmente, una vez cargada y configurada la fresadora en Mastercam procedemos a realizar una simulación de fresado de una pieza en el entorno virtual de Mastercam, simularemos la pieza anteriormente presentada sobre la que se introdujeron las trayectorias de fresado en el apartado “3.1.3 Proceso de fabricación”, dicha pieza estará amarrada a la mesa de nuestra fresadora mediante una mordaza.



*Figura 3.67: Simulación de Fresado*

El objetivo principal de la simulación es evitar posibles colisiones tanto entre la herramienta y la máquina, como con el elemento de fijación, a su vez, comprobar visualmente que todas las trayectorias de fresado se realizan correctamente, no hay interferencias entre la herramienta y la pieza en los retornos de la herramienta y ninguna parte móvil del conjunto entra en contacto con otra. Por otra parte, mediante la simulación podemos comprobar los tiempos de mecanizado, tiempos en vacío, trayectorias redundantes, potencia consumida y cambios de herramienta, lo que nos permite optimizar el proceso virtualmente, abaratando costes de manera que podamos reproducir en el taller las operaciones de fresado una vez encontremos la mejor solución de mecanizado. Todos estos datos aparecerán en la ventana en la parte derecha de la pantalla.

Para proceder a la simulación, de la misma manera que hemos procedido anteriormente, en el árbol de trayectorias seleccionaremos “seleccionar todas las operaciones”, “regenerar todas las operaciones” y finalmente en la ventana

máquina, “simulación de máquina”. Como máquina seleccionamos nuestra fresadora guardada como A-16 y las opciones de simulación deberían estar guardadas del anterior apartado, si no es así marcaremos las mismas que en el apartado anterior “3.2.3. Simulación en Mastercam” y en la opción “Utilillaje de sujeción” marcaremos “Elementos seleccionados” marcando todas las partes de nuestra mordaza. Finalmente seleccionamos “Simular” y obtenemos la siguiente representación de nuestra fresadora con la pieza a mecanizar.

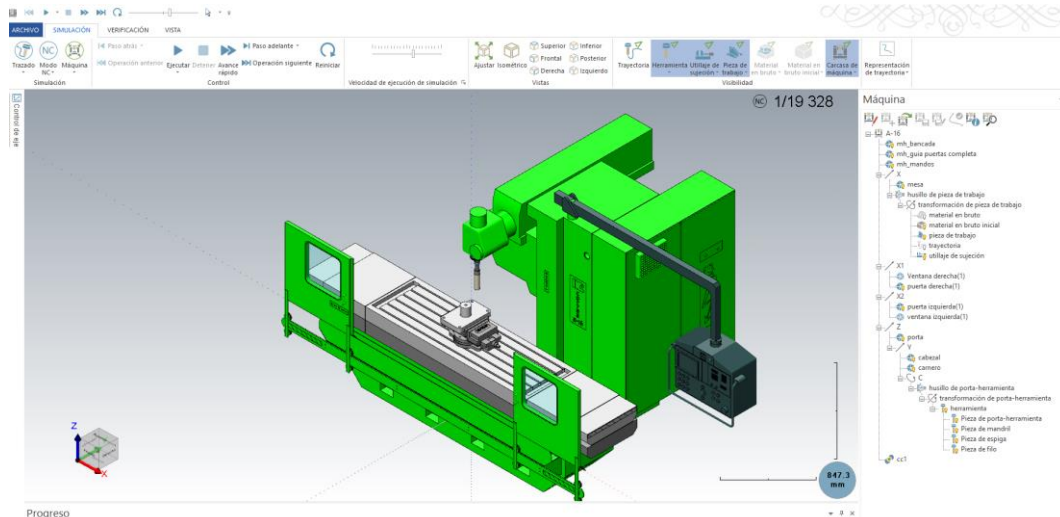


Figura 3.68: Simulación pieza final

Accionando “Ejecutar” comienza la simulación de todas las trayectorias, podremos aumentar o disminuir la velocidad de la simulación, marcar que partes queremos que sean visibles, la carcasa de la máquina, la herramienta, trayectorias, material en bruto... Cuando se produzca una interferencia entre cualquier parte móvil y los elementos de sujeción o la propia máquina nos saltará un mensaje de alerta y esa pieza se volverá de color rojo para indicarnos la colisión, por lo que debemos revisar las trayectorias para evitar dicha colisión.

Al haber introducido las puertas como parte móvil podremos también abrirlas o cerrarlas para comprobar que no causan ninguna interferencia en el proceso de mecanizado, para ello en la ventana “Control de eje”, vista con anterioridad, y seleccionando las coordenadas de ambas puertas “X1 y X2” podremos desplazarlas en cualquiera de sus posiciones.

Podremos ver en la ventana “Lista de movimientos” cada uno de los desplazamientos del proceso de mecanizado que serán los que luego se trasladen a la fresadora real mediante el código de post-procesado, En la

ventana “Análisis” podremos centrar el fresado dependiendo de cada una de las operaciones del mecanizado, el número de la herramienta, o el tipo de operación entre otras, cambiando los colores para distinguir mejor las diferentes partes del proceso. La ventana “Estadísticas” nos da velocidades y posición de la herramienta, del husillo, tipo de operación... En esta ventana también encontramos el tiempo de mecanizado total y por operación, número de cambios de herramienta y desplazamientos máximos. Por último, en la ventana “Simulación” podremos marcar varias opciones para hacer que la simulación nos permita ver las partes más importantes del proceso, por ejemplo, al detener al cambiar de herramienta o de operación, o establecer condiciones de parada en función de la posición de la herramienta.

Entre otras opciones, la simulación en Mastercam nos permite fácilmente capturar imágenes del proceso o grabar todo o parte del proceso en vídeo, en la opción “Iniciar captura de vídeo”, podemos ver simultáneamente todo el proceso en distintas ventanas desde diferentes ángulos para tener un control total de todas las trayectorias.

En nuestro ejemplo hemos estructurado las operaciones de mecanizado de la siguiente manera.

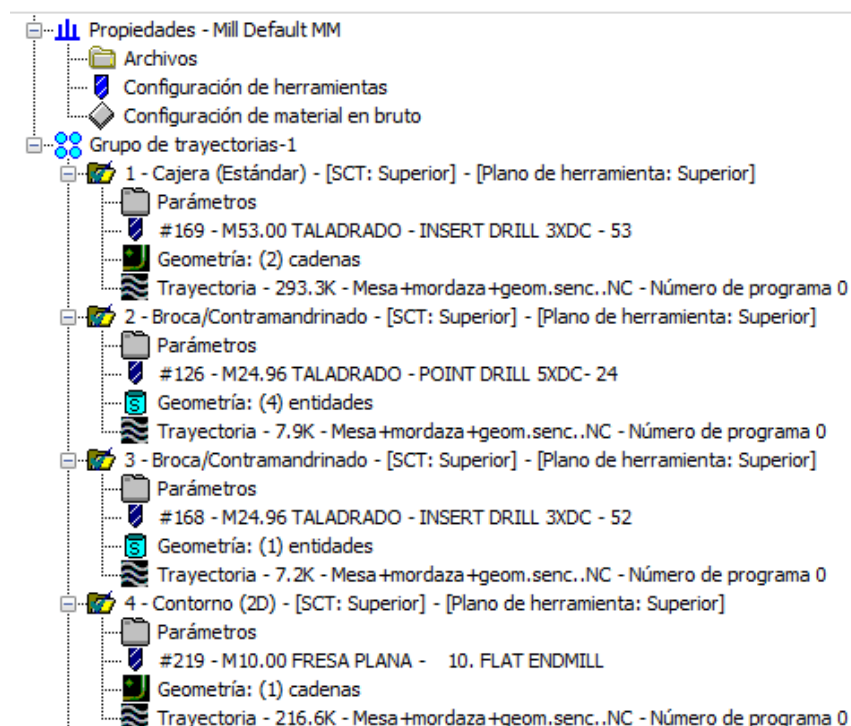


Figura 3.69: Árbol operaciones simulación

Donde en primer lugar realizaremos el fresado de la isla central de la pieza mediante una operación de fresado en cajera, seleccionando una fresa del catálogo de 53 mm de diámetro, 159 mm de longitud de corte, 269 mm de longitud total y con un ángulo de punta de  $180^\circ$ , adecuada para la operación de desbaste y acabado a realizar en referencia al tamaño de la pieza, profundidad de cada pasada e interferencias con el portaherramientas.

En segundo lugar se realiza un cambio de herramienta para realizar los 5 taladros en la pieza, para ello se ha elegido una broca de 25 mm de diámetro con una longitud de corte de 124 mm, longitud total de 221 mm y un ángulo de punta de  $124^\circ$ , esta operación se ha dividido en dos partes primero realizando los cuatro agujeros perimetrales de la pieza y posteriormente en otra operación pero sin cambiar de herramienta el taladro central debido a que es más profundo y la retracción de la herramienta debe ser mayor por lo que si se realizara entre los otros taladros el tiempo en vacío de la herramienta sería mayor y aumentaría el tiempo y el coste del mecanizado, a su vez de esta manera evitamos posibles contactos indeseados entre herramienta y pieza. En dichas operaciones hemos estipulado 5 mm como profundidad pasante de la herramienta con el fin de eliminar posibles rebabas, pero este será un punto importante en la simulación para verificar que no se produzcan interferencias entre la herramienta y los elementos de fijación.

Por último, se ha realizado un fresado de contorno con una fresa plana de 10 mm de diámetro, 10 mm de longitud de corte, 20 mm de longitud total y esquina en forma de ángulo a  $90^\circ$  para dar forma curva a la pieza en sus aristas.

#### Definir Fresa plana

Ajuste las propiedades geométricas utilizadas para definir la forma de la herramienta.

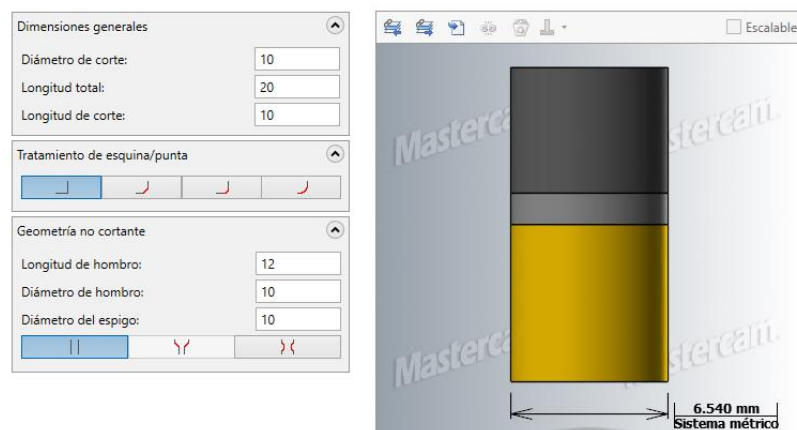


Figura 3.70: Geometría fresa plana

De la manera que hemos indicado anteriormente procedemos a realizar la simulación sobre nuestra fresadora creada, para ello seleccionamos todas las operaciones, regeneramos las mismas y en la ventana “Máquina” “Simulación de máquina” seleccionamos nuestra fresadora A-16.

Durante la simulación de la primera operación, “cajera”, podemos ver el correcto funcionamiento de todo el proceso donde no se producen interferencias, en la ventana estadísticas podemos ver los valores de tiempo de mecanizado, bloque o posición de la herramienta.

Como hemos seleccionado “Detener al cambiar de herramienta” en las opciones de simulación al terminar la operación de cajera y cambiar la herramienta para los taladros nos aparece el siguiente mensaje en pantalla.

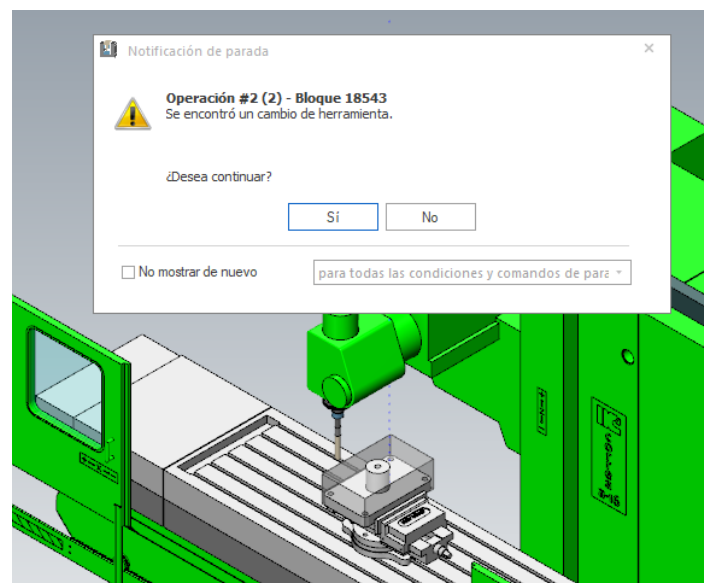


Figura 3.71: Cambio de herramienta

Podemos ver como en la simulación aparece ya la broca seleccionada para los taladros, aceptamos por lo que el programa continúa con las dos siguientes operaciones de taladrado para los 5 agujeros en nuestra pieza sin interferencias, lo que es una buena señal debido a la profundidad adicional que le hemos dado a dicha operación y no presenta ninguna interferencia con la mordaza.

Por último, tras finalizar las operaciones de taladrado aparece nuevamente en pantalla el mensaje de cambio de herramienta para la cuarta operación, “contorno” pero al aceptar encontramos la primera colisión entre la herramienta de trabajo y la pieza.

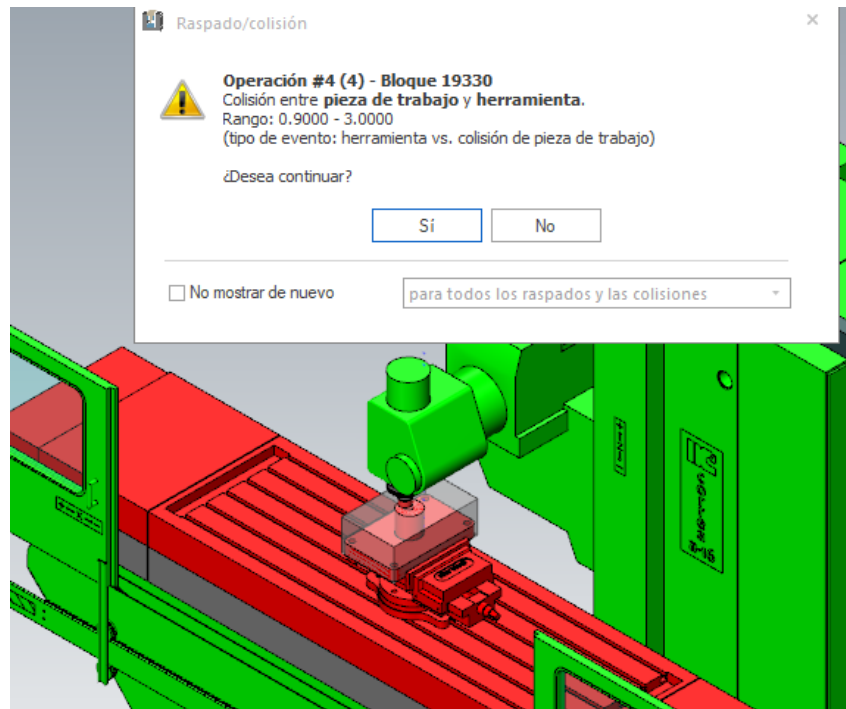


Figura 3.72: Colisión pieza herramienta

Debemos modificar la trayectoria o la herramienta de dicha operación para solucionar esta interferencia, pero antes de eso vamos a continuar para detectar más colisiones si las hubiera. Seleccionamos continuar y nos encontramos otra colisión esta vez entre la herramienta y la mordaza.





**Operación #1 (4) - Bloque 3301**

Colisión entre **pieza de trabajo y herramienta.**

Rango: 0.9000 - 3.0000

(tipo de evento: herramienta vs. colisión de pieza de trabajo)

¿Desea continuar?

Sí

No

No mostrar de nuevo

para todos los raspados y las colisiones

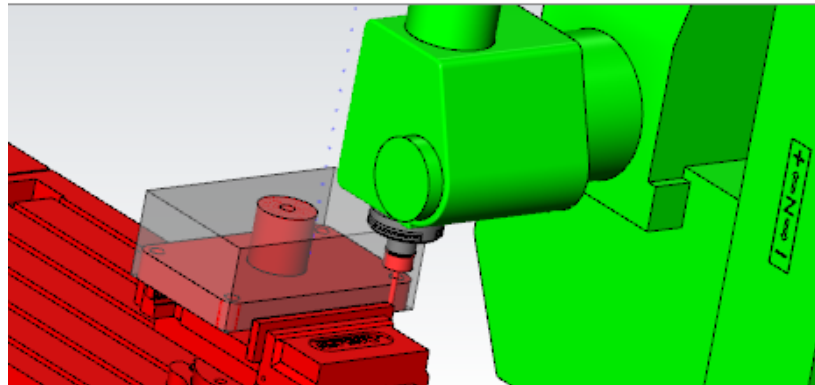


Figura 3.73: Colisión herramienta mordaza

Por lo tanto, deberemos salir del módulo de simulación y solucionar dichas incidencias.

Seleccionamos una herramienta de fresado con una longitud de corte al menos superior a 50 mm, que es la anchura de la base, para evitar contactos entre el portaherramientas y la pieza, por lo que en la biblioteca de herramientas de Mastercam elegimos una que se ajuste a nuestras necesidades.

### Definir Fresa plana

Ajuste las propiedades geométricas utilizadas para definir la forma de la herramienta.

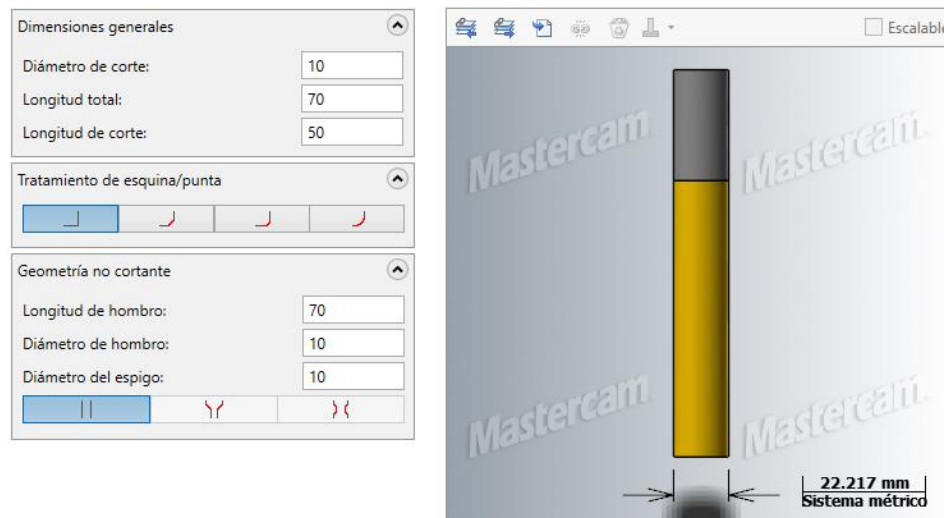
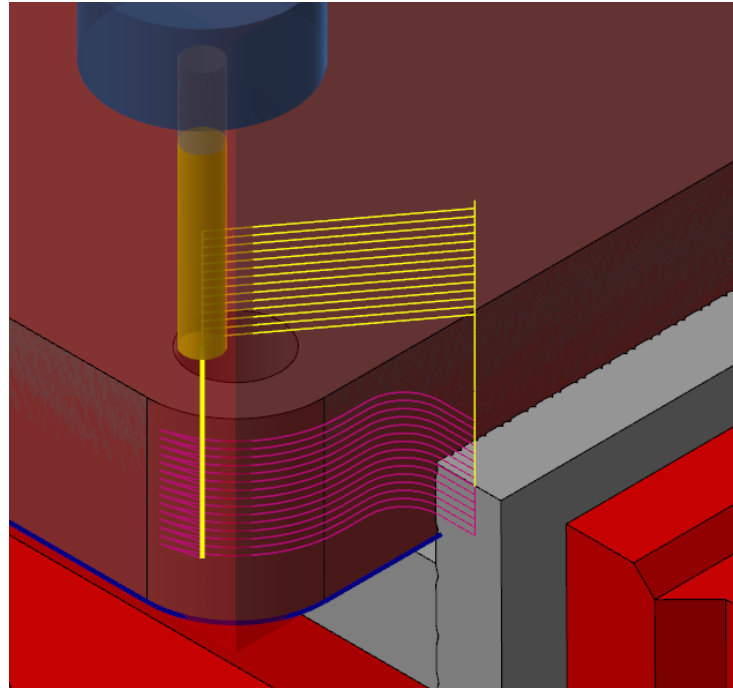


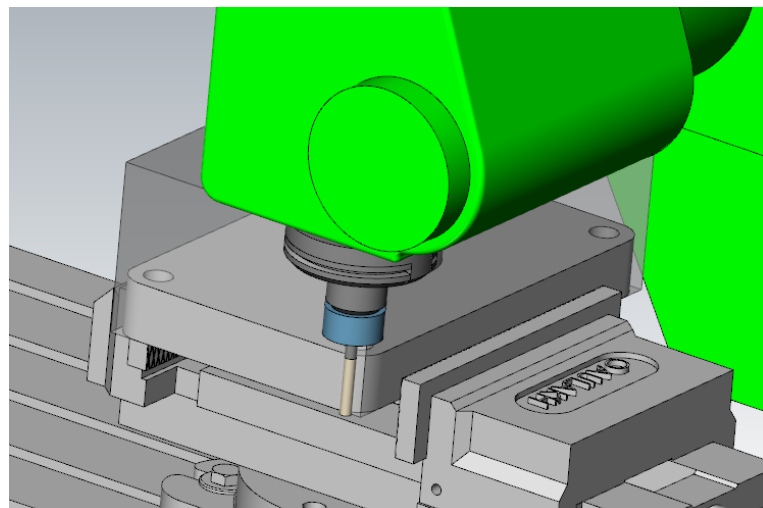
Figura 3.74: Fresa contorno

A continuación, vamos a trayectorias de fresado y eliminamos la trayectoria anterior que nos producía interferencias con la mordaza de sujeción y seleccionaremos únicamente las cuatro aristas que en nuestra pieza final tienen un radio de curvatura de 25 mm. Para ello seleccionamos la operación 4 “contorno” en el árbol de operaciones, “Parámetros”, “Tipo de trayectoria” y en “Geometría de cadena” eliminamos la geometría anterior y seleccionamos la geometría deseada.



*Figura 3.75: Trayectorias fresado contorno*

De esta manera y variando parámetros de vinculación, retracciones, entradas y salidas obtenemos la trayectoria deseada para nuestra operación de fresado y nuevamente accedemos al módulo de fresado para verificar el funcionamiento adecuado de todo el proceso.



*Figura 3.76: Simulación final fresado*



De esta forma, además de comprobar las trayectorias correctas para la fabricación de esta pieza, podemos verificar el correcto funcionamiento de nuestra máquina fresadora implementada en el módulo de simulación de Mastercam, lo que nos será muy útil de cara a futuros procesos de fabricación que deseemos estudiar mediante esta herramienta de fresado virtual.

Podremos por lo tanto en futuros proyectos trabajar sobre piezas de complejidad más elevada, para su fabricación y donde el contacto entre las partes móviles de la máquina y la herramienta puedan entrar en contacto más fácilmente con la pieza y donde el estudio tenga un carácter más trascendente. Por otra parte, podemos modificar también los elementos de sujeción dependiendo del material presente en el taller o si fuera necesario elementos específicos para la sujeción de una pieza dada, pudiendo estudiar las posibles colisiones de estos elementos durante todo el proceso de fresado.

Por último, todo este proceso de simulación es extrapolable a otras máquinas herramienta sobre las que trabajemos, con sus peculiaridades propias, pero con unas opciones de trayectorias, simulación y vista de datos muy parecidas por lo que nos puede servir de base para ampliar el estudio de mecanizado sobre piezas que requieran más de una operación de fabricación, como por ejemplo un fresado posterior a un mecanizado en torno.



### 3.3. Repercusiones en seguridad

En todo este estudio se ha hecho especial hincapié en los beneficios del uso de Mastercam para simular el proceso de fresado en un espacio virtual, buscando su optimización y por tanto una eficiencia económica en todo el proceso, pero cabe señalar la importancia que tiene la simulación virtual previa al mecanizado real en el campo de la seguridad.

Previamente a la instalación de una máquina de grandes dimensiones en el espacio de trabajo se debe realizar un estudio de seguridad, teniendo en cuenta la normativa vigente de protección contra incendios, que requiere unos pasillos de paso con unas dimensiones mínimas, además generalmente estos talleres cuentan con más de una máquina con partes móviles que pueden interferir entre ellas, u ocupar el espacio de trabajo de algún operario o de los pasillos de evacuación, por todo ello Mastercam es muy útil para garantizar que se cumplan todas las medidas de seguridad pertinentes pudiendo simular los movimientos de cada una de las máquinas y pudiendo realizar una distribución en planta adecuada cumpliendo la normativa de cada espacio de trabajo.

El hecho de implementar Mastercam, o un programa de simulación del mecanizado en cualquier tipo de empresa, por muy pequeña que sea, es siempre una buena opción porque además de optimizar económicamente cada uso de las máquinas del taller, podremos garantizar en materia de seguridad el bienestar de todos los trabajadores pues de otra manera, sin un sistema informático que nos ayude, sería muy difícil asegurar que se cumplan todas las medidas.





# Capítulo 4. Conclusiones y mejoras futuras

## 4.1. Conclusiones

El proceso de trabajo ha sido, inicialmente, la conversión de cada pieza modelada previamente en Catia v5 a un formato correcto para Mastercam utilizando el programa Inventor, de la empresa Autodesk, y tras esto, proceder a implementar el conjunto de la máquina en Mastercam, realizando el ensamblaje de cada parte, respetando los movimientos relativos de sus piezas y sus desplazamientos máximos según los ejes correspondientes. A continuación, se ha ajustado todos los parámetros en el módulo de simulación de Mastercam para poder usar dicha fresadora virtual en futuros fresados de diferentes geometrías. Durante todo el proceso se han ido superando las diferentes dificultades encontradas, principalmente relacionadas con las limitaciones de la versión para educación de Mastercam (Mastercam 2020 Demo-HLE) y la compatibilidad de formatos en los diferentes archivos, para ello se ha hecho uso durante varias partes del proceso, como ya indicamos anteriormente, del programa Inventor que permite convertir archivos a diferentes formatos.

Finalmente, y de manera didáctica se ha hecho una prueba de simulación en Mastercam de una pieza para comprobar que todo el conjunto funciona adecuadamente, y, por otra parte, introducir al lector sobre la utilidad real de esta función de Mastercam.

Por otra parte, se ha ganado mucha experiencia en el software de Mastercam y concretamente en la versión Mastercam 2020 Demo-HLE, conociendo sus limitaciones y aprendiendo más sobre este tipo de programas CAM muy importantes para un futuro laboral, y superando diferentes problemas a la hora de realizar todo el trabajo lo cual es un aspecto clave en el terreno de la ingeniería.

Se espera también que este trabajo sirva de guía para alumnos y profesorado de la Universidad de Valladolid a la hora de realizar un estudio relacionado, o reproducir el proceso con fines didácticos, y pueda ser un complemento educacional para comparar lo visto en el taller con la máquina real con el trabajo virtual.



## 4.2. Mejoras futuras

Para trabajos futuros sería interesante contar con la versión completa de Mastercam, ya que esta se encuentra en la escuela y debido a la imposibilidad de realizar presencialmente el trabajo en ella por motivos de emergencia sanitaria durante la realización del mismo no se ha podido realizar. Por ello podría realizarse en un futuro la parte de obtención del código de post-procesado, la cual resulta una parte importante si deseamos enviar el código a nuestra fresadora real en el taller para poder reproducir la pieza creada virtualmente. De la misma manera se ajustaría más al trabajo que debería realizar un ingeniero en el mercado laboral cuyo fin último es obtener dicha pieza de manera física después de realizar todo el estudio necesario sobre la misma.

La fresadora sobre la que hemos hecho el estudio, A-16 de la empresa Nicolás Correa, se trata de una fresadora de 3 ejes que presenta unas posibilidades de mecanizado limitadas, sobre todo en piezas de geometría muy complicada, por ello de cara a futuros trabajos sería interesante trabajar sobre otras máquinas de control numérico presentes en el taller de la escuela, simulándolas de la misma manera en Mastercam, con el fin de tener el conjunto de máquinas del taller en un espacio virtual y a disposición de todos los alumnos.





# Bibliografía y Webgrafía

(Según orden cronológico de consulta)

## Bibliografía

### Capítulo 2. [Conceptos Previos, Historia y Fresadoras]

- Ortega Martín, V. (2018). *Simulación del centro de mecanizado vertical HASS VF-4 en Mastercam* (Trabajo de fin de grado). Universidad de Valladolid.  
<consulta septiembre y octubre de 2020>
- [1] García López, D. (2016). *Modelado y simulación del funcionamiento de la fresadora tipo A-16 de Nicolás Correa S.A. con Catia* (Trabajo de fin de grado). Universidad de Valladolid.  
<consulta septiembre y octubre de 2020>
- Contreras Bravo, L. E.; Vargas Tamayo, L. F.; Ríos Linares, R. A.; (Ediciones de la U, 2018). *Procesos de fabricación en metales*. ISBN: 9789587627404  
<consulta septiembre de 2020>
- Overby, A. (McGraw-Hill, 2011). *CNC Machining Handbook*. ISBN: 9780071623025 0071623027  
<consulta septiembre de 2020>

### Capítulo 3. [Mastercam]

- Mastercam. CNC Software, Inc. (mayo 2016). *Introducción al fresado dinámico*.  
<consulta octubre de 2020>
- Mastercam. CNC Software, Inc. (marzo 2016). *Introducción a Mastercam Solids*.  
<consulta octubre de 2020>
- Mastercam. CNC Software, Inc. (mayo 2016). *Introducción a Mastercam*.  
<consulta octubre de 2020>



- Lender, M. (Mastercam. CNC Software, Inc. 2018).  
*MILL ESSENTIALS METRIC-TRAINING TUTORIAL*.  
ISBN: 978-1-77146-814-5  
<consulta octubre de 2020>
- Tecnocim. (Software Tècnic TECNOCIM S.L. 2018).  
*Tutoriales Fresa Mastercam*.  
<consulta octubre de 2020>



## Webgrafía

### Capítulo 2. [Conceptos Previos, Historia y Fresadoras]

- Nicolás Correa S.A. *Historia de la Marca*. Recuperado de <https://www.nicolascorrea.com/es>  
<consulta septiembre de 2020>
- Heidenhain. Recuperado de [https://www.heidenhain.es/es\\_ES](https://www.heidenhain.es/es_ES)  
<consulta septiembre de 2020>
- Universidad de Valencia. *Introducción a los sistemas CAD/CAM/CAE*. Recuperado de [http://ocw.uv.es/ingenieria-y-arquitectura/expresion-grafica/eg\\_tema\\_2.pdf](http://ocw.uv.es/ingenieria-y-arquitectura/expresion-grafica/eg_tema_2.pdf)  
<consulta septiembre de 2020>
- JMP Technological. *CNC: Sintaxis del lenguaje ISO*. Recuperado de [https://jimpltechnological.com/manual\\_cnc/sintaxis.php](https://jimpltechnological.com/manual_cnc/sintaxis.php)  
<consulta septiembre de 2020>
- Interempresas. *Evolución y técnica de la máquina-herramienta. Reseña histórica*. Recuperado de <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/1435-Evolucion-tecnica-de-la-maquina-herramienta-Resena-historica.html>  
<consulta septiembre de 2020>
- Sandvik. Recuperado de <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/pages/default.aspx>  
<consulta septiembre de 2020>
- Díaz del Castillo Rodríguez, F. (agosto 2008). *Programación automática de máquinas CNC*. Recuperado de [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m4/master\\_cam.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m4/master_cam.pdf)  
<consulta septiembre de 2020>
- [2] Recuperado de <https://cabecoteparafresadora.com.br/maquinasoperatrizes/fresador-a-una-maquina-revolucionaria/>  
<consulta septiembre de 2020>



- [3] Recuperado de <https://www.imh.eus/es/imh/comunicacion/docu-libre/procesos-fabricacion/mecanizado/arranque-de-viruta/fresado>  
<consulta septiembre de 2020>
- [4] Recuperado de <https://grabcad.com/>  
<consulta septiembre de 2020>
- [5] Recuperado de <https://slideplayer.es/slide/2683121/>  
<consulta septiembre de 2020>
- [6] Recuperado de <http://www.esi2.us.es/~fabio/CN.pdf>  
<consulta septiembre de 2020>
- [7] Recuperado de <http://www.gulmi.com.ar/iso.pdf>  
<consulta septiembre de 2020>

### Capítulo 3. [Mastercam]

- Mastercam. *Basics Tutorial*. Recuperado de <http://colla.lv/wp-content/uploads/2018/07/Mastercam-Basics-Tutorial.pdf>  
<consulta octubre de 2020>
- Mastercam. *Basic 2D Machining*. Recuperado de [https://www.mastercam.dk/download/mastercam/tutorials/Basic\\_2D\\_Machining\\_Tutorial.pdf](https://www.mastercam.dk/download/mastercam/tutorials/Basic_2D_Machining_Tutorial.pdf)  
<consulta octubre de 2020>
- Sepúlveda, H. Universidad de Chile (junio 2019). *Tutorial básico Mastercam 2018 tips profesores tp*. Recuperado de [https://www.youtube.com/watch?v=iV9d4QK-6yc&ab\\_channel=H%C3%A9ctorSep%C3%BAveda](https://www.youtube.com/watch?v=iV9d4QK-6yc&ab_channel=H%C3%A9ctorSep%C3%BAveda)  
<consulta octubre de 2020>
- Mastercam (abril 2016). *Machine Simulation Mastercam 2017*. Recuperado de [http://colla.lv/wp-content/uploads/2016/07/Machine\\_Simulation\\_Tutorial.pdf](http://colla.lv/wp-content/uploads/2016/07/Machine_Simulation_Tutorial.pdf)  
<consulta octubre de 2020>
- Derek Goodwin (marzo 2014). *Building a virtual machine for Machine simulation in Mastercam* Recuperado de [https://www.youtube.com/watch?v=0lxJN7hyxv8&ab\\_channel=Derek\\_Goodwin](https://www.youtube.com/watch?v=0lxJN7hyxv8&ab_channel=Derek_Goodwin)  
<consulta octubre de 2020>