



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

**MODELADO Y VERIFICACIÓN DEL  
FUNCIONAMIENTO DEL TORNO  
DANOBAT NI-650 CON MASTERCAM**

**Autor:**

**González Sastre, Daniel**

**Tutor:**

**Delgado Urrecho, Javier**

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

**Valladolid, julio de 2021.**





## RESUMEN

Desde la primera revolución industrial, las tecnologías aplicadas a los procesos de fabricación han ido avanzando desde la fabricación manual hasta la fabricación en grandes centros de mecanizado controlados por control numérico. Junto al control numérico apareció el software de fabricación asistida por ordenador, más comúnmente conocida como CAM.

Gracias a este tipo de software y a sus mejoras a lo largo de las últimas décadas, se han podido minimizar costes y tiempos de producción a la vez que se aumentaba la seguridad de los operarios de las máquinas, aumentaba el nivel de producción y la calidad de los productos.

Este trabajo se basa en la creación de uno de estos centros de mecanizado en Mastercam 2020 Demo-HLE para llevar a cabo simulaciones de operaciones. Estas simulaciones servirán para posteriores estudios de operaciones, optimizándolas y evitando posibles choques si los hubiera.

## Palabras clave

MasterCam, Torno, CNC, Simulación, Demo



## ABSTRACT

Since the first industrial revolution, technologies applied to manufacturing processes have progressed from manual manufacturing to manufacturing on large machining centres controlled by numerical control. Along with numerical control came computer-aided manufacturing software, more commonly known as CAM.

Thanks to this type of software and its improvements over the last decades, it has been possible to minimise costs and production times while increasing the safety of machine operators, increasing the level of production and the quality of the products.

This work is based on the creation of one of these machining centres in Mastercam 2020 Demo-HLE to carry out operation simulations. These simulations will serve for further studies of operations, optimising them and avoiding possible clashes if any.

## Key words

MasterCam, Lathe, CNC, Simulation, Demo



# ÍNDICE

Capítulo 1 Introducción .....	11
1.1. Introducción .....	11
1.2. Objetivos .....	11
1.3. Estructura.....	12
Capítulo 2 Software CAD/CAM .....	13
2.1. ¿Qué es el software CAD/CAM? .....	13
2.2. Historia CAD/CAM .....	15
Capítulo 3 Mastercam .....	17
3.1.1. Módulo de fresadora.....	18
3.1.2. Módulo de torno .....	18
3.1.3. Módulo combinado fresadora-torno .....	18
3.1.4. Mastercam Educational Suite .....	19
3.1.5. Mastercam Demo/Home Learning Edition .....	19
3.1.6. Otros módulos .....	19
Capítulo 4 Proceso de ensamblaje del modelo en MasterCam.....	20
4.1. Introducción a MasterCam .....	20
4.1.1. Puesta a punto de MasterCam .....	20
4.1.2. Explicación de las herramientas que se van a usar .....	22
4.1.2.1. Combinar .....	22
4.1.2.2. Alinear con cara .....	23
4.1.2.3. Dinámica .....	24
4.1.2.4. Girar .....	25
4.1.2.5. Mover a origen .....	27
4.1.2.6. Ángulo .....	28
4.2. Pasos previos al proceso de ensamblaje .....	28
4.2.1. Obtención de los modelos en Catia .....	29
4.2.2. Obtención de los archivos en formato STP .....	29
4.3. Proceso de ensamblaje del Torno.....	31



4.3.1. Bancada.....	33
4.3.1.1. Cabina.....	33
4.3.1.2. Brazo portante inferior .....	33
4.3.1.3. Brazo portante superior .....	34
4.3.1.4. Panel de mandos .....	35
4.3.2. Conjunto carnero-portaherramientas .....	36
4.3.2.1. Rampa del carnero .....	37
4.3.2.2. Carnero .....	37
4.3.2.3. Acople del revolver.....	38
4.3.2.4. Revolver.....	39
4.3.3. Conjunto de agarre de la pieza .....	40
4.3.3.1. Contrapunto .....	40
4.3.3.2. Plato de garras.....	41
4.3.3.3. Adaptador plato-garra.....	42
4.3.3.4. Garras .....	44
4.3.4. Conjunto de las puertas.....	45
4.3.4.1. Puerta izquierda.....	45
4.3.4.2. Puerta derecha .....	47
4.4. Últimos pasos previos a la simulación.....	47
4.4.1. Posicionamiento de la máquina respecto del sistema de referencia global.....	48
4.4.2. Guardado de archivos STL .....	50
Capítulo 5 Proceso de simulación .....	54
5.1. Introducción al proceso de simulación .....	54
5.1.1. Pasos previos al proceso de simulación .....	54
5.1.2. Herramientas usadas para llevar a cabo la simulación .....	57
5.1.2.1. Cilindro.....	58
5.1.2.2. Perfil de torneado .....	59
5.1.2.3. Desbaste .....	61
5.2. Desde la pieza torneada, hasta la trayectoria de la herramienta.....	64
5.2.1. Construcción del perfil final obtenido por torneado.....	65



5.2.2. Perfil de torneado.....	66
5.2.3. Trayectoria de desbaste .....	67
5.2.4. Definición de material en bruto .....	68
5.3. Ensamblaje de la máquina en la venta de simulación.....	70
5.3.1. Accediendo por primera vez a la simulación de máquina .....	70
5.3.2. Ensamblaje en la ventana de simulación de máquina .....	73
5.3.3. Limitaciones de movimiento .....	76
5.3.4. Guardado de archivo XML .....	76
5.4. Ensamblaje del agarre y el tocho .....	78
5.4.1. Plato de garras. ....	78
5.4.2. Adaptador plato-garra .....	80
5.4.3. Garras .....	80
5.5. Simulación .....	81
5.5.1. Inicio de la Ventana Simulación.....	81
5.5.2. Advertencias.....	84
5.5.2.1. Eje de traslación no encontrado.....	84
5.5.2.2. Duplicado de la postdefinición .....	84
5.5.2.3. Definición de máquina de torneado desconocido.....	85
5.5.3. Solución .....	86
Capítulo 6 Conclusión y futuras líneas de investigación.....	87
6.1. Conclusión .....	87
6.2. Futuras líneas de investigación.....	88



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 4.1 Selección de unidades y sistema internacional .....	21
Ilustración 4.2 Localización de las diferentes configuraciones.....	21
Ilustración 4.3 Localización de la herramienta <i>Alinear con cara</i> .....	23
Ilustración 4.4 Localización de la herramienta <i>Dinámica</i> .....	24
Ilustración 4.5 Ejemplo de uso de la herramienta <i>Dinámica</i> .....	25
Ilustración 4.6 Localización de la herramienta <i>Girar</i> .....	26
Ilustración 4.7 Ejemplo de uso de la herramienta <i>Girar</i> .....	27
Ilustración 4.8 localización de la herramienta <i>Ángulo</i> .....	28
Ilustración 4.9 Localización de la herramienta Exportar, opción <i>Formato de CAD</i> .....	30
Ilustración 4.10 Selección de tipo de archivo STP o .STEP en Inventor. ....	31
Ilustración 4.11 Localización de cambio de capa.....	32
Ilustración 4.12 Menú cambiar capas.....	32
Ilustración 4.13 Colocación del brazo portante inferior.....	34
Ilustración 4.14 Colocación del brazo portante superior.....	35
Ilustración 4.15 Colocación de los dos sólidos pertenecientes al panel de mandos.....	36
Ilustración 4.16 Colocación de la rampa del carnero.....	37
Ilustración 4.17 Colocación del carnero.....	38
Ilustración 4.18 Colocación del acople del revolver.....	39
Ilustración 4.19 Colocación del revolver.....	40
Ilustración 4.20 Colocación del contrapunto.....	41
Ilustración 4.21 Colocación del plato de garras.....	42
Ilustración 4.22 Colocación del adaptador plato-garras.....	43
Ilustración 4.23 Posición final de los adaptadores plato-garra.....	44
Ilustración 4.24 Colocación de las garras.....	45
Ilustración 4.25 Colocación de puerta izquierda.....	46
Ilustración 4.26 Colocación de la puerta derecha y apariencia final de la máquina.....	47
Ilustración 4.27 Selección de punto coincidente con el origen.....	48
Ilustración 4.28 Medición del ángulo entre la dirección de movimiento del carnero y el eje Z.....	49
Ilustración 4.29 Gira parcial en el plano YZ de la máquina para obtener su posición final.....	50
Ilustración 4.30 Ventana emergente al seleccionar <i>Guardar algunas</i> y los tipos de formato que permite.....	51





Ilustración 4.31 Configuración de la ventana <i>Guardar como</i> en la exportación a formato STL. ....	52
Ilustración 4.32 Opciones para guardar como archivo STL.....	53
Ilustración 5.1 Localización en la barra de herramientas de la definición del torno.....	55
Ilustración 5.2 Ventanas Trayectorias y Propiedades de grupo de máquinas.....	56
Ilustración 5.3 Selección de plano <i>Torno Z = Mundo Z</i> . ....	56
Ilustración 5.4 Localizaciones para seleccionar del sistema de coordenadas global.....	57
Ilustración 5.5 Ventana de opciones de la herramienta <i>Cilindro</i> .....	59
Ilustración 5.6 Ventana de opciones de la herramienta <i>Perfil de torneado</i> ....	61
Ilustración 5.7 Ventana de encadenamiento de estructuras alámbricas.....	62
Ilustración 5.8 Ventana de parámetros de trayectoria. ....	63
Ilustración 5.9 Ventana de parámetros de desbaste.....	64
Ilustración 5.10 Sólido final obtenido por torneado.....	66
Ilustración 5.11 Perfil de torneado contenido en el plano de construcción....	67
Ilustración 5.12 Selección de la estructura alámbrica del perfil de torneado.....	68
Ilustración 5.13 Ventana de administración de componentes de la máquina: material en bruto. Parámetros modificados en función del tocho inicial. ....	69
Ilustración 5.14 Localización de <i>Opciones de simulación de máquina</i> .....	71
Ilustración 5.15 Ventana simulación de máquina con la máquina 5AxHedHaed seleccionada.....	72
Ilustración 5.16 Pestaña <i>Definición de máquina</i> con las opciones elegidas para la simulación. ....	72
Ilustración 5.17 Ventana simulación de la máquina 5AxHeadHead. ....	73
Ilustración 5.18 Localización de <i>Editar máquina, Nueva máquina y Guardar máquina como</i> . ....	73
Ilustración 5.19 Esquema cinemático del torno DANOBAT NI-650.....	75
Ilustración 5.20 Guardado de la máquina TORNO_DANOBAT_DANUMERIC_NI-650 en la carpeta con el mismo nombre. ....	77
Ilustración 5.21 Carpeta TORNO_DANOBAT_DANUMERIC_NI-650 en su directorio final y con todos los archivos XML y STL necesarios.....	78
Ilustración 5.22 Movimiento al origen del plato de garras. ....	79
Ilustración 5.23 Montaje completo del grupo de amarre junto a la pieza final. Trayectoria de la herramienta visible. ....	81
Ilustración 5.24 Pestaña <i>Simulación de máquina</i> con el torno y las opciones finales seleccionadas. ....	82
Ilustración 5.25 Pestaña <i>Definición de máquina</i> con <i>Máquina de torneado</i> seleccionado.....	83



Ilustración 5.26 Ventana de simulación vacía.....83  
Ilustración 5.27 Advertencia de Mastercam. Eje de traslación no encontrado.  
.....84  
Ilustración 5.28 Advertencia de Mastercam por duplicación de Postdefinición.  
.....85  
Ilustración 5.29 Advertencia de definición de Torno desconocida. ....85



## Capítulo 1 Introducción

### 1.1. Introducción

Cuando se lleva a cabo una operación en una máquina CNC, con los softwares actuales se puede simular el ciclo completo de operaciones llevadas a cabo en la transformación de la pieza. Estas simulaciones son muy útiles ya que se pueden visualizar posibles errores en la programación o choques entre partes de la máquina CNC. Es por esto por lo que se va a llevar a cabo un proceso de ensamblaje del torno DANOBAT NI-650 en el software Mastercam 2020 Demo-HLE.

En el presente trabajo de fin de grado, se hará un breve repaso sobre el software CAD/CAM y como ha ido evolucionando a lo largo del tiempo desde su aparición. Se introducirá brevemente a la empresa desarrolladora del programa que se va a usar durante todo el proceso llevado a cabo. Así como los distintos módulos que componen el software completo que se usan en la industria.

Tras esto, se pasará a la explicación del proceso llevado a cabo para poder simular el torno DANOBAT NI-650, que se encuentra en el taller de la escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid, en el programa Mastercam 2020 Demo-HLE. Dicho proceso parte de los archivos originales que creó el alumno Diego González Jiménez, en el trabajo de fin de grado Modelado y Simulación con CATIA del torno DANOBAT NI-650. Dichos archivos se cambiarán de formato para poder manipularlos con Mastercam 2020 Demo-HLE, donde se ensamblará el torno para la posterior simulación de una simple operación de desbaste en dicho torno.

### 1.2. Objetivos

La lista de objetivos a seguir en la realización de este trabajo de fin de grado es la siguiente:



1. **Obtención de los formatos de archivos necesarios:** Las piezas iniciales procedentes de Catia V5 tienen un formato distinto al utilizado en MasterCam, por lo que es necesario su cambio de formato.
2. **Ensamblaje y configuración del torno DANOBAT NI-650 en Mastercam 2020 Demo-HLE:** hay que ensamblar la máquina y configurarla correctamente para llevar a cabo simulaciones.
3. **Simulación final del torneado en Mastercam 2020 Demo-HLE:** es necesario llevar a cabo una simulación para comprobar que las distintas partes de la máquina no chocan entre ellas y no hay ningún error.

### 1.3. Estructura

El presente trabajo de fin de grado consta de un total de 6 capítulos. El primero hace una breve introducción al trabajo, explicando también los objetivos y la estructura de este.

En el segundo y tercer capítulos, se expondrá brevemente información del software CAD/CAM y del software MasterCam, respectivamente.

En el capítulo 4 se explicará todo el proceso llevado a cabo durante el primer ensamblaje del torno en Mastercam, necesario para posicionar las distintas piezas que conforman la máquina entre sí.

En el capítulo 5 se explicará todo el proceso llevado a cabo durante el segundo ensamblaje del torno en Mastercam para su posterior simulación.

Finalmente, el capítulo se 6 se hará una breve recapitulación de los objetivos y conclusiones.



## Capítulo 2 Software CAD/CAM

En este capítulo se hará una breve introducción sobre lo que es el software CAD/CAM y como ha ido evolucionando hasta nuestros días.

### 2.1. ¿Qué es el software CAD/CAM?

Los distintos softwares CAD/CAM existentes en la actualidad son el resultado de la necesidad de hacer más fácil y accesible, el diseño y la fabricación de productos industriales, y no industriales, por parte de los ingenieros. Gracias a la implementación de estos softwares en todo tipo de industrias, se ha conseguido que los costes y tiempos sean menores a la hora de diseñar y fabricar los distintos productos. Donde antes se usaban horas en dibujar bocetos o en modificarlos, para corregir errores, con las herramientas de soporte existentes en los distintos softwares CAD/CAM, se puede tardar minutos. La implementación de estos programas informáticos, también han traído mejoras en la calidad respecto a décadas anteriores. ([Sistemas de CAD-CAM.pdf, 2021., p. 3](#))

¿Pero que es un software CAD? ¿Y un software CAM? ¿Son iguales o se diferencian en algo? ¿Un mismo programa informático puede implementar ambos tipos de software?

El diseño asistido por ordenador o CAD es la creación, modificación, análisis u optimización de un diseño o producto mediante el uso de sistemas informáticos. Por otro lado, la fabricación asistida por ordenador o CAM es la planificación, gestión y control de las operaciones llevadas a cabo para la obtención del producto en la planta de fabricación, usando una interfaz, ya sea directa o indirecta, que relaciona los recursos de producción y sistemas informáticos.

Cuando se usa la tecnología CAM es importante saber diferencia entre interfaz directa o indirecta, ya que la relación que tienen con las máquinas que realizan las distintas operaciones dependen de este tipo de relación. Por un lado, la interfaz indirecta, el ordenador es una herramienta de ayuda más en el proceso de fabricación, pero no hay una conexión directa con el proceso de fabricación. Mientras que la interfaz directa sí que permite la conexión entre ordenador y



proceso, monitorizando las distintas operaciones. Este tipo de interfaz directa permite supervisar las operaciones, recogiendo datos sobre el proceso y los recursos usados, y en casos más avanzados también permite el control de estos mismos datos.

Las diferencias entre CAD y CAM son notables, ya que se encargan de partes tan distintas del proceso de desarrollo de productos como lo son el proceso de diseño y el proceso de fabricación. Aun con esta diferencia tan marcada, sobre su utilización en cada fase del desarrollo del producto, los sistemas informáticos usados para ambos cometidos no tienen por que ser distintos. La mayoría de los programas actuales involucran en mayor o menor medida ambas tecnologías.

Un ejemplo de esto es el programa usado en la asignatura de Diseño Asistido por Ordenador, impartida en el tercer curso del grado de Ingeniería Mecánica. En esta asignatura se usa el programa CATIA V5, desarrollado por la empresa Dassault Systèmes®. CATIA V5 está dividido en distintos módulos, los cuales van desde el diseño de sólidos simples a partir de operaciones bidimensionales o tridimensionales, pasando por el análisis de estructuras sometidas a cargas estáticas o dinámicas, como puede ser la estructura de un edificio o el ala de un avión en pleno vuelo, hasta la creación de mecanismos tridimensionales, donde se puede ver la interacción de las distintas partes que lo conforman. Pero también tiene módulos que van dirigidos a la fabricación, tanto en el uso de herramientas de máquina de torneado y fresado, como de impresoras 3D. Esta gran cantidad de módulos, con diferentes opciones para el diseño y la fabricación de productos, convierte a CATIA V5 en un programa muy completo para el desarrollo de productos, pero a la vez difícil de manejar en su totalidad por una misma persona.

Aunque CATIA V5 es un programa polivalente, se centra más en el proceso del diseño que en el de fabricación, al igual que hacían sus anteriores versiones. Del lado del proceso de fabricación, existen programas que, aunque están más enfocados en CAM también tiene una parte de CAD, pero incompleta, como pueden ser Autodesk Inventor o Mastercam. En ambos casos, hay herramientas suficientes para el diseño de sólidos simples a partir de operaciones bidimensionales o tridimensionales como en el caso de CATIA V5, pero no tienen herramientas de análisis y las herramientas de optimización están más limitadas.



## 2.2. Historia CAD/CAM

Las tecnologías CAD y CAM son relativamente nuevas en comparación con otro tipo de tecnologías industriales como pueden ser los procesos de fabricación por fundición o forjado, que llevan entre nosotros miles de años. En el caso del software CAD/CAM, es una tecnología que apareció en los años 50 y que ha sufrido grandes cambios a lo largo de los años gracias al gran avance que ha habido en la tecnología de la computación. Inicialmente, estos softwares, no eran más que herramientas de dibujo 2D, pero con el tiempo han llegado al 3D y la realidad virtual.

La década de los 50 supuso el inicio de esta tecnología con la creación de la primera pantalla gráfica y del desarrollo del concepto de programación de control numérico, por parte del Massachusetts Institute of Technology (MIT). A mediados de esta década, aparecieron los primeros gráficos interactivos gracias a la creación del primer lápiz óptico. Y a finales de los 50, empiezan a aparecer las primeras máquinas herramienta y los gráficos interactivos comienzan a usarse para diseños en General Motors.

En la década de los 60 es cuando se empieza a usar el termino CAD. Varios grupos de investigación se centran en estas nuevas técnicas de diseño. Y aparecen las primeras pantallas de ordenador comerciales.

En la década de los 70 las investigaciones empiezan a dar sus frutos y la industria implementa poco a poco la tecnología CAD, a pesar de las limitaciones que aún tiene. También aparecen los primeros prototipos de los sistemas 3D, control numérico, sistemas de elementos finitos, entre otros.

En la década de los 80 se produce una generalización del uso de estas nuevas tecnologías, gracias al salto que se da en hardware y aplicaciones que pueden manejar con mayor soltura modelos 3D. Esta es la década en la que empiezan a aparecer algunos de los programas que aún se usan en la actualidad como pueden ser AutoCAD, Catia, o el software predecesor de Mastercam.

En la década de los 90 se generalizó la automatización de los procesos industriales, integrando en ellos las distintas técnicas de diseño, análisis, simulación y fabricación que habían ido evolucionando hasta ese momento. La suma del hardware con tecnología creciente de las comunicaciones empieza a hacer posible que las técnicas CAD/CAM ya no estén tan limitadas.



Con la entrada en el siglo XXI las técnicas CAD/CAM se han convertido ya en algo esencial e insustituible en el ámbito industrial. ([Sistemas de CAD-CAM.pdf](#), 2021, junio, p. 24)





## Capítulo 3 Mastercam

La empresa desarrolladora del programa Mastercam es CNC Software, fundada en 1983. Los hermanos Summers la fundaron para llevar a cabo la idea de un nuevo concepto que empezaba a surgir por aquellos años, la programación de máquinas herramientas CNC. Con el paso de los años, la empresa fue desarrollando nuevas tecnologías como las trayectorias “inteligentes” de herramientas, mecanizado híbrido, multiejes e incluso su tecnología patentada Dynamic Motion. Tras años de desarrollo de la empresa y varios programas y versiones distintas, llegaron al programa que estaban buscando en 2017, Mastercam. A partir de este año, se dedicarían a perfeccionar el software hasta convertirse en una de las marcas más reconocidas en el sector de la fabricación, siendo el software CAM más utilizado del mundo. (*Management, 2021*)

El software permite una gran variedad de soluciones en lo referente al proceso de fabricación, el amplio abanico de posibilidades de Mastercam va desde aplicaciones en fresado y torneado de 2 a 5 ejes; electroerosión por hilo de 2 a 4 ejes, hasta diseño y dibujo en 2D y 3D o modelado con superficies y sólidos. Esto lo hace una herramienta muy completa tanto para pequeños talleres como para grandes empresas como pueden ser Boeing o IBM.

En el software está integrado un simulador de operaciones, el cual puede ejecutarse solo con la pieza de trabajo y la herramienta o junto con una máquina ensamblada. Esto permite no solo visualizar el proceso de fabricación si no también la posibilidad de evitar choques entre la herramienta y las distintas partes de la máquina antes de hacer la operación en una máquina real.

El programa se divide en distintos módulos de funciones, haciendo que no sea necesario la adquisición de la totalidad del software para poder utilizarlo. Estos módulos se dividen según las funciones de distintos tipos de máquinas, como pueden ser los módulos de fresadora o torno, el módulo fresadora-torno, para máquinas CNC que permiten operaciones de los tipos de máquinas.



### 3.1.1. Módulo de fresadora

En este módulo se encuentran tanto métodos de propósitos generales como trayectorias de herramientas altamente especializadas. El módulo incluye diseño alámbrico, de superficies y de sólidos. También incluye estrategias de fresado dinámico 2D y 3D hasta opciones multiejes y especializadas. (*Mill Programming Software Solutions | Mastercam Products, 2021*)

### 3.1.2. Módulo de torno

En este módulo se encuentran toda la variedad de posibles operaciones de un torno: desbaste, ranurado, roscado, separación, perforación y acabado. Al igual que el módulo de fresadora este incluye diseño alámbrico, de superficies y de sólidos. También permite obtener las piezas con mayor eficacia y precisión con estrategias avanzadas de trayectorias de herramientas. (*CNC Lathe Programming Software Solutions | Mastercam Products, 2021*)

### 3.1.3. Módulo combinado fresadora-torno

La programación de este módulo permite agilizar los centros de mecanizados combinados de alta potencia para aumentar el rendimiento y la seguridad. Esta parte del software permite simplificar el proceso de programación de las máquinas de fresado y torneado con configuraciones más ajustadas a las máquinas exactas del taller. Sus capacidades son:

- Programación desde los tornos más sencillos hasta las máquinas más complejas.
- Automatización de operaciones complejas entre múltiples flujos de datos.
- Optimización, visualización y sincronización en una única plataforma.
- Operaciones de torneado, taladrado y fresado con menos configuraciones a alta velocidad.

(*Mill-Turn Programming Software Solutions | Mastercam Products, 2021*)



### 3.1.4. Mastercam Educational Suite

Esta versión de Mastercam es la más idónea para la enseñanza en universidades. Agrupa una gran amplitud de funcionalidades del resto de módulos. Puede ser usada para iniciar a los estudiantes en el software CAD/CAM y también prepararlos para una carrera profesional en la industria de la fabricación. Esta versión incluye:

- Diversas herramientas de los módulos de fresa, torno, hilo, router, diseño, arte, ProDrill y Mastercam para SOLIDWORKS®.
- Biblioteca estándar de postprocesadores de 2, 3 y 4 ejes.
- Soporte y recursos para la comunidad educativa.

*(Educational CAD/CAM Software Solutions | Mastercam Products, 2021)*

### 3.1.5. Mastercam Demo/Home Learning Edition

Esta es la versión usada en la ejecución del trabajo de fin de grado. Se trata de una descarga gratuita de software CAD/CAM para fines educativos y de demostración. Este módulo guarda los archivos en formato EMCAM (no compatible con las versiones industriales). Tampoco están incluidos los postprocesadores ni el código G. *(Free CAD/CAM Software Download, 2021)*

### 3.1.6. Otros módulos

Mastercam también tiene una gran variedad de módulos, no solo los explicados brevemente en los apartados anteriores. Estos van desde un módulo con más herramientas de diseño de sólidos que el resto de los módulos, hasta un módulo para proceso de fabricación en los que interviene electroerosión por hilo.

A parte de los módulos, también existen complementos adicionales como un traductor de formatos de archivos o mecanizado de curvas en 5 ejes.

*(CAD/CAM Design Software Solutions | Mastercam Products, 2021; Wire EDM Programming Software Solutions | Mastercam Products, 2021)*



## Capítulo 4 Proceso de ensamblaje del modelo en MasterCam

### 4.1. Introducción a MasterCam

En este apartado se hará un breve resumen de las herramientas y opciones que se van a usar durante el ensamblaje de la máquina.

Primero se hará hincapié en las opciones que no vienen activadas por defecto la primera vez que se ejecuta el programa, pero que ayudan durante el proceso. Y por último se verán las herramientas que se van a usar durante el proceso de ensamblaje.

Debido a que Mastercam tiene muchas herramientas y opciones diferentes que no son esenciales para el proceso llevado a cabo durante la realización de este trabajo de fin de grado, no se realizará una explicación exhaustiva de todas sus herramientas.

#### 4.1.1. Puesta a punto de MasterCam

Lo primero que se hará nada más abrir MasterCam será asegurarse de que el sistema de unidades seleccionado es el sistema internacional y no el sistema imperial. También se seleccionará el milímetro como unidad de análisis. Para ello se pinchará en Configuración, que se encuentra en la pestaña Archivo. Aparecerá la ventana “Configuración del sistema”, y en Analizar se dejará seleccionadas las siguientes opciones.

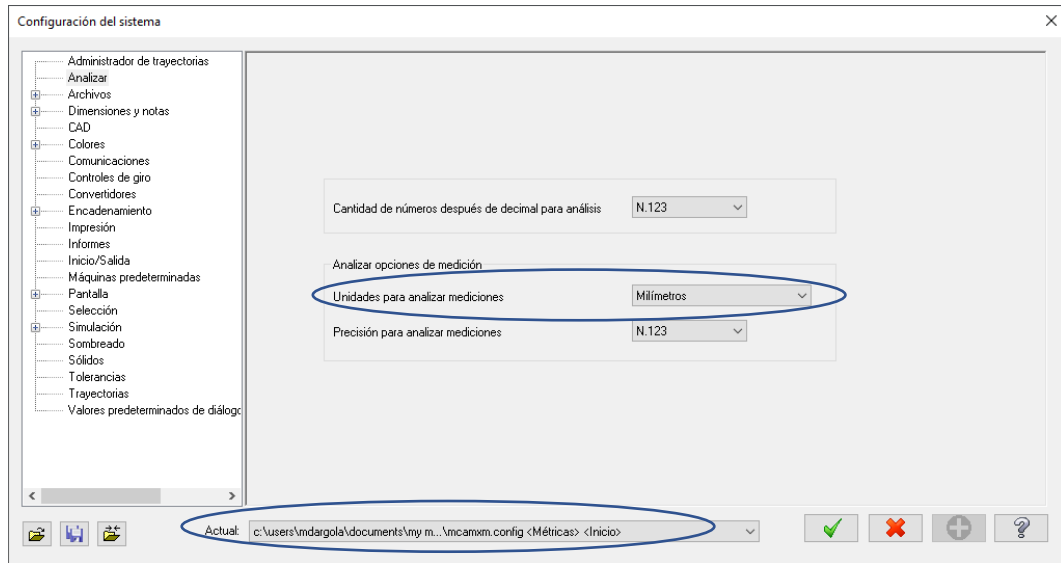


Ilustración 4.1 Selección de unidades y sistema internacional

Otra cosa que se va a hacer es ir a la pestaña Vista y marcar las opciones de Trayectorias, Sólidos, Planos y Capas. Estas aparecerán en la parte izquierda de la pantalla. (Localización señalada en azul en la Ilustración 4.2)

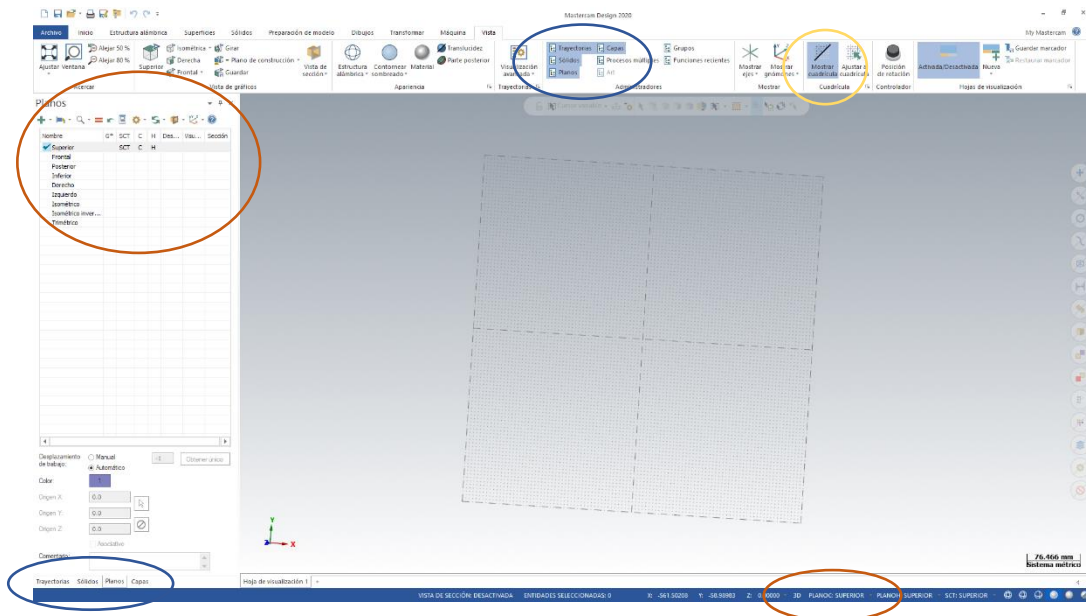


Ilustración 4.2 Localización de las diferentes configuraciones.

Lo siguiente que hay que tener en cuenta a la hora de usar Mastercam, es el plano de construcción. Esta opción es muy útil a la hora de crear sólidos o usar



diferentes herramientas. En Mastercam, todo el trabajo se realiza en la misma ventana gráfica, sin hacer distinción entre el 2D y el 3D.

Por ejemplo, si se quiere generar un cilindro, cuyo eje longitudinal y el eje X sean paralelos, se debe usar el plano de construcción derecho o izquierdo. Ambos planos servirán para el propósito final. Solo hay que tener en cuenta una cosa más, una vez elegido el plano de construcción, los valores positivos de los ejes pueden no coincidir con el sistema global de coordenadas elegido en ese momento.

Para cambiar el plano de construcción, de entre todas las opciones que tiene el programa, se podrá hacer en la barra inferior del programa, en el desplegable *PLANOC*, o en la ventana abierta en la izquierda en la sección *Planos*. (Localización señalada en rojo en la Ilustración 4.2).

Por último, cabe destacar que Mastercam permite mostrar, o no, una cuadrícula coincidente con el plano de construcción seleccionado. Esto puede hacer más sencillo el dibujado de estructuras alámbricas o el dibujado de perfiles de torneado. (Localización señalada en amarillo en la Ilustración 4.2)

#### 4.1.2. Explicación de las herramientas que se van a usar

En este apartado se va a proceder a la explicación de las herramientas usadas en MasterCam durante todo el proceso de ensamblaje.

Sin embargo, no se explicará conceptos básicos de cualquier programa existente hoy día como pueden ser los comandos Abrir o Guardar. Tampoco se explicarán el resto de las herramientas, por falta de utilidad en el proceso.

##### 4.1.2.1. *Combinar*

En la pestaña archivo se encuentra el comando *Combinar*. Este se usa para importar entidades de archivos de piezas existentes al archivo actualmente abierto en MasterCam.

A excepción de la primera parte de la máquina, el resto de las partes se abrirán en MasterCam de esta manera.

#### 4.1.2.2. Alinear con cara

Esta herramienta aparece tanto en la pestaña *Preparación de modelo* como en el menú *Combinar patrón* tras abrir un archivo con la herramienta *Combinar*.

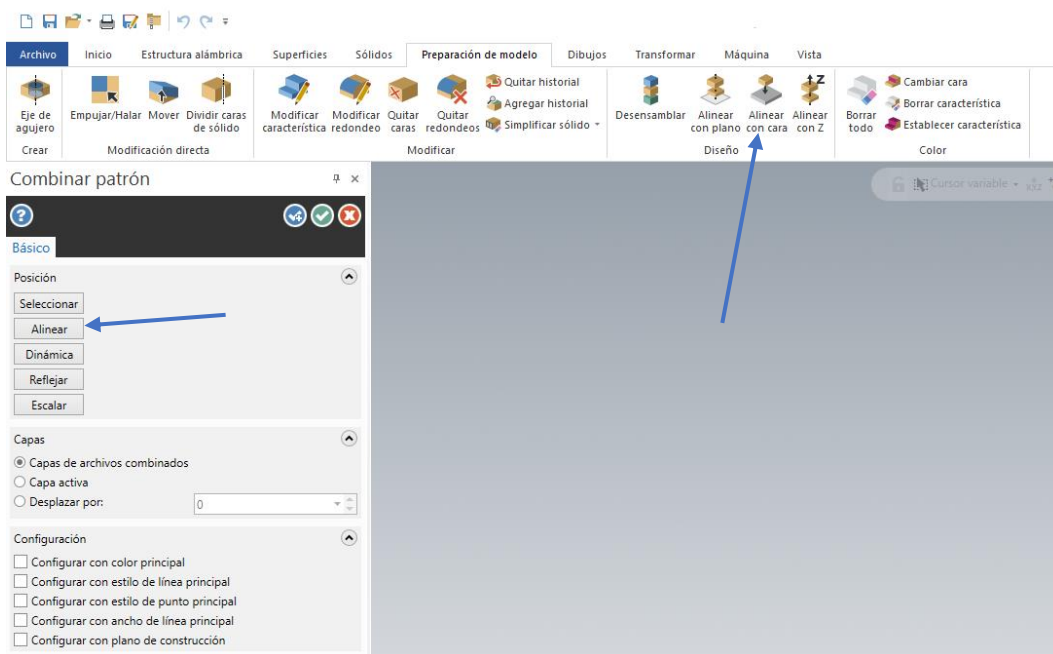


Ilustración 4.3 Localización de la herramienta *Alinear con cara*.

Esta herramienta permite, como su nombre indica, alinear las caras de dos objetos. Para ello muestra varias opciones divididas en método y modo:

- Método:
  - Mover: mueve el sólido seleccionado a la posición deseada
  - Copiar: copia el sólido seleccionado a la posición deseada manteniendo el sólido inicial.
- Modo:
  - Coincidente: las caras elegidas de ambos sólidos serán coincidentes sin importar la orientación o posición de estos.
  - Perpendicular: las caras elegidas de ambos sólidos serán coincidentes haciendo que las aristas de referencia elegidas en ambos sólidos sean perpendiculares.
  - Paralelo: las caras elegidas de ambos sólidos serán coincidentes haciendo que las aristas de referencia elegidas en ambos sólidos sean perpendiculares.

En el procedimiento a seguir en la selección de la cara de los sólidos es el siguiente:

1. La cara del sólido que se va a mover o copiar.
2. La arista de referencia de dicha cara, si el modo lo requiere.
3. La cara del sólido objetivo.
4. La arista de referencia de dicha cara, si el modo lo requiere.

Una vez se tiene la pieza en su lugar final en la máquina, es posible que esta aparezca girada respecto a la posición real que debe tener. Para solucionarlo MasterCam da la opción de girar la pieza respecto un eje perpendicular a la superficie elegida para la unión.

#### 4.1.2.3. Dinámica

Al igual que la herramienta anteriormente explicada, esta se puede localizar en dos sitios distintos dentro del programa, la pestaña *Transformar* y el menú *Combinar patrón*.

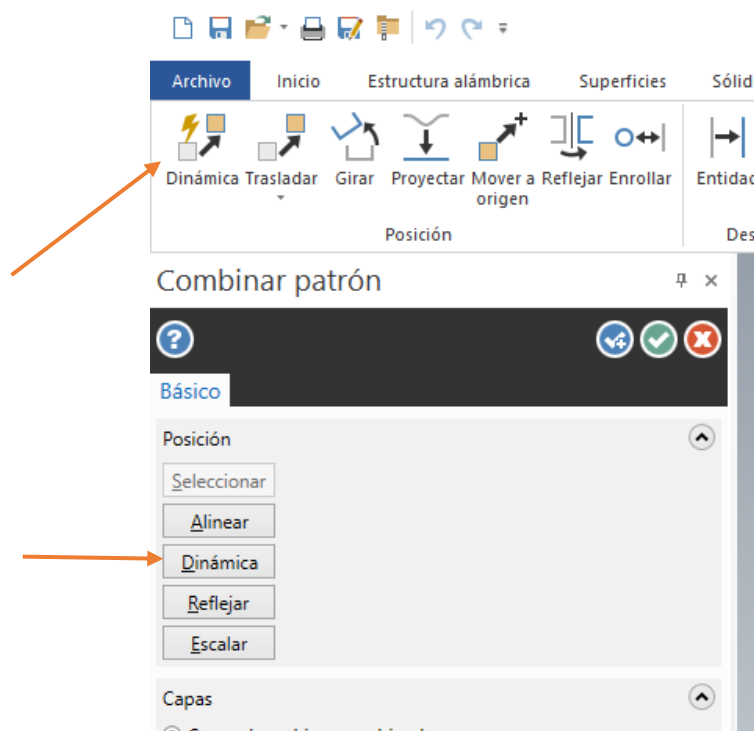


Ilustración 4.4 Localización de la herramienta *Dinámica*.



Esta herramienta permite seleccionar entre el centro geométrico, las aristas o los centros de las circunferencias que conforman un sólido. Una vez seleccionado el punto en cuestión, la herramienta permite realizar desplazamientos y giros respecto a cada uno de los ejes. También permite mover la pieza entera y de manera libre, seleccionando el origen del sistema de referencia.

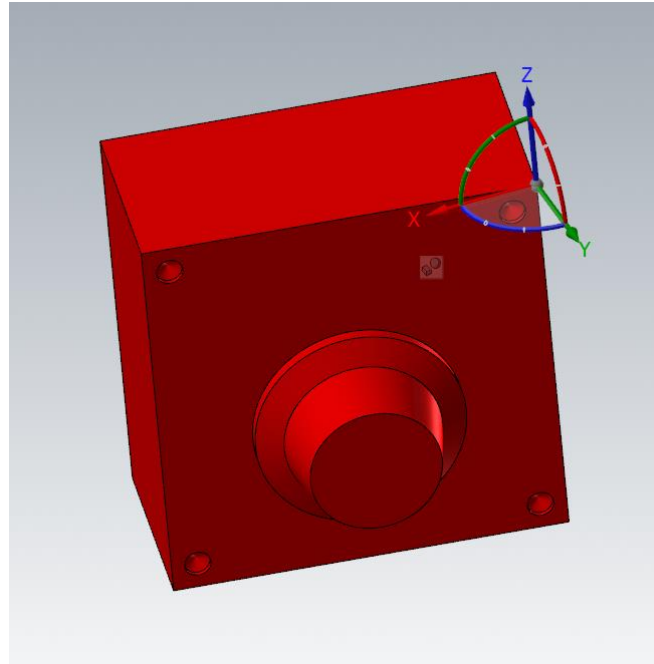
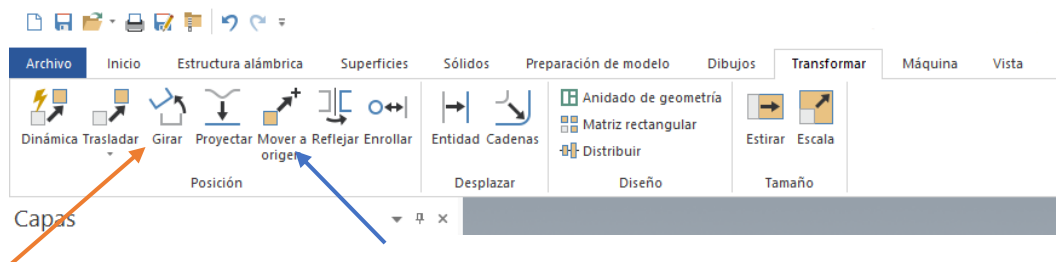


Ilustración 4.5 Ejemplo de uso de la herramienta *Dinámica*.

#### 4.1.2.4. Girar

Esta herramienta aparece en la pestaña *Transformar*, junto al resto de herramientas de *Posición*. (Lugar indicado con la flecha roja en la Ilustración 4.6)

Ilustración 4.6 Localización de la herramienta *Girar*.

Esta herramienta permite mover, copiar o unir sólidos geométricos y de dibujo seleccionados alrededor de un punto central. Para poder usar esta herramienta hay que tener en cuenta que el giro permitido se verá afectado en función del plano de construcción elegido en ese momento. Esto significa que el giro de la pieza está contenido en el mismo plano de construcción.

Una vez seleccionado el objeto que se necesite girar, aparecerá una ventana en el lado izquierdo de la pantalla con las opciones básicas que requiere el programa para llevar a cabo la operación.

Entre las opciones a destacar se encuentran los métodos, la elección del punto central de rotación y las instancias:

- **Métodos:**
  - Copiar: transforma una copia de las entidades seleccionadas para una nueva posición en la ventana de gráficos y mantiene la posición de las entidades originales.
  - Mover: transforma las entidades seleccionadas para una nueva posición en la ventana de gráficos.
  - Unir: transforma una copia de las entidades seleccionadas para una nueva posición en la ventana de gráficos y mantienen la posición de las entidades originales.
- **Punto central de rotación:** permite elegir el punto central de rotación de entre todos los puntos de los sólidos existentes en pantalla.
- **Instancias:**
  - Número: determina la cantidad de veces que Mastercam ejecuta la función de transformación.
  - Ángulo: determina el ángulo en el que se giran las entidades alrededor del punto central. El ángulo se calcula con respecto al eje horizontal del plano de construcción actual.

- Distancia:
  - Ángulo entre: aplica el ángulo entre cada copia a transformar las entidades seleccionadas.
  - Barrido total: aplica el ángulo en todas las copias a transformar las entidades seleccionadas.
- Método:
  - Girar: gira las entidades transformadas y cambia la orientación del eje.
  - Trasladar: gira las entidades transformadas y conserva la orientación del eje original.

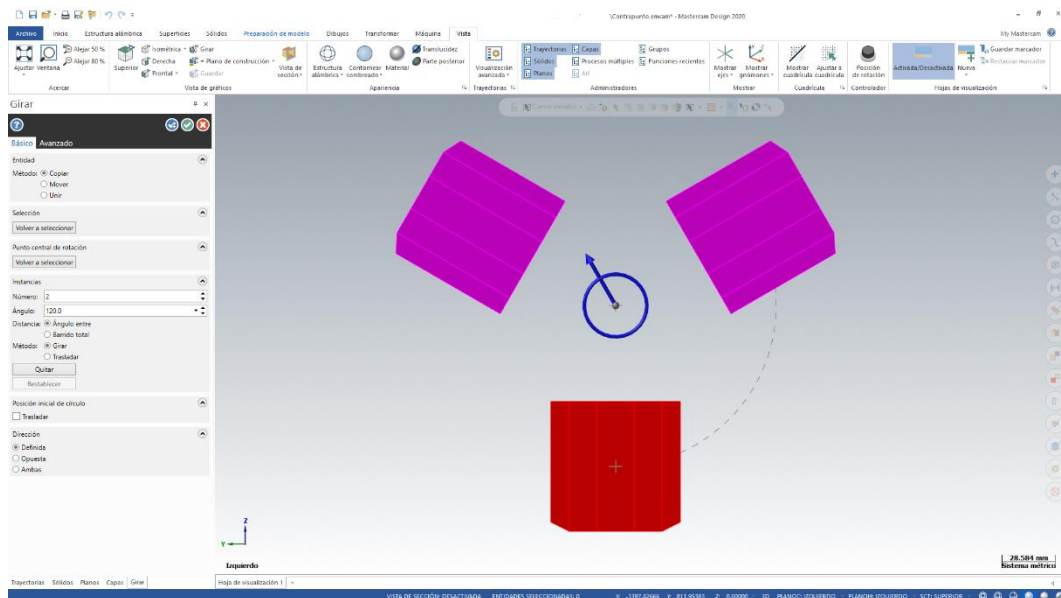


Ilustración 4.7 Ejemplo de uso de la herramienta *Girar*.

#### 4.1.2.5. *Mover a origen*

Esta herramienta aparece en la pestaña *Transformar*, junto al resto de herramientas de *Posición*. (Lugar indicado con la flecha azul en la Ilustración 4.6)

Esta herramienta permite mover toda la geometría visible al origen de sistemas de coordenadas global eligiendo uno de los puntos de la geometría. Este punto puede ser seleccionado entre todos los vértices, centros de circunferencia y puntos medios de aristas existentes en la geometría.

#### 4.1.2.6. Ángulo

Esta herramienta aparece en la pestaña *Inicio*, junto al resto de herramientas de *Analizar*

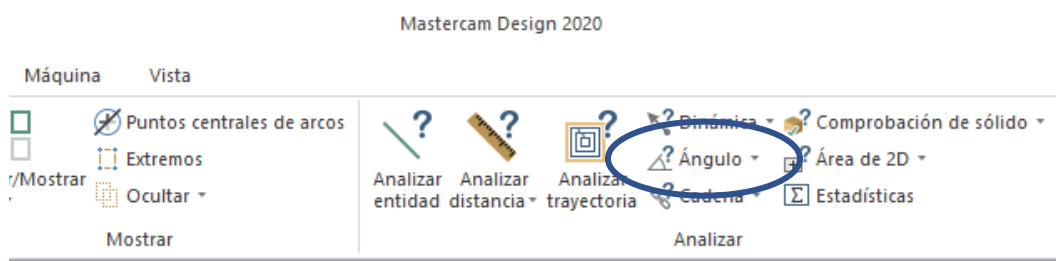


Ilustración 4.8 localización de la herramienta *Ángulo*.

Esta herramienta permite medir el ángulo existente entre dos líneas o tres puntos seleccionados en la ventana de gráficos.

### 4.2. Pasos previos al proceso de ensamblaje

En este capítulo se verá todo el proceso de montaje de la máquina en Mastercam, pero no el proceso previo al de montaje de la máquina de simulación. Se va a exponer cada paso, desde un breve resumen explicando la obtención de los modelos de las distintas partes en Catia y su guardado en formato STP, hasta el guardado final de estos en formato STL para la creación de la máquina en el simulador.

Como ya se ha explicado anteriormente, para la realización de todo el proceso llevado a cabo, es necesario partir de los archivos en formato STP. Este formato permite que un objeto 3D se pueda abrir en distintos programas, asegurando la compatibilidad entre ellos. Esto se debe al cumplimiento de los protocolos de aplicación STEP ISO 10303-2xx. Para poder cumplir estos protocolos, el formato de guardado de los datos se hace en texto, más concretamente en ASCII. (*STP Extensión de archivo - cómo abrir .stp?*, 2021)

Este tipo de archivo nos permite manipular las piezas desde los planos, aristas y vértices. Esto facilitará el trabajo a la hora de acoplar las partes del torno entre sí.



#### 4.2.1. Obtención de los modelos en Catia

En este subapartado no se va a hacer hincapié en el modelado en sí de las distintas partes que conforman la máquina. El modelado de la máquina y sus partes lo llevo a cabo el alumno Diego González Jiménez, quien explica en su Trabajo de Fin de Grado (González Jiménez, 2021, p. 89) todos los pasos que sigue durante el proceso de modelado en Catia V5.

El orden que se sigue durante el proceso de modelado es el siguiente: toma de medidas y desarrollo de croquis y bocetos iniciales, modelado de los componentes, y finalmente, ensamblaje de los componentes.

En este trabajo de fin de grado, se partirá de los distintos modelos de los componentes, realizando un posterior ensamblaje de los mismo en Mastercam para la simulación de procesos de torneado.

#### 4.2.2. Obtención de los archivos en formato STP

El primer paso es obtener los archivos, de cada una, de las partes de la máquina en formato STP o STEP. Para ello se usará el programa Autodesk Inventor Profesional, con la licencia de estudiante gratuita suministrada por la misma empresa Autodesk.

Este programa permite abrir sin ningún problema los archivos de Catia V5 realizando un cambio de formato, de CATPART a IPT. El archivo con formato CATPART es un formato de archivo exclusivo de Catia. En este formato de archivo se guarda un modelo de pieza, junto con su geometría tridimensional y los datos estructurales. Por otro lado, el archivo con formato IPT es un tipo de archivo exclusivo de Autodesk. En este tipo de archivo se guardan tanto objetos 2D como modelos 3D que pueden ensamblarse con otros objetos con el mismo formato de archivo.

Una vez el programa Autodesk Inventor tenga abierto el archivo y el modelo 3D aparezca en pantalla, se procederá a la exportación del modelo a un archivo con formato STP o STEP.

Para ello se abrirá el menú *archivo*, se buscará la opción *Exportar*. Dejando el cursor encima de esta opción, se desplegará un nuevo menú donde se pinchará en la opción *Formato de CAD*.

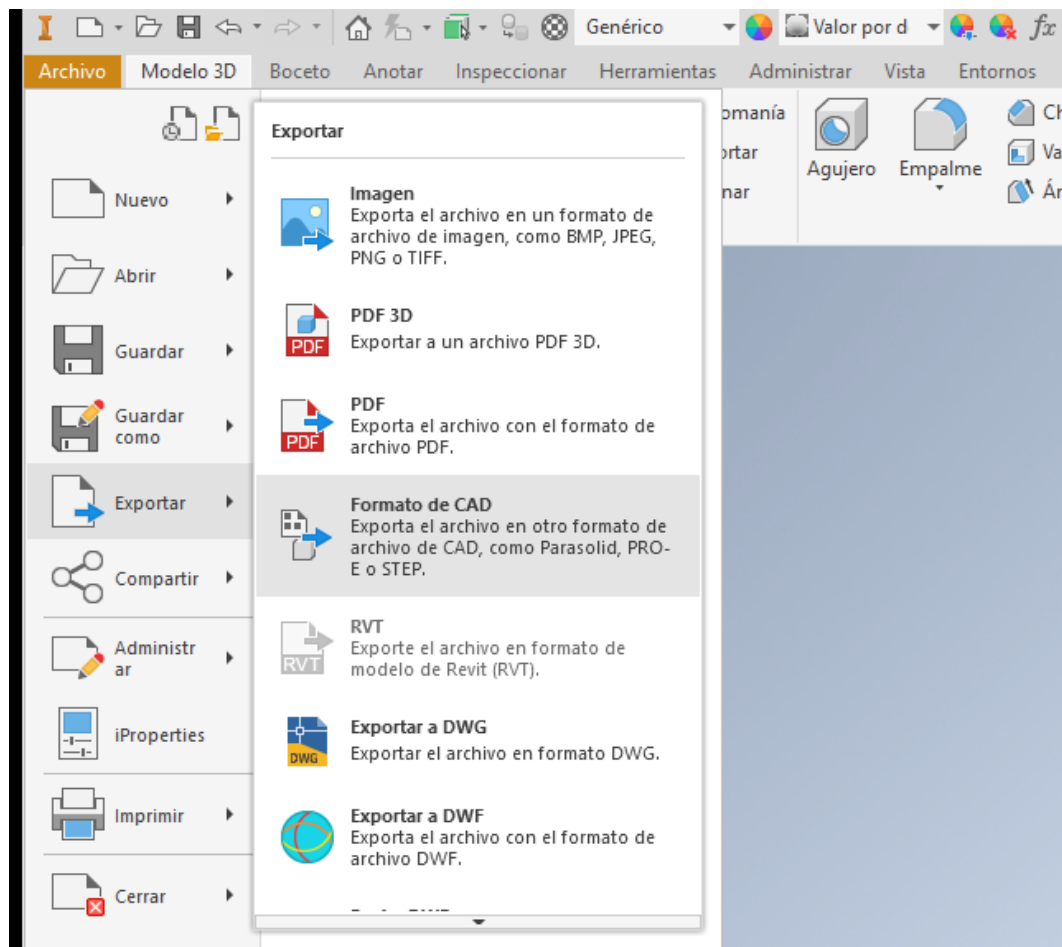


Ilustración 4.9 Localización de la herramienta Exportar, opción *Formato de CAD*.

Al seleccionar la opción *Formato de CAD*, se abrirá una nueva ventana llamada *Guardar como*. En esta nueva ventana se elegirá el nombre del archivo y el tipo de formato al que se exportará el modelo. En el caso que atañe a este TFG se guardará como formato STP o STEP.

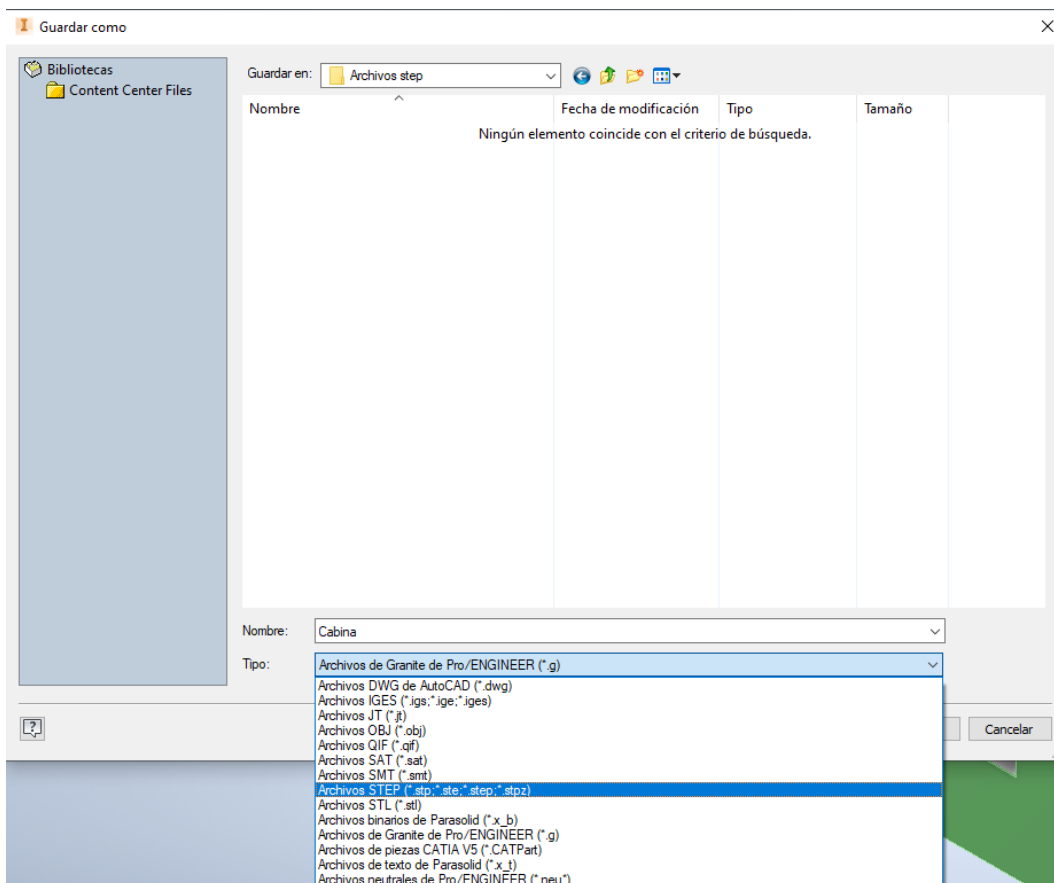


Ilustración 4.10 Selección de tipo de archivo STP o .STEP en Inventor.

Una vez seleccionado el formato STP o STEP, se realizará el guardado del archivo en una carpeta donde se guardarán todos y cada una de las distintas partes de la máquina.

### 4.3. Proceso de ensamblaje del Torno

Lo primero que se ha de tener en cuenta antes de empezar a abrir archivos, es el esquema cinemático de la máquina. Esto es importante, ya que se nombrarán las capas en las que se encuentra cada pieza en función del movimiento que tengan.

También se debe tener en cuenta la inclinación que tiene el conjunto del carnero con respecto a la vertical. Para facilitar el trabajo al programa, simplificando los cálculos de recorridos de ejes, el torno completo se girará sobre el eje X hasta que el movimiento del carnero y el eje Z coincidan.

Durante el proceso de ensamblaje del Torno DANOBAT NI-650 en Mastercam, se seguirá un procedimiento estándar para todas ellas. Una vez abierta la pieza y seleccionada, se hará clic derecho sobre ella. Desde el menú desplegable se accederá a *Cambiar capas*, donde se asignará la capa correspondiente en función del movimiento que tenga.

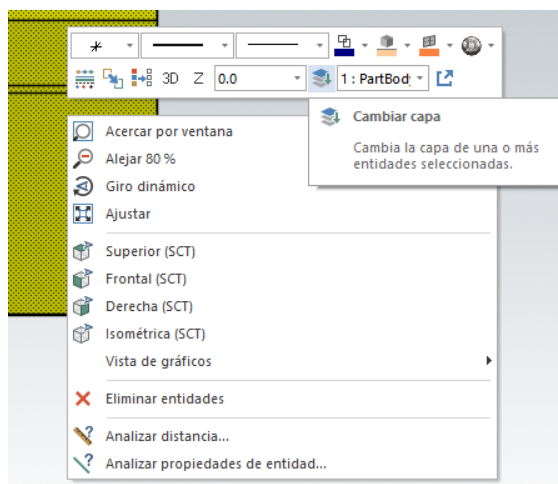


Ilustración 4.1.1 Localización de cambio de capa.

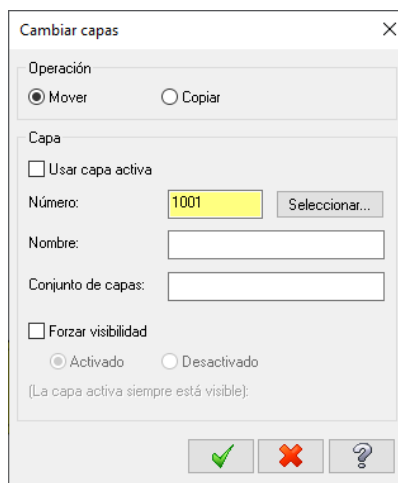


Ilustración 4.1.2 Menú cambiar capas.

Para saber en qué capa se encuentra cada una de las piezas que conforman el torno, se usará el código siguiente: 10XY. Donde X hace referencia al eje respecto al que tiene movimiento o gira, e Y hace referencia al orden en el que se ha añadido la pieza en cuestión, respecto al número asignado en X. La numeración para X es la mostrada en la tabla.





Tipo de movimiento	Valor de X
Sin movimiento	0
Lineal en eje X	1
Lineal en eje Y	2
Lineal en eje Z	3
Giro respecto eje X	4
Giro respecto eje Y	5
Giro respecto eje Z	6

También se puede cambiar el nombre a cada una de las capas para reconocer más fácilmente con que pieza está relacionada.

#### 4.3.1. Bancada

La bancada está formada por las partes no móviles de la máquina durante la simulación. En este conjunto se consideran la cabina, los brazos portantes inferior y superior y el panel de mandos. Aunque estos dos últimos si tienen un grado de libertad, no se considerará al no ser relevantes durante la simulación.

##### 4.3.1.1. Cabina

Al ser la primera pieza de la máquina se abrirá el archivo STP de la cabina directamente y cambiaremos el nivel de capa en el que se encuentra por el de 1001.

##### 4.3.1.2. Brazo portante inferior

Para colocar la pieza en su sitio se hará uso de la herramienta *Alinear con cara*, método *mover* y modo *perpendicular*. Se seleccionará la cara opuesta al pivote del brazo portante inferior, y el hueco rectangular en la parte inferior izquierda de la cabina, vista de frente. Si se han elegido bien las aristas, la pieza estará ya colocada en su posición y con el ángulo correcto. Si la pieza está girada respecto a la posición real, se girará los grados que sean necesarios usando el eje de referencia que aparece entre las caras coincidentes.

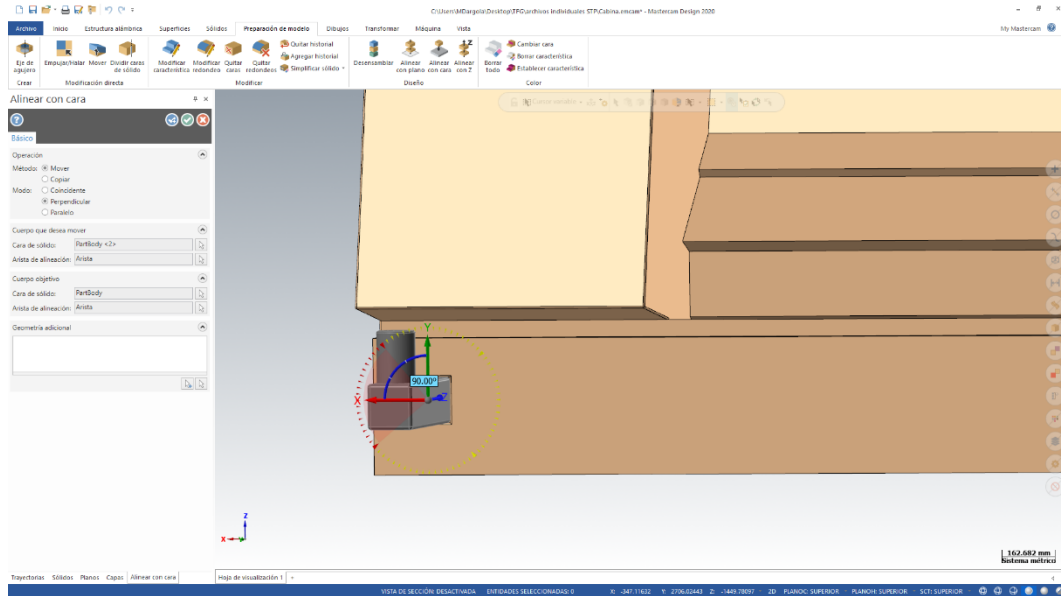


Ilustración 4.13 Colocación del brazo portante inferior.

El nivel de capa para esta pieza es 1002.

#### 4.3.1.3. Brazo portante superior

Para colocar el brazo portante superior se hará con la herramienta *Alinear con cara*, método *mover* y modo *paralelo*. En esta pieza se seleccionará el agujero cilíndrico que tiene en la parte baja para unirlo a la parte cilíndrica del brazo portante inferior. Al seleccionar una cara circular, el programa necesita dos puntos del borde de la superficie en lugar de la arista.

Una vez esté colocado, lo más seguro es que sea necesario girarlo hasta una posición en la que al menos no se solape con ninguna otra parte de la máquina.

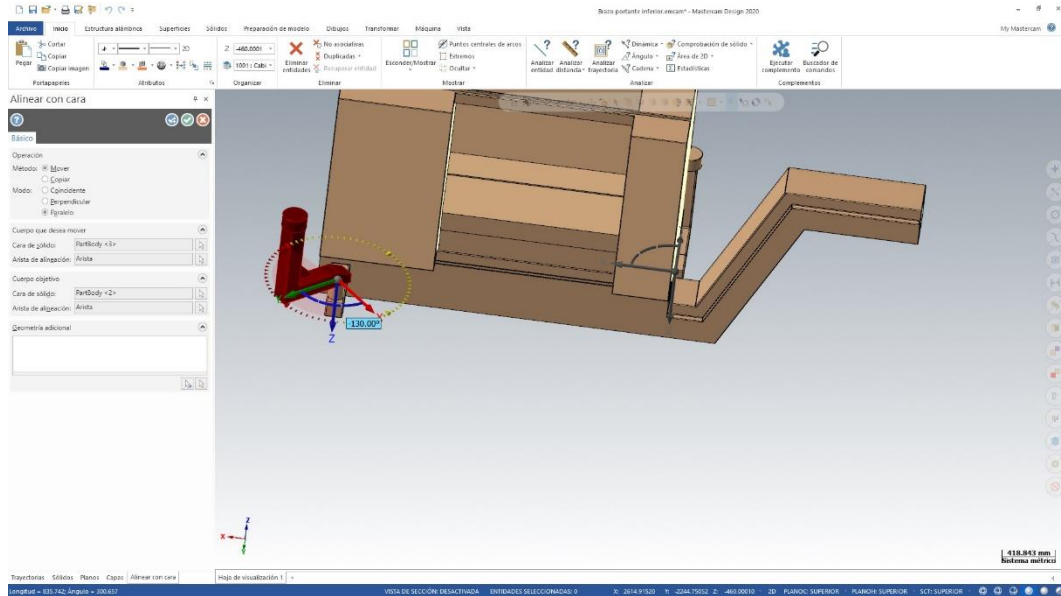


Ilustración 4.14 Colocación del brazo portante superior.

El nivel de capa para esta pieza es 1003

#### 4.3.1.4. Panel de mandos

Este archivo es un tanto peculiar, ya que en el no solo se encuentra guardado un sólido, si no dos. Para su colocación se debe tener esto en cuenta. El primer paso, será seleccionar la capa 1001 como invisible, ya que la cabina y el panel de mandos se solapan, dificultando la selección de las caras a poner en contacto.

En primer lugar, se colocará el panel de mandos usando la herramienta *Alinear con cara*, método *mover* y modo *paralelo*. Al igual que en los sólidos anteriores, se tomará como caras de contacto las superficies circulares.

Una vez colocada la primera parte, se colocará la segunda en la misma posición que tenía respecto a la primera. Para ello se usará la herramienta *Alinear con cara*, método *mover* y modo *paralelo*. Como la superficie en contacto de ambos sólidos no tiene el mismo tamaño, se usará una herramienta más para colocarla en su sitio.

Para terminar de colocar este segundo sólido, se hará uso de la herramienta *Dinámica*. Se elegirá el vértice de la cara superior del sólido que estaba anteriormente en contacto con uno de los vértices inferiores del panel de

mandos. Una vez seleccionado, se arrastrará el sólido entero hasta que ambos vértices estén en contacto.

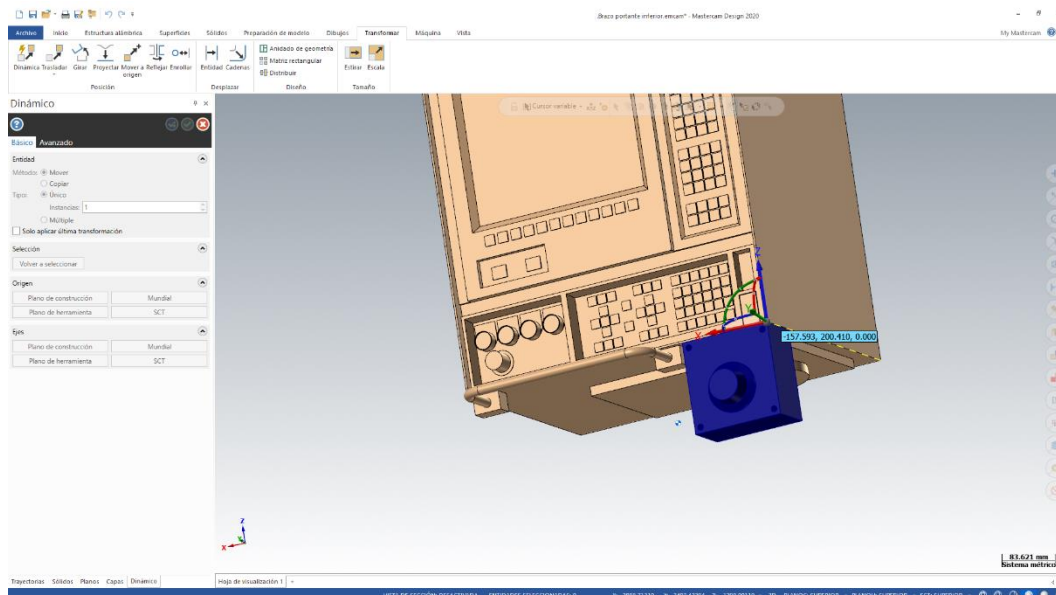


Ilustración 4.15 Colocación de los dos sólidos pertenecientes al panel de mandos.

Aunque se podría haber unido ambos vértices desde el principio, el uso inicial de la herramienta *alinear con cara* con el modo *paralelo*, permitirá de una forma segura que las aristas de ambos sólidos queden alineadas y en contacto.

El nivel de capa de ambas piezas es 1004.

### 4.3.2. Conjunto carnero-portaherramientas

En este conjunto se encuentran la rampa del carnero, el carnero, el acople del revolver y el revolver. En el proceso de montaje de este conjunto, es posible que la cabina estorbe una vez se haya colocado la rampa del carnero. Es por esta razón por la que, una vez colocada la rampa, se desactivará la capa de la cabina, facilitando así el posicionamiento del resto de partes.

También se podrán desactivar el resto de las capas si los sólidos contenidos en ellas molestan.

#### 4.3.2.1. Rampa del carnero

Para colocar esta pieza se usará la herramienta *Alinear con cara*, método *mover* y modo *paralelo*. Esta pieza va acoplada a la cabina, más concretamente a la cara inclinada de la parte interior.

Una vez está colocada en la cara de la cabina correspondiente, se procederá a ajustarla a la arista que hace con la cara inclinada que tiene justo debajo.

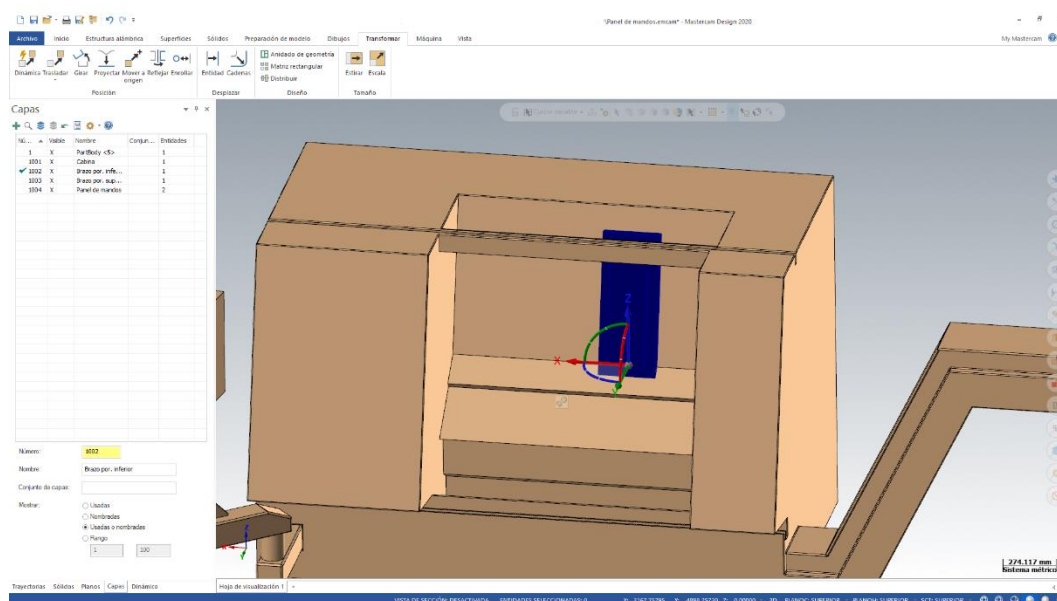


Ilustración 4.16 Colocación de la rampa del carnero.

Esta parte de la máquina tiene movimiento de traslación en el eje X, por lo que en este momento no es importante la distancia que tenga respecto de la cara de la izquierda de la cabina. El nivel de capa de esta pieza es 1011.

#### 4.3.2.2. Carnero

Para colocar esta pieza se usará la herramienta *Alinear con cara*, método *mover* y modo *paralelo*. Este sólido tiene una guía en la parte posterior, la cual se acopla a la rampa del carnero. Una vez está colocada sobre la rampa, es aconsejable desplazarla sobre la misma para evitar así posibles contactos con el contrapunto más tarde.

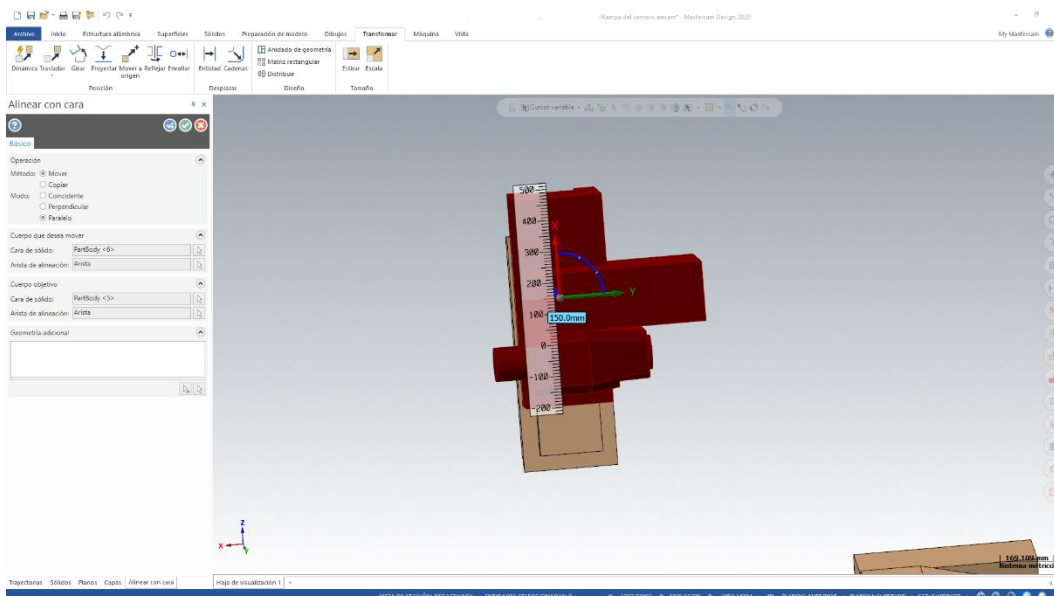


Ilustración 4.17 Colocación del carnero.

Hay que recordar que el carnero tendrá movimiento respecto al eje Z una vez se tenga la máquina montada entera, por lo que el nivel de la capa de esta pieza es 1031.

#### 4.3.2.3. Acople del revolver

Para colocar el acople del revolver se usará la herramienta *Alinear con cara*, método *mover* y modo *paralelo*. La pieza debe quedar colocada de tal manera que la arista larga de la parte no circular del sólido quede paralelo a la parte superior del carnero.

Una vez este colocado de esa forma sin importar la orientación o la posición respecto al cilindro que sobresale del carnero, se realizará un movimiento del acople del revolver con la herramienta *Dinámica*. Se elige el punto central de la circunferencia pequeña perteneciente al acople del revolver (es posible que haya que desactivar la capa del carnero para poder seleccionarlo). Una vez seleccionado, se hará coincidente con el punto central de la circunferencia de la base del cilindro que sobresale del carnero. Cuando ya esté colocado respecto al cilindro, se girará sobre el eje Z si es necesario para dejar el lado más largo de la parte rectangular mirando hacia las puertas del torno. Al igual que a la hora de colocar la segunda pieza del panel de mandos, esto se hace para asegurar el buen posicionamiento de la pieza respecto del carnero.

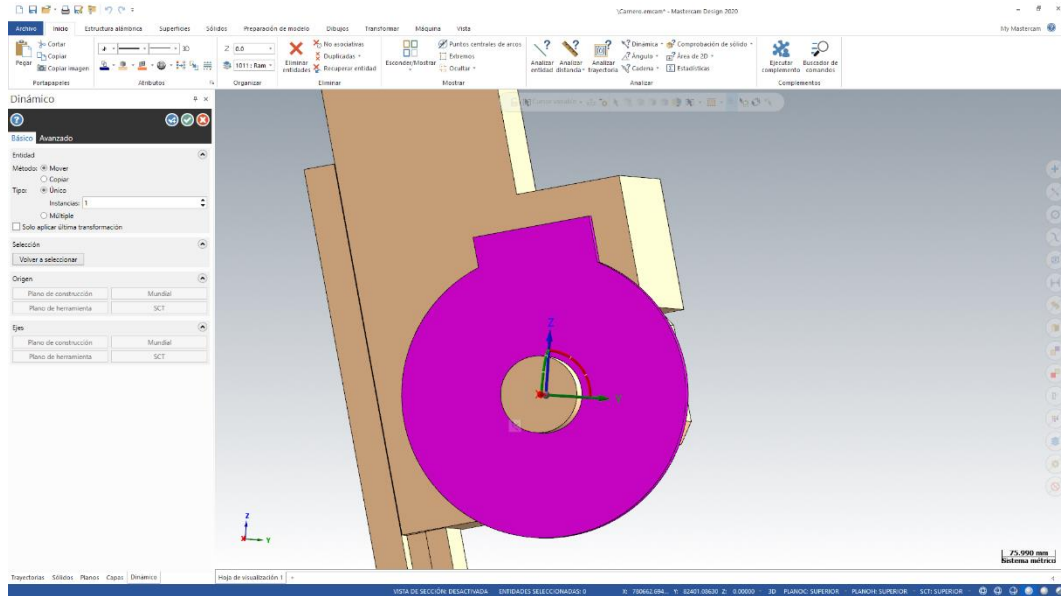


Ilustración 4.18 Colocación del acople del revolver.

Al igual que el carnero esta pieza tiene un movimiento de traslación respecto al eje Z acompañando al carnero en todo momento. Es por esto por lo que la capa asignada será 1032.

#### 4.3.2.4. Revolver

Para colocar esta pieza se usará la herramienta *Dinámica*. Como la pieza es en esencia un cilindro, solo hay que asegurarse de que este cilindro y el cilindro saliente del carnero sean concéntricos. Hay que asegurarse también, de que la superficie que está en contacto con el acople del revolver sea la superficie plana. Para ello se usará como punto final de traslado el centro de la circunferencia del acople del revolver de la superficie de contacto.



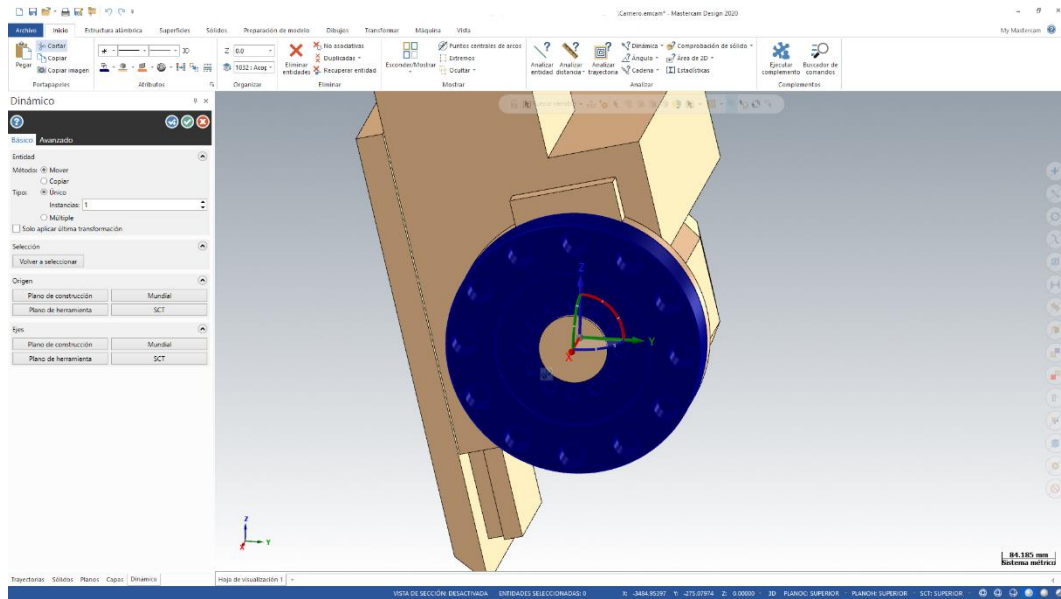


Ilustración 4.19 Colocación del revolver.

El revolver tiene movimiento de rotación respecto del eje X por lo que su nivel de capa será 1041

### 4.3.3. Conjunto de agarre de la pieza

Este conjunto está formado por el contrapunto, el plato de garras, los adaptadores de garra y las garras. Las piezas se colocarán en este orden en su sitio. Para la colocación de los dos últimos elementos se desactivarán todas las capas menos la correspondiente al plato de garras.

#### 4.3.3.1. Contrapunto

Para colocar esta pieza se usará la herramienta *Alinear con cara* método *mover* y modo *paralelo*. Así nos aseguraremos al igual que con la rampa del carnero que se encuentra en contacto con las dos superficies de acople de la cabina.

La parte cilíndrica del contrapunto debe quedar del lado de las puertas, de modo que si al colocarla sobre la superficie de la cabina, el cilindro no está de la parte de las puertas, el contrapunto debe ser girado 180°.

Una vez colocado en la superficie correspondiente, también es posible que no esté en contacto con la segunda superficie en común que tienen contrapunto



y cabina. Para solucionar esto se recurrirá a la herramienta *Dinámica*. Con esta herramienta se seleccionarán los puntos medios de las dos aristas a juntar.

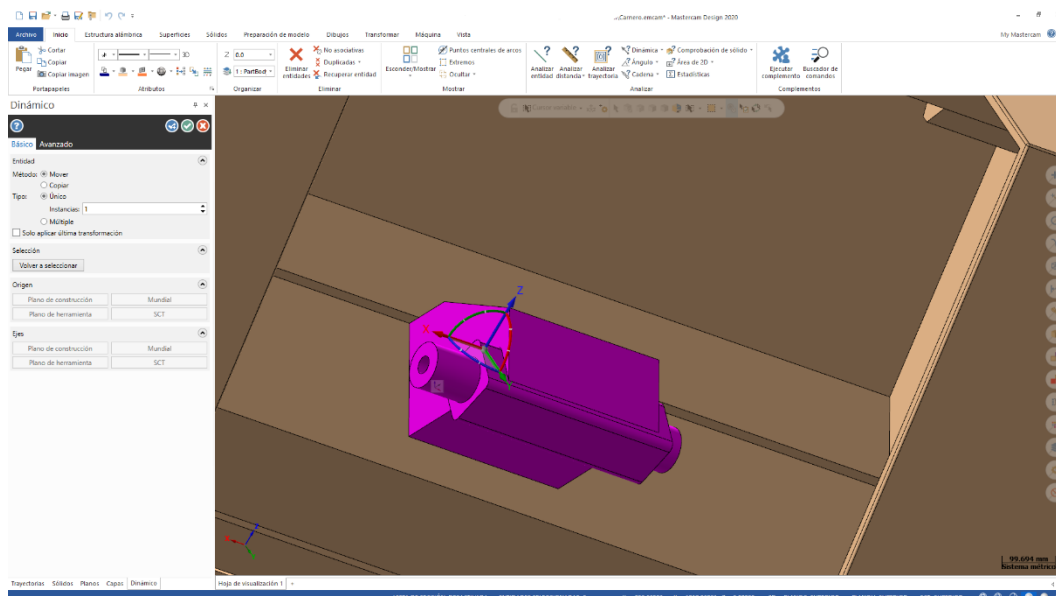


Ilustración 4.20 Colocación del contrapunto.

El contrapunto tiene movimiento de traslación respecto al eje X, por lo que su nivel de capa será 1012.

#### 4.3.3.2. Plato de garras

Para colocar esta pieza se usará la herramienta *Alinear con cara*, método *mover* y modo *coincidente*. Se seleccionarán la superficie trasera del plato de garras y la superficie izquierda interna de la cabina. Una vez esté posicionado el plato de garras, debe moverse hasta que el eje central del cilindro coincida con la parte cilíndrica del contrapunto. Para ello se hará uso del sistema de referencia que aparece al unir las superficies antes descritas. Se desactivará la capa de la cabina y se procederá a hacer coincidentes los ejes.

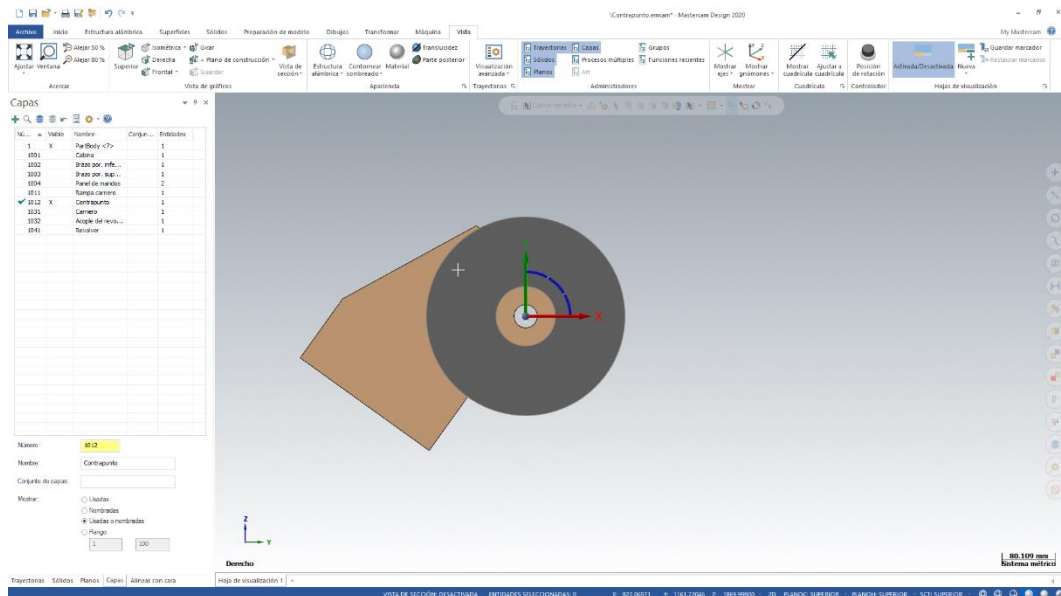


Ilustración 4.21 Colocación del plato de garras.

El plato de garras tiene movimiento de giro respecto al eje X, por lo que su nivel de capa será 1042.

#### 4.3.3.3. Adaptador plato-garra

Para colocar esta pieza se usará la herramienta *Alinear con cara*, método *mover* y modo *paralelo*. La superficie seleccionada en el adaptador será la base de la pieza junto con una de sus aristas. Es posible que la pieza se coloque girada  $180^\circ$  respecto a su posición real. Para saber si esto ocurre, hay que tener en cuenta que, de los dos extremos, el que queda para la parte interna del plato de garras es el lado recto.

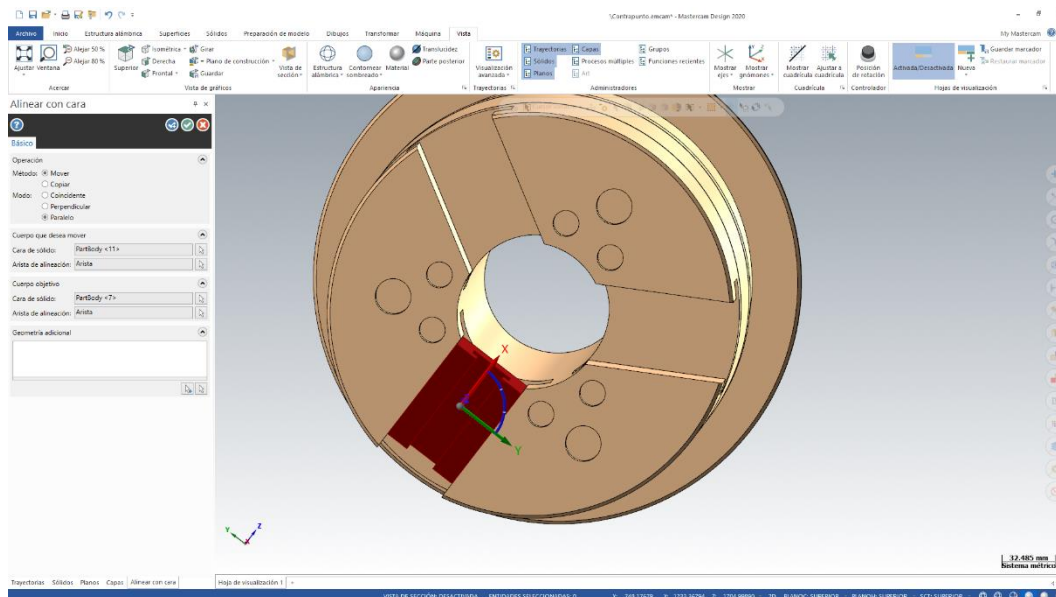


Ilustración 4.22 Colocación del adaptador plato-garras.

Como se puede ver en la imagen, el adaptador se solapa con el orificio cilíndrico del plato de garras. Para evitar que pase esto se debe mover en el eje X según el sistema de referencia fijo al adaptador. La distancia que de traslado no tiene un valor determinado, siempre y cuando deje el volumen del orificio libre.

Una vez colocado el adaptador plato-garra en la posición final, se procederá a usar la herramienta *Girar*. Una vez seleccionado el adaptador se seleccionarán los siguientes parámetros en el menú de la izquierda:

- Método → Copiar
- Punto central de rotación → Centro del cilindro interno del plato de garras.
- Numero → 2
- Ángulo → 120°
- Distancia → Ángulo entre
- Método → Girar

Hay que recordar que, para poder realizar el giro respecto al eje longitudinal del plato de garras, hay que cambiar el plano de construcción. Como el eje longitudinal del plato de garras es paralelo al eje X de referencia global, el plano de construcción debe ser cambiado a plano derecho o izquierdo. En este caso la elección entre uno de los dos planos no afecta el resultado final.

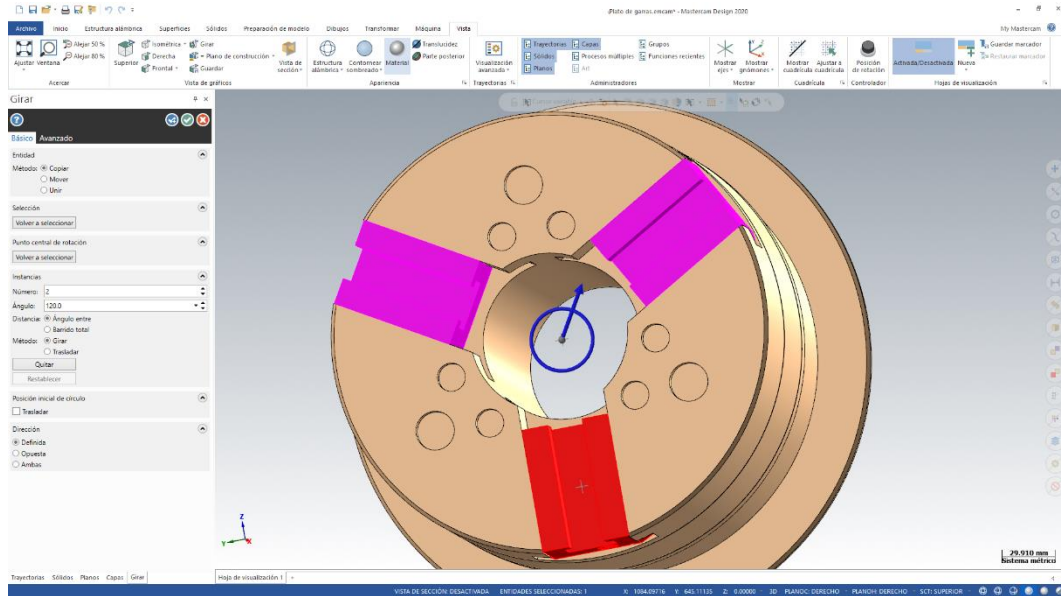


Ilustración 4.23 Posición final de los adaptadores plato-garra.

Los adaptadores plato-garra tienen movimiento de giro respecto al eje X, por lo que su nivel de capa será 1043.

#### 4.3.3.4. Garras

Para colocar esta pieza se usará la herramienta *Alinear con cara*, método *mover* y modo *paralelo*. El procedimiento a seguir es exactamente igual que en el adaptador plato-garra. Se seleccionará la cara inferior de la garra y la cara del adaptador perteneciente a la guía.

La garra se colocará con la parte escalonada hacia fuera, por lo que se girará para tener esa dirección si es necesario.

Una vez posicionado en el adaptador plato-garra, se procederá a usar la herramienta *Gíral*. Los parámetros a seleccionar serán los mismos que en el procedimiento de giro del adaptador plato-garra.

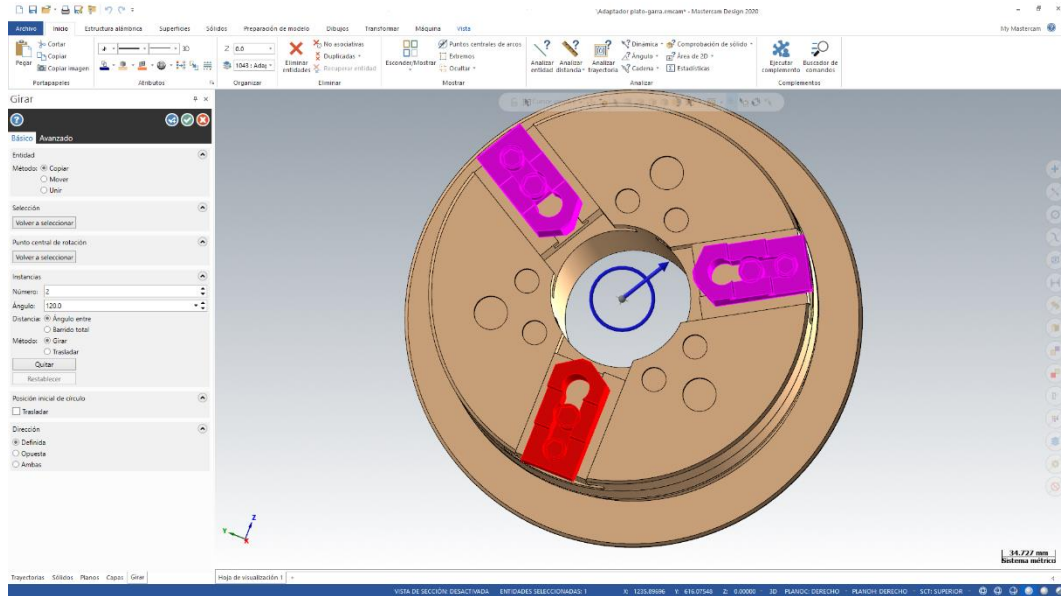


Ilustración 4.24 Colocación de las garras.

Las garras tienen movimiento de giro respecto al eje X, por lo que su nivel de capa será 1044.

#### 4.3.4. Conjunto de las puertas.

Ambas puertas se posicionan de la misma manera. Simplemente se deberá tener cuidado a la hora de posicionarlas sobre la guía si se colocan cerradas, para que los sólidos no se solapen.

Para poder colocar las puertas en su sitio, se deberá tener al menos la capa de la cabina activada. Si no se han activado las capas tras colocar el conjunto de agarre de la pieza, deberán activarse antes de poder empezar con la colocación de las puertas.

##### 4.3.4.1. Puerta izquierda.

Para colocar esta pieza se usará la herramienta *Alinear con cara*, método *mover* y modo *perpendicular*. Para colocar la puerta, se elegirá la cara superior interna, es decir, la superficie que va a estar en contacto con la cabina dejando el asa de agarre de la puerta por debajo de las rejas. La arista será una de las laterales. Por parte de la cabina, se elegirá la cara superior exterior, y la arista a elegir, será una paralela a la dirección de la guía.

Si la puerta se coloca dentro de la cabina, esta se girará 180°.

Tras tenerla posicionada, es posible que no esté completamente en su sitio. Para comprobarlo se observará la guía del movimiento. Si la puerta no está en contacto con la parte posterior en ambas guías (superior e inferior), habrá que posicionarla de tal manera que estén en contacto. Con asegurarse de que dicho contacto se cumple en una de las guías es suficiente, ya que la puerta tiene las dimensiones exactas para que si hay contacto en una de las guías, exista en la otra.

Para ello se hará uso del sistema de referencia fijo a la superficie que se quiere alinear. Usando el eje perpendicular a la guía se arrastrará la puerta hasta que esta se ponga de color amarillo. Cuando esto ocurre es debido a que Mastercam detecta que, para un rango determinado de desplazamiento, se solapan ambos sólidos, fijándolo para dicho rango en la zona de contacto más próxima.

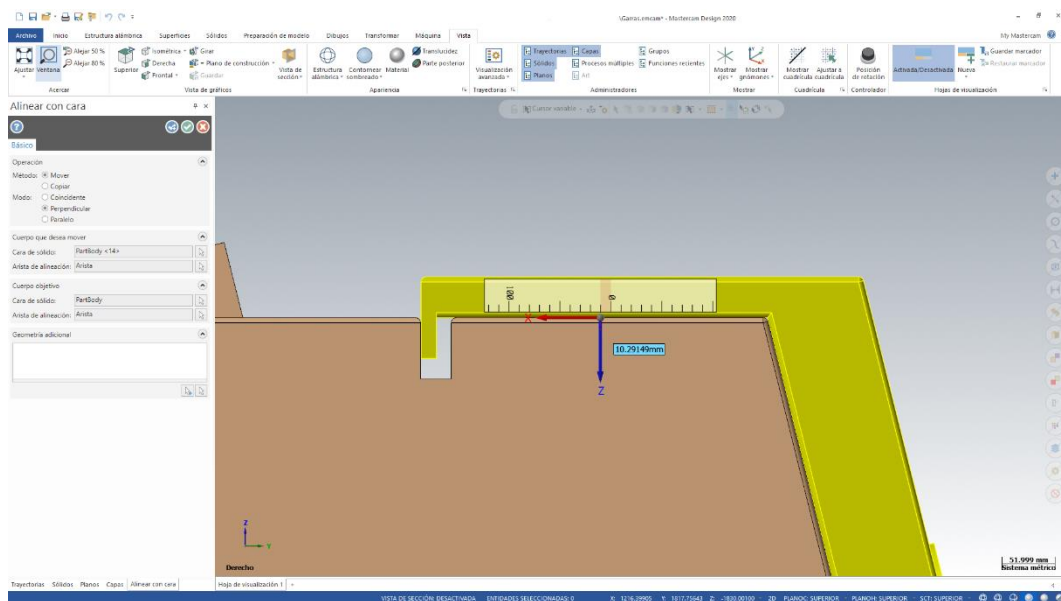


Ilustración 4.25 Colocación de puerta izquierda.

La puerta izquierda tiene movimiento de traslación respecto al eje X, por lo que su nivel de capa será 1013.



#### 4.3.4.2. Puerta derecha

Para colocar esta pieza se usará la herramienta *Alinear con cara*, método *mover* y modo *perpendicular*. El procedimiento es exactamente el mismo que en la colocación de la puerta izquierda. Para facilitar el posicionamiento de esta, se desactivará la capa asignada a la puerta izquierda. Esto facilitará ver si el posicionamiento en la guía es bueno o no.

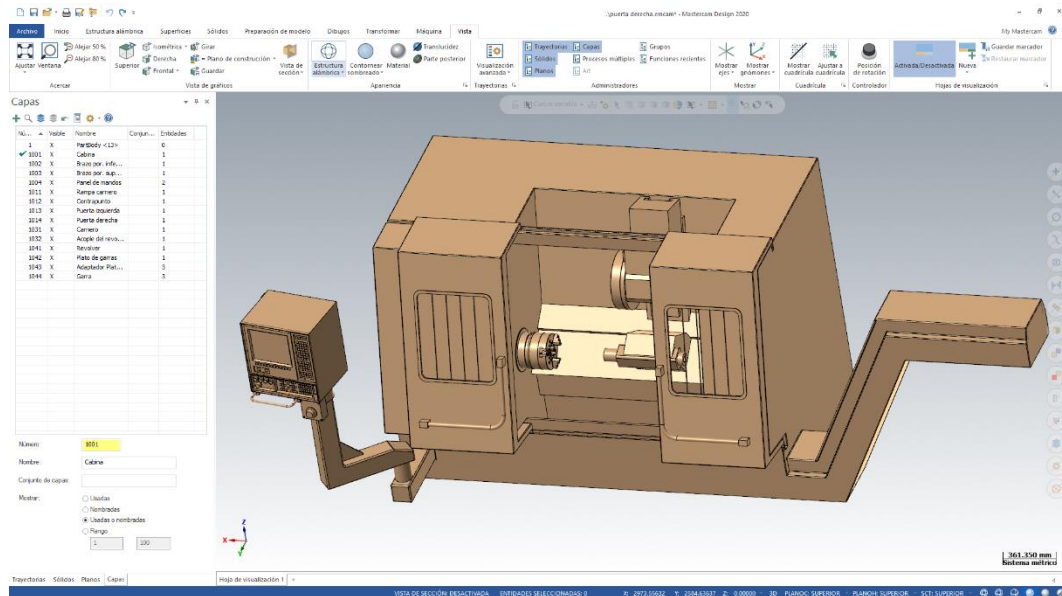


Ilustración 4.26 Colocación de la puerta derecha y apariencia final de la máquina.

La puerta derecha tiene movimiento de traslación respecto al eje X, por lo que su nivel de capa será 1014.

### 4.4. Últimos pasos previos a la simulación

Aunque el montaje de la máquina en Mastercam ya ha terminado, aún quedan realizar dos pasos previos a la creación de la máquina virtual con la que se quiere realizar las simulaciones.

Los pasos que quedan son solo dos, posicionar la máquina según el sistema de referencia global y realizar el guardado de las piezas en archivo STL.

### 4.4.1. Posicionamiento de la máquina respecto del sistema de referencia global.

El primero de los pasos a realizar una vez la máquina está montada en Mastercam, es elegir un punto de la geometría para que coincida con el origen del sistema de coordenadas global. Para realizar este paso, se hará uso de la herramienta *Mover a origen*.

Para usar esta herramienta no es necesario seleccionar previamente ninguna pieza, ya que la herramienta afecta a toda geometría visible en la ventana de gráficos.

Una vez se ha seleccionado la herramienta, la geometría que aparece en la ventana de gráficos, cambiará de color a amarillo. Si falta alguna de las piezas habrá que activar las capas correspondientes. Cuando se esté seguro de tener todas las piezas visibles, se marcará como punto el centro de la circunferencia del plato de garras que se encuentra inmediatamente “debajo” de los adaptadores plato-garra.

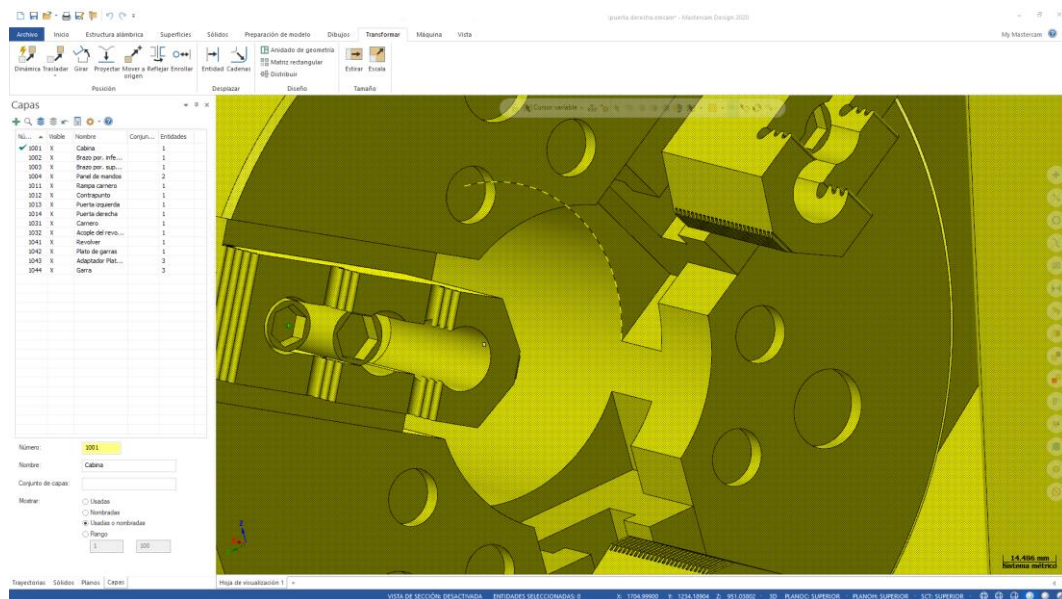


Ilustración 4.27 Selección de punto coincidente con el origen.

Una vez se haya realizado este cambio en la geometría, se usará la herramienta *Dinámica* para girar toda la geometría de la máquina desde el punto anteriormente seleccionado.



La colocación final de la máquina vendrá definida por el eje longitudinal del plato de garras, como eje X, y la dirección del movimiento de traslación del carnero, como eje Z. Para ello se realizará el giro o giros necesarios, si hace falta más de uno, para posicionar el eje X coincidente con el eje del plato de garras. Cuando ya esté colocado el eje X, se buscará la verticalidad del eje Z sin tener en cuenta el carnero. En esta posición el triedro debería completarse con el eje Y, del sistema global de referencia, hacia el interior de la máquina.

Ahora se necesita saber cuántos grados hay que girar la máquina en el plano YZ para que el eje Z sea paralelo a la dirección de movimiento del carnero. Para ello se hará uso de la herramienta *Ángulo*. Se seleccionarán una de las aristas paralelas a la dirección del movimiento del carnero y una de las aristas de la parte posterior de la máquina.

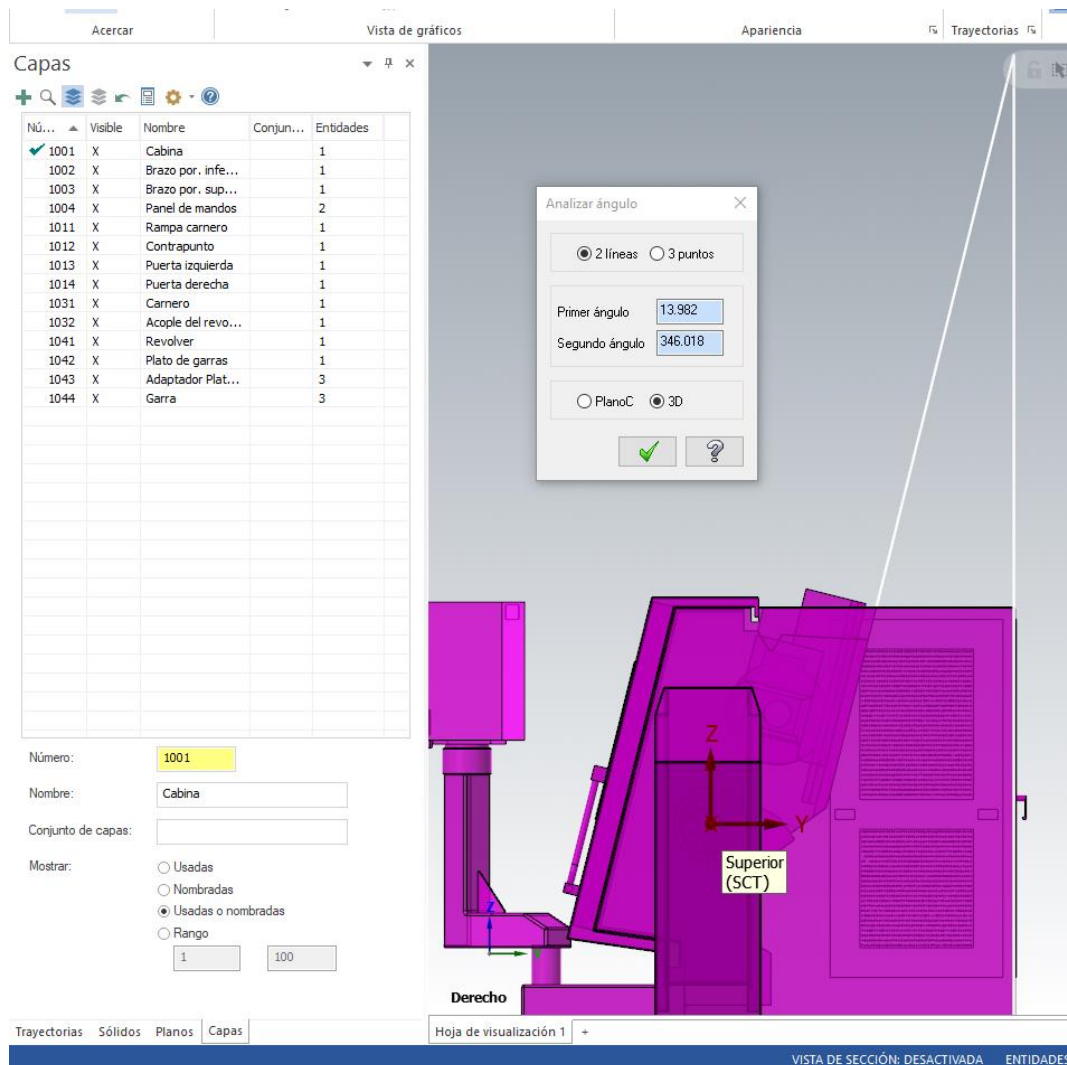


Ilustración 4.28 Medición del ángulo entre la dirección de movimiento del carnero y el eje Z.

Como puede verse en la imagen, las opciones seleccionadas, para obtener el valor numérico de la medición, son 2 líneas y 3D. El valor obtenido en el primer ángulo será el valor que se usará para girar la máquina en el plano YZ.

Se repetirá el proceso anterior, usando la herramienta *Dinámica*. Se girará la máquina completa un total de 13,982° para hacer coincidentes la dirección del movimiento de traslación del carnero con el eje Z del sistema de referencias global.

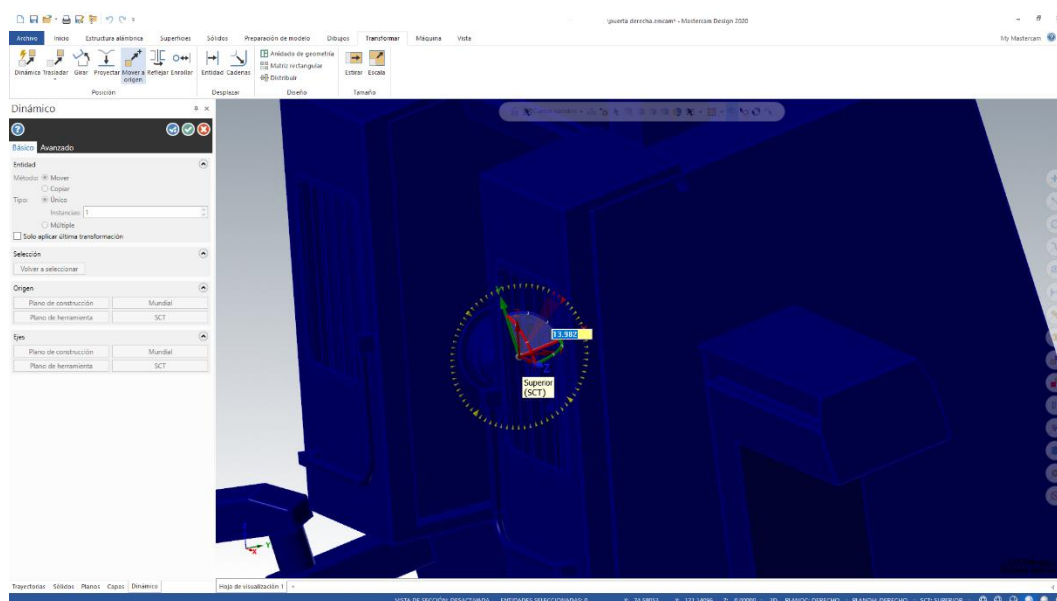


Ilustración 4.29 Gira parcial en el plano YZ de la máquina para obtener su posición final.

#### 4.4.2. Guardado de archivos STL

Como ya se ha explicado anteriormente, es necesario ensamblar la máquina dos veces en Mastercam, ya que el punto de partida es el de las distintas partes de la máquina separadas. La primera vez, es necesaria realizar el ensamblaje para que queden definidas las posiciones relativas entre cada una de las partes de la máquina, y la posición que tiene cada una de ellas en referencia al sistema de coordenadas global.

Este primer ensamblaje es necesario para poder realizar el segundo. Mientras que en el primero se han usado archivos con formato STP o STEP, en el segundo ensamblaje solo pueden usarse archivos con formato STL. Para conseguir exportar los archivos de un formato a otro, Mastercam da la opción de exportar

con la herramienta *Guardar algunas*, situado en el menú *Archivo*. Pero al estar usando la versión Demo-HLE de Mastercam y no la versión completa, esta herramienta está limitada al formato EMCAM, haciendo la misma función que la herramienta *Guardar como*.

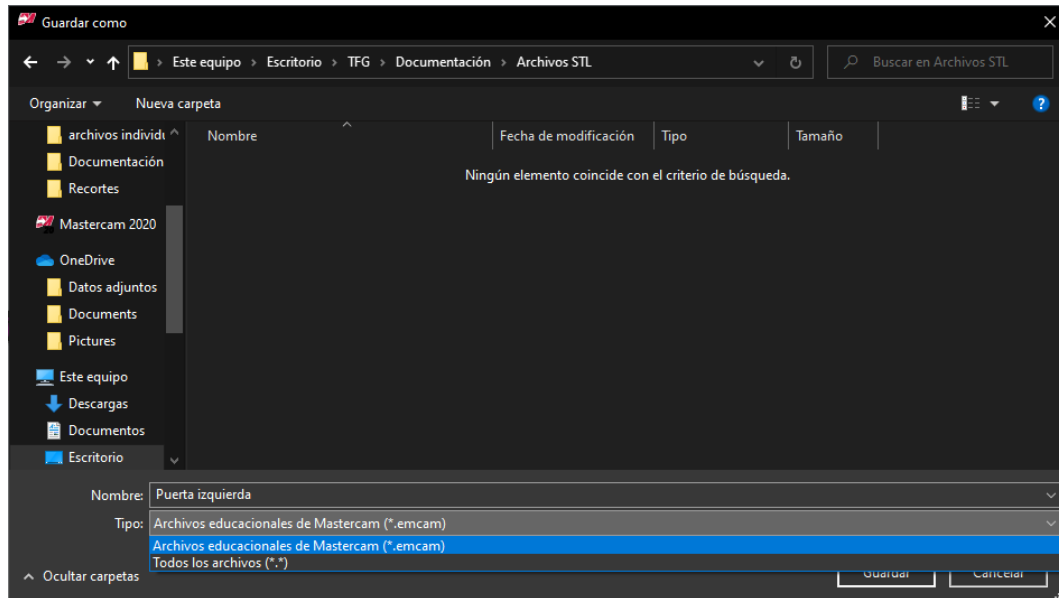


Ilustración 4.30 Ventana emergente al seleccionar *Guardar algunas* y los tipos de formato que permite.

Puesto que la versión de Mastercam que se está usando para el desarrollo de este trabajo de fin de grado, no permite realizar este paso de exportar los archivos, cambiando el formato de estos, se hará uso una vez más del programa Autodesk Inventor Professional.

El proceso a seguir una vez esté abierto el programa Autodesk Inventor Professional es muy similar al llevado a cabo con el cambio de formato realizado en el apartado 4.2.2. Obtención de los archivos en formato STP.

Se abrirá el archivo de la máquina completa, obtenido tras los pasos finales del apartado 4.4.1. Posicionamiento de la máquina respecto del sistema de referencia global.. Cuando el archivo haya cargado y la máquina aparezca en pantalla, se usará la herramienta *Exportar*, con la opción *Formato de CAD*. En la nueva ventana se escribirá el nombre del archivo sustituyendo los espacios, si los tiene, por “\_” (barra baja) para evitar posibles errores posteriores. También se seleccionará el tipo de formato *archivos STL*.

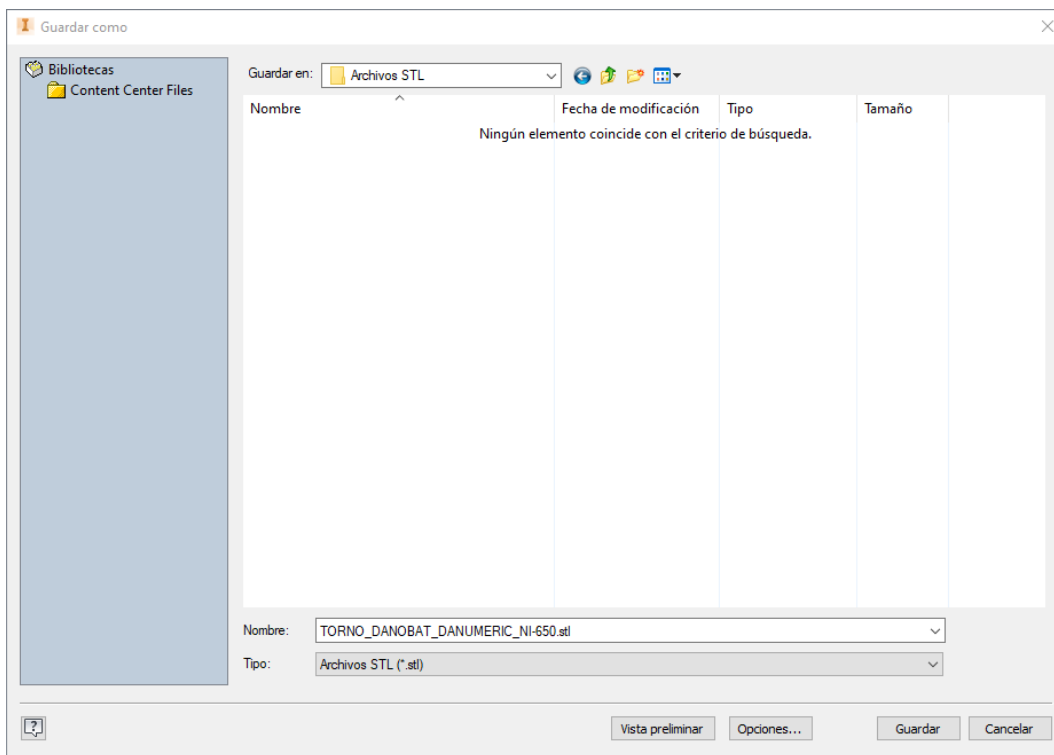


Ilustración 4.31 Configuración de la ventana *Guardar como* en la exportación a formato STL.

El último paso a realizar será abrir las opciones de guardado que aparecen en la ventana, a la izquierda del botón guardar. En ellas se seleccionará la opción, en el desplegable *Estructura*, *Un archivo por ejemplar de pieza*. De esta manera se realizará un guardado global de la máquina e individual de cada uno de sus componentes, guardando entre si la posición.

También se puede realizar un guardado de una imagen en formato GIF de la imagen. Para ello hay que clicar en *Imagen*, en las distintas opciones que salen del desplegable *Exportar*. (Véase la Ilustración 4.9.). El proceso es exactamente el mismo que el seguido para los formatos STL. Se guardará con la misma carpeta y en tipo de archivo se seleccionará la opción de formato *archivo GIF*. Esta imagen se usará más adelante, para que Mastercam muestre una imagen previa de la máquina en el seleccionador de máquinas de simulación.

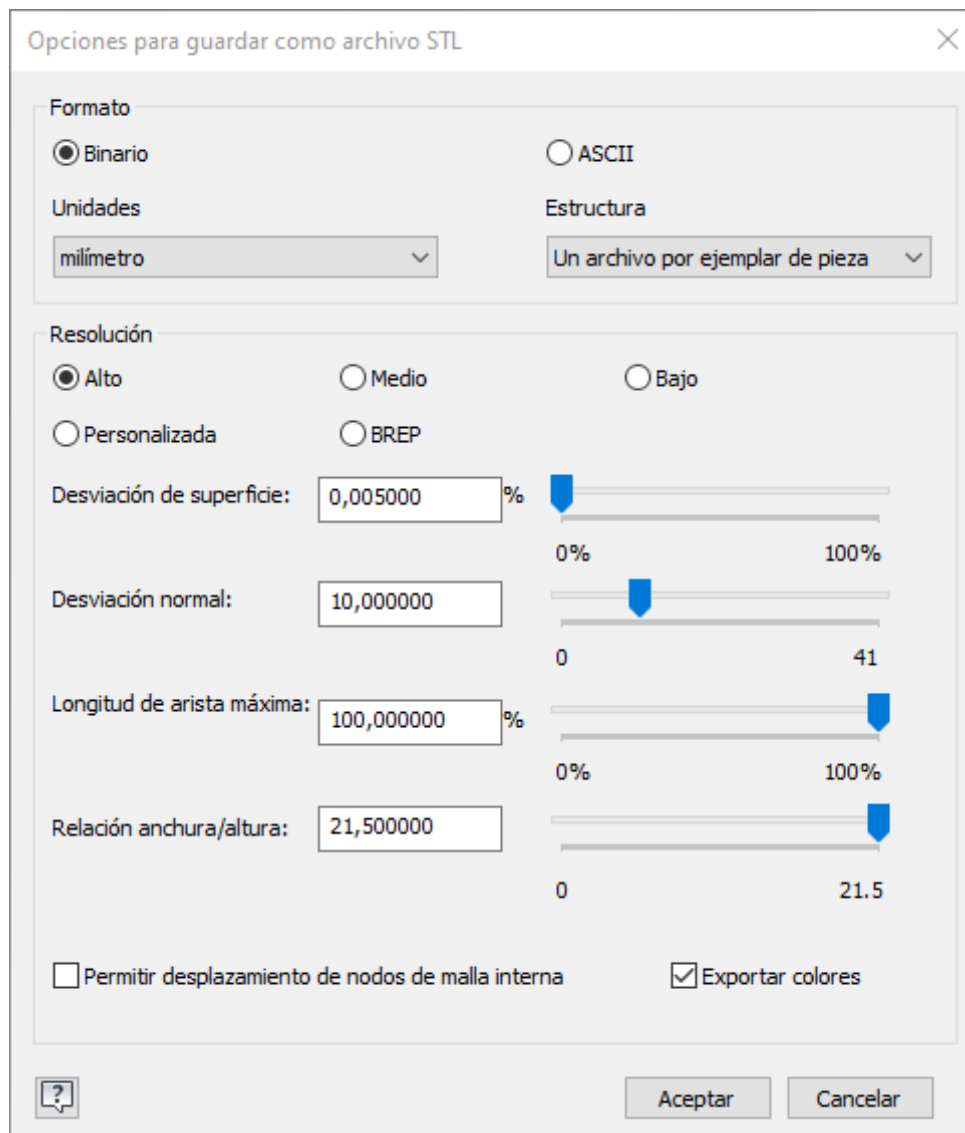


Ilustración 4.32 Opciones para guardar como archivo STL.



## Capítulo 5 Proceso de simulación

### 5.1. Introducción al proceso de simulación

En este capítulo se va a crear la máquina en la ventana de simulación y se generará el archivo necesario para posteriores simulaciones. Para acceder a la ventana de simulación de operaciones de Mastercam, hay que definir al menos una operación de arranque de viruta, en el caso de este trabajo de fin de grado, una operación que pueda hacerse con un torno.

Como ya se ha dicho previamente, en la realización de este trabajo de fin de grado, se quiere simular la máquina en cuestión. Para poder acceder a la sección del programa que permite la simulación de procesos de mecanizado por arranque de viruta, es necesario crear una trayectoria de herramienta sobre un perfil de torneado. Y este último se generará a partir del modelo de la pieza final, que se obtiene por la operación realizada por el torno.

Para crear la operación de torneado y la trayectoria de la herramienta que la realiza, primero hay que generar un perfil de revolución. Para ello se obtendrá una forma de revolución lo más sencilla posible, al igual que la operación elegida, una operación de desbaste.

Al inicio de la explicación del proceso llevado a cabo y por similitud al Capítulo 4 Proceso de ensamblaje del modelo en MasterCam, se explicarán de manera previa las configuraciones que hay que activar. También se expondrán las herramientas utilizadas en el proceso de simulación.

#### 5.1.1. Pasos previos al proceso de simulación

Al igual que en el capítulo anterior, se deberán realizar unos pasos previos de configuración de Mastercam. Para implementar la nueva configuración se abrirá un archivo nuevo.

En primer lugar, se cargará la definición de máquina y definición de control de esta en Mastercam. Para ello, en la barra de herramientas, se abrirá el menú *Máquina* y en el conjunto de herramientas *Tipo de máquina*, seleccionaremos

la herramienta *Torno*. Una vez esté seleccionado, se desplegará un pequeño cuadro con las opciones *Predeterminado* y *Gestionar lista*. De estas dos opciones, se elegirá la opción *Predeterminado*. El programa cargará entonces la definición de máquina y de control, relativos a un torno, apareciendo un nuevo menú, en la barra de herramientas, donde se podrán elegir las distintas operaciones a realizar sobre el tocho. El programa también carga las operaciones relativas a fresado.

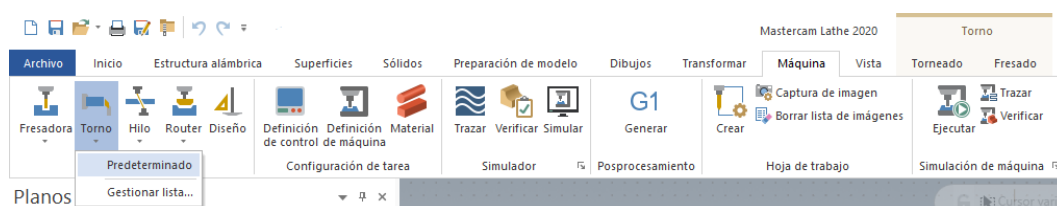


Ilustración 5.1 Localización en la barra de herramientas de la definición del torno.

Para seguir con los pasos previos, se buscará la ventana de trayectorias en la parte izquierda de la ventana del programa. Si no aparece, habrá que activar esta ventana desde el menú *Vistas* siguiendo los pasos vistos en el apartado 4.1.1 Puesta a punto de MasterCam. En la ventana de trayectorias aparece un esquema, en el que se desplegarán las propiedades y se clicará en *Configuración de material en bruto*. Aparecerá una nueva ventana en pantalla con el nombre *Propiedades de grupo de máquinas*, y con la pestaña *Configuración de material en bruto* seleccionada, de no ser así se seleccionará esta pestaña.

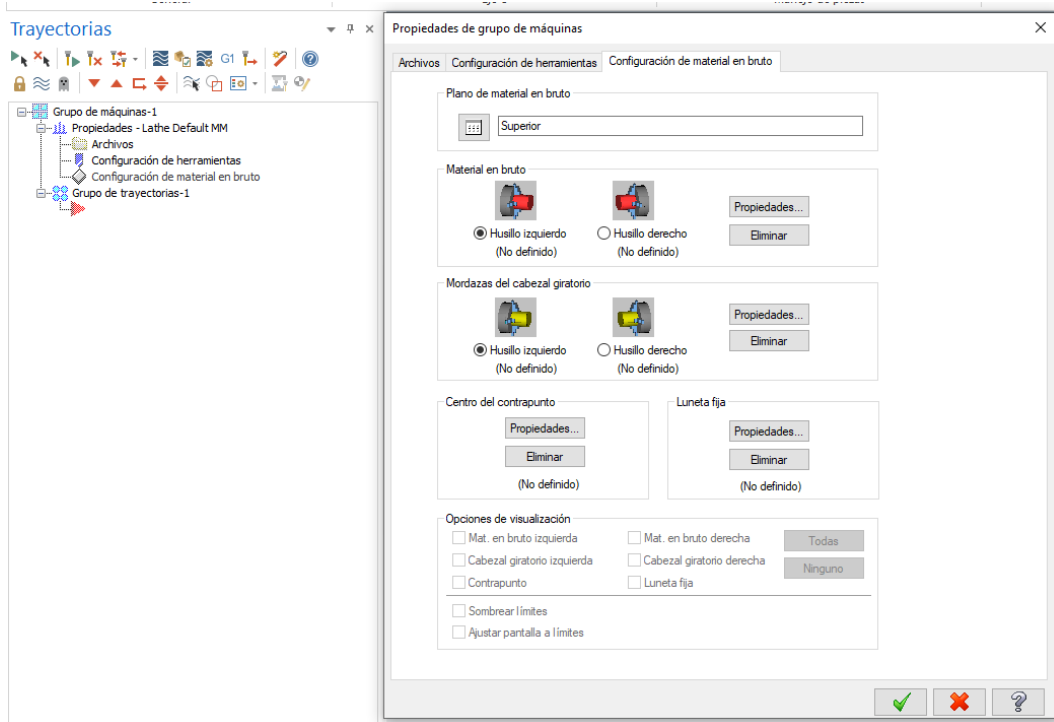


Ilustración 5.2 Ventanas Trayectorias y Propiedades de grupo de máquinas.

En ella, se clicará en la primera opción que aparece, *Plano de material en bruto*, y el programa abrirá otra ventana nueva llamada *Selección de plano*. En esta última ventana se elegirá la opción *Torno Z = Mundo Z*.

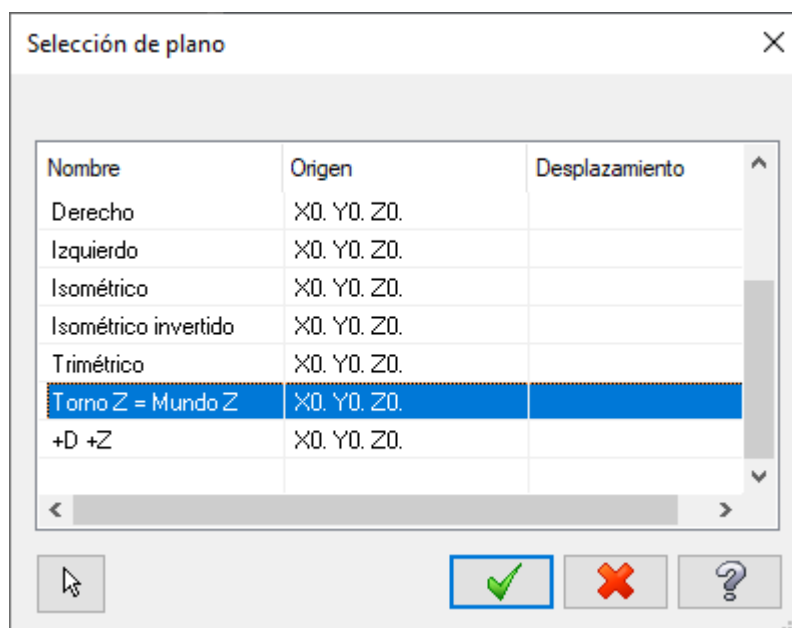


Ilustración 5.3 Selección de plano Torno Z = Mundo Z.



El último paso que hay que dar antes de empezar a modelar la pieza torneada, es el cambio del sistema de coordenadas global. Para ello se puede usar la ventana *Planos* situado a la izquierda de la pantalla o la barra de herramientas inferior. El nuevo sistema de coordenadas global será el seleccionado anteriormente como plano de material en bruto, *Torno Z = Mundo Z*.

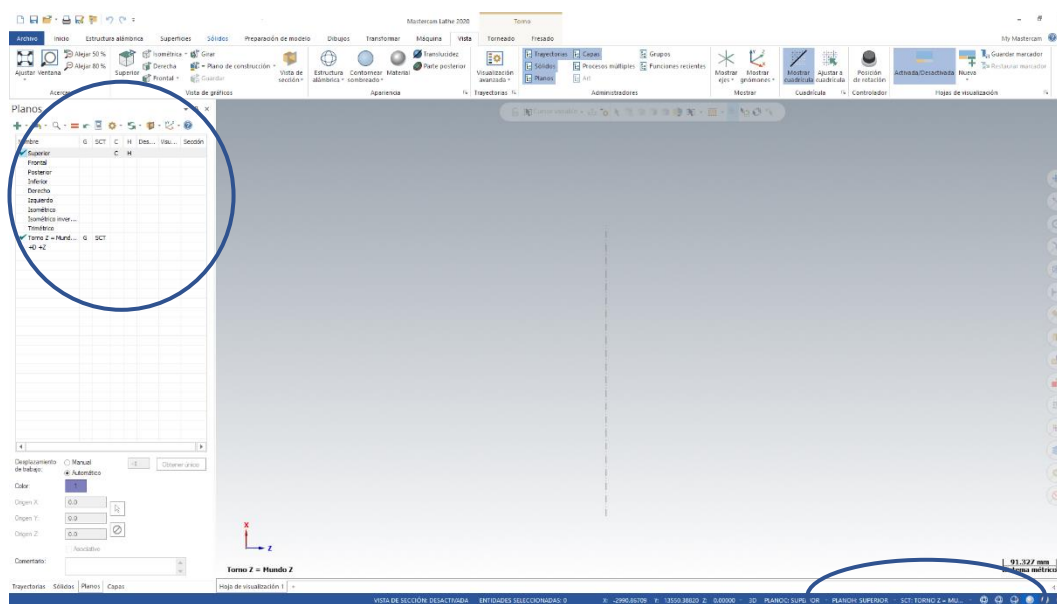


Ilustración 5.4 Localizaciones para seleccionar del sistema de coordenadas global

Durante el modelado de la pieza final obtenida por torneado y el perfil de torneado, se usarán distintos planos de construcción. El cambio del plano de construcción se realiza en las mismas ubicaciones que el sistema de coordenadas global.

Una vez estén estos tres pasos finalizados se podrá proceder con la creación de la pieza que se quiere obtener por medio de operaciones de torneado.

### 5.1.2. Herramientas usadas para llevar a cabo la simulación

En este apartado, al igual que en el apartado 4.1.2. Explicación de las herramientas que se van a usar, se van a explicar brevemente las herramientas que se usarán en el modelado de la pieza torneada y del perfil de torneado.



### 5.1.2.1. Cilindro

Esta herramienta se encuentra localizada en el menú *Sólidos*, junto al resto de herramientas *Simple*. Estas herramientas permiten crear sólidos simples, como la esfera o un bloque, a parte del cilindro, en nuestra ventana de gráficos.

Al clicar en la herramienta, aparecerá a la izquierda de la pantalla la ventana *Cilindro de primitiva*. En esta ventana se seleccionan las distintas opciones que caracterizarán el cilindro que se quiere construir.

Las opciones son las siguientes:

- Entidad:
  - Sólido: crea un modelo sólido de primitiva.
  - Superficie: crea un modelo de superficie de primitiva.
  
- Punto base: permite seleccionar un punto cualquiera de la ventana de gráficos para que sirva de referencia como punto base para el cilindro.
  
- Dimensiones: Radio y altura. Dimensiones que permiten la construcción.
  
- Angulo de barrido: Inicial y final. Ángulo de construcción del cilindro, por defecto son  $0^\circ$  y  $360^\circ$  respectivamente, creando así un cilindro completo. Si estos son modificados, se creará la parte indicada del cilindro.
  
- Eje: elección de la orientación de la primitiva sobre uno de los ejes. La selección de esta opción está relacionada con el sistema de referencia de coordenadas global y no del sistema de referencia de coordenadas perteneciente al plano de construcción elegido.
  
- Dirección: genera la primitiva del cilindro sobre los valores del eje seleccionado.
  - Lado seleccionado: valores positivos según el vector o eje elegido.
  - Lado opuesto: valores negativos según el vector o eje elegido.
  - Ambos lados: genera el cilindro en ambos sentidos del vector o eje elegido, siendo la medida elegida, la distancia entre el centro y los extremos.

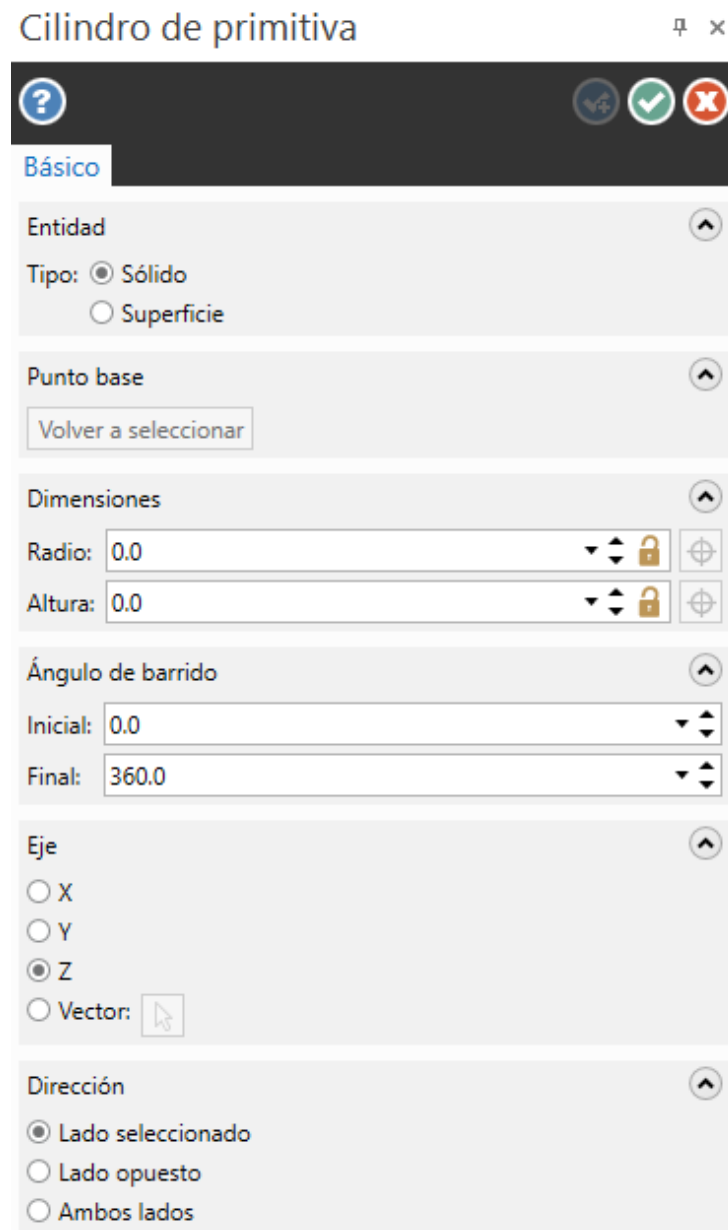


Ilustración 5.5 Ventana de opciones de la herramienta *Cilindro*.

#### 5.1.2.2. Perfil de torneado

Esta herramienta se encuentra localizada en el menú *Estructura alámbrica*, junto al resto de herramientas *Formas*. Esta herramienta permite crear un perfil 2D a partir de un modelo existente. Es necesario crear el perfil en el plano de construcción superior.



Al clicar en la herramienta, aparecerá a la izquierda de la pantalla la ventana *Perfil de torneado*. En esta ventana se seleccionan las distintas opciones que caracterizan el perfil de torneado.

Las opciones son las siguientes:

- Método:
  - Girar: crea una geometría de perfil mediante una operación de giro virtual de la geometría alrededor del eje seleccionado y la generación de una aproximación cercana del perfil real. Su uso es aconsejable cuando la geometría no es de rotación simétrica.
  - Cortar: crea la geometría de perfil exacta mediante una operación de corte a través del medio de la geometría en el plano XY del sistema de coordenadas globales. Su uso es aconsejable cuando la geometría es de rotación simétrica.
  
- Selección: permite seleccionar los sólidos de los cuales se generará el perfil de torneado.
  
- Eje de rotación: permite elegir el eje alrededor del cual se creará el perfil.
  
- Tolerancia: establece el desvío máximo permitido de una faceta triangular dada con respecto a la geometría seleccionada.
  
- Perfil:
  - Superior: crea la mitad superior del perfil.
  - Inferior: crea la mitad inferior del perfil.
  - Completo: crea las dos mitades del perfil.

Ilustración 5.6 Ventana de opciones de la herramienta *Perfil de torneado*.

### 5.1.2.3. Desbaste

Esta herramienta se encuentra localizada en el menú *Torno*, submenú *Torneado*, junto al resto de herramientas *General*. Esta herramienta permite crear una operación de desbaste a partir de un perfil de torneado.

Al clicar en la herramienta, aparecerá una ventana flotante en la pantalla. En esta se pueden seleccionar muchas opciones distintas. Desde el modo de selección hasta el método de selección y el sentido de la herramienta. Una vez se acepta la operación, aparecerá una nueva ventana llamada *Desbaste de torno*. En esta se pueden elegir los parámetros de la trayectoria y los parámetros de desbaste. Las opciones de ambos parámetros están divididas en pestañas distintas.

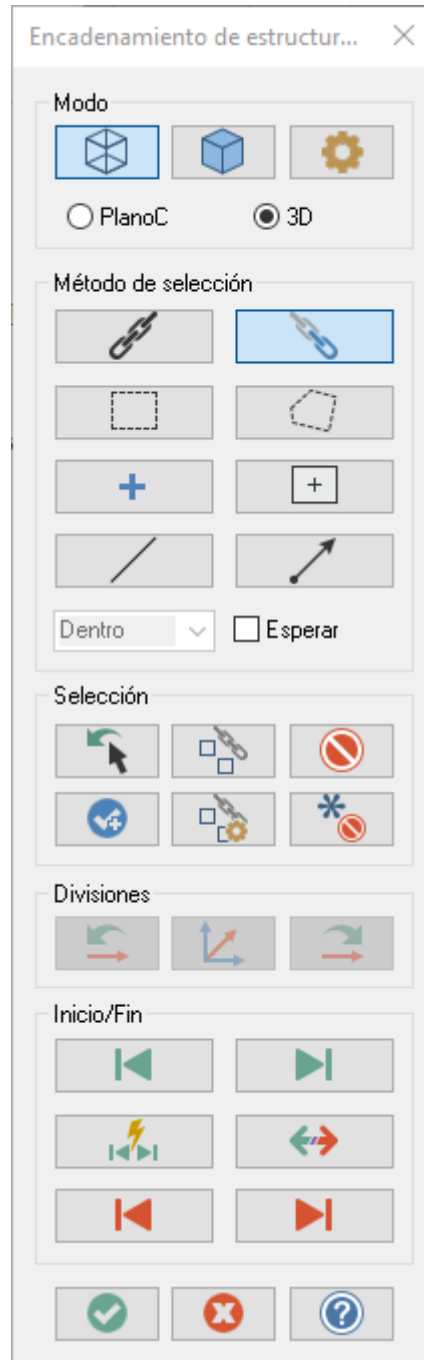


Ilustración 5.7 Ventana de encadenamiento de estructuras alámbricas.

En la pestaña de parámetros de trayectoria, se pueden elegir parámetros como la herramienta a usar, las distintas velocidades de la herramienta y el husillo o la posición de origen de la herramienta.

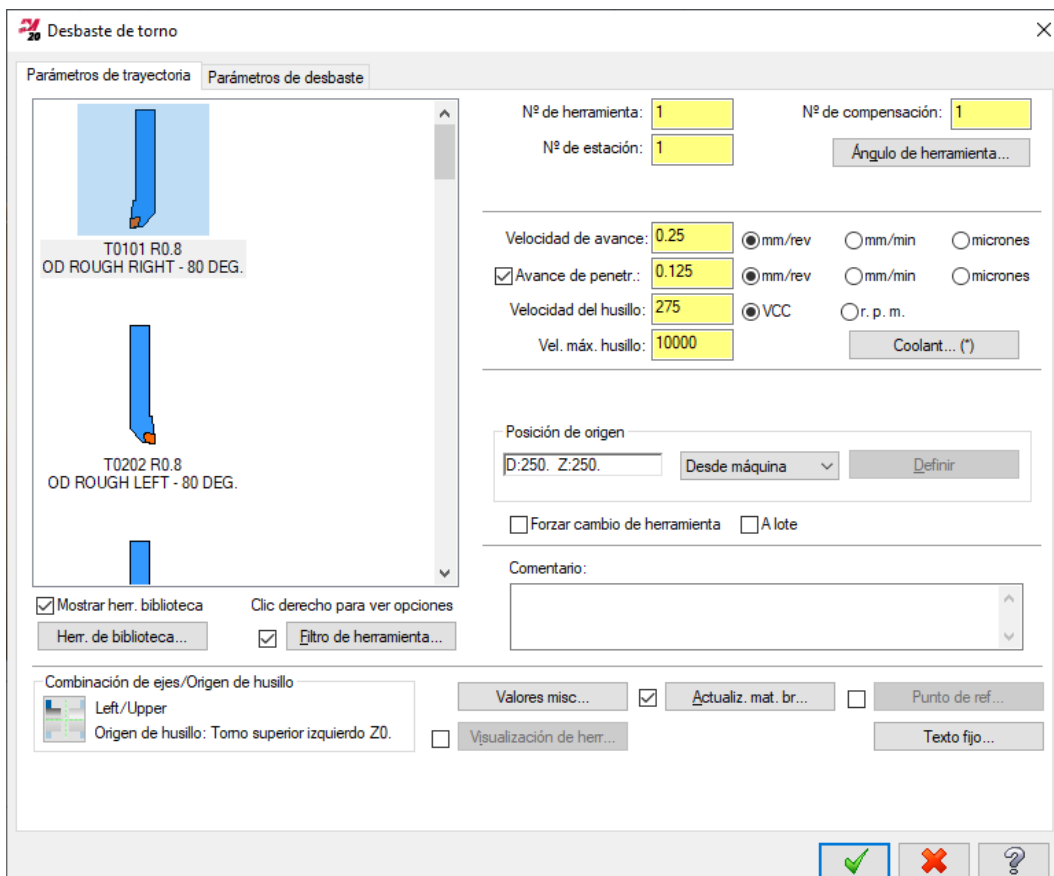


Ilustración 5.8 Ventana de parámetros de trayectoria.

En la pestaña de parámetros de desbaste, se pueden elegir distintos parámetros numéricos sobre la trayectoria del desbaste, como la profundidad de corte, o la distancia de entrada y salida de la herramienta.

Una vez modificados los parámetros de trayectoria y de desbaste en función de la operación que se desea realizar, Mastercam genera la trayectoria, mostrándola con líneas amarillas y azules indicando el recorrido de la herramienta. Las líneas azules indican el recorrido de la herramienta en el que se produce el arranque de viruta, las líneas amarillas indican el resto del recorrido.

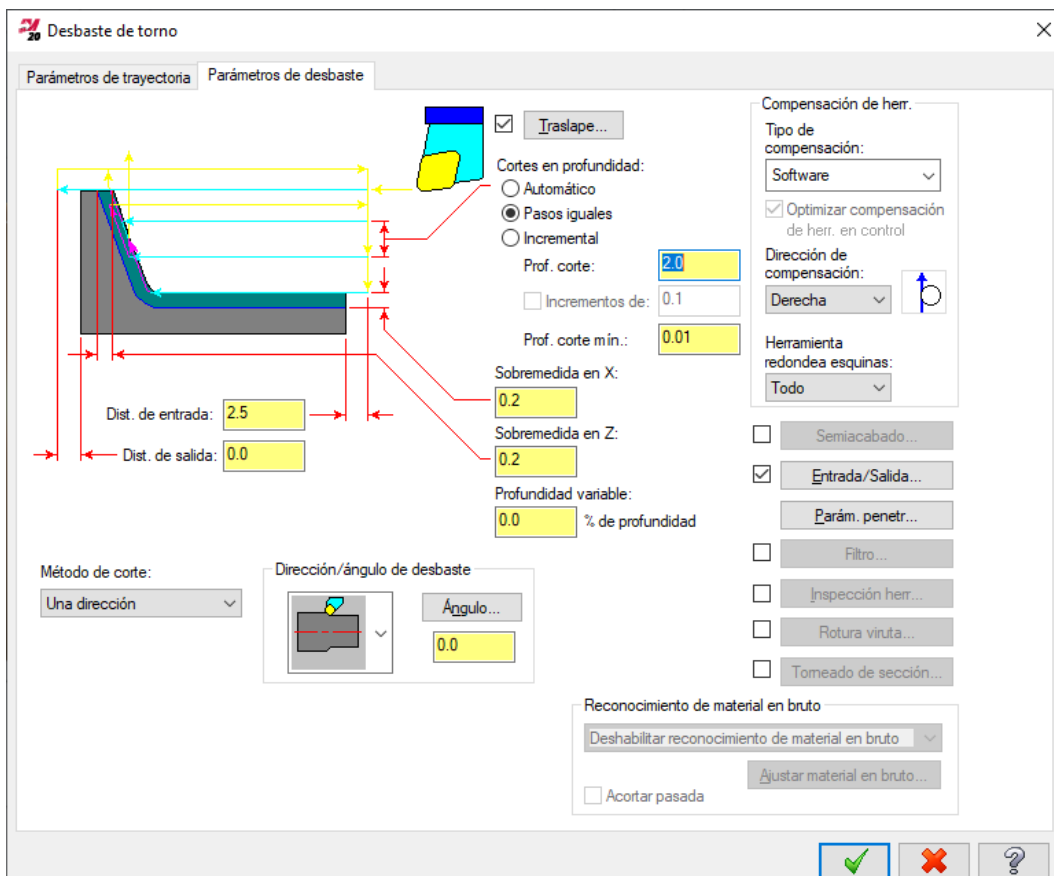


Ilustración 5.9 Ventana de parámetros de desbaste.

5.2. Desde la pieza torneada, hasta la trayectoria de la herramienta.

En este apartado se explicará cómo se ha llevado a cabo la creación de la pieza torneada y la generación del perfil de torneado a partir de esta. Primero se construirá la pieza final obtenida por torneado. Esta será una pieza lo más sencilla posible, la cual pueda ser obtenida con una única operación de torneado. La pieza finalmente construida será un cilindro con rebaje de diámetro.

Para empezar con la construcción de la pieza, es aconsejable haber activado las opciones descritas en el apartado 5.1.1. Pasos previos al proceso de simulación.





Para la construcción de la pieza torneada, se usará el plano de construcción superior, mientras que, para la creación del perfil de torneado, se usará el plano de construcción *Torno Z = Mundo Z*.

### 5.2.1. Construcción del perfil final obtenido por torneado.

El sólido elegido es muy sencillo, ya que lo que se quiere estudiar es la posibilidad de simular la máquina y la simulación de un proceso completo de torneado de una pieza. Es por esto por lo que el sólido final estará compuesto por dos cilindros, uno con menor diámetro que el otro. ([El Teacher Caliche, 2021.:](#) *Getting Started with Mastercam Lathe, 2021.* p. 18)

Se seleccionará la herramienta *Cilindro*. Una vez esté abierta la ventana *Cilindro de primitiva*, se buscará el punto central (con coordenadas (0,0,0)) de nuestra ventana de gráficos. Tras seleccionar el punto, se podrá seleccionar el radio y la altura de manera manual, pero para mayor precisión se elegirá cambiando los parámetros correspondientes en la ventana *Cilindro de primitiva*. Las dimensiones elegidas serán: radio, 42, y altura, 150. El resto de los parámetros se dejarán como están.

El siguiente paso es repetir exactamente de nuevo el procedimiento descrito en el párrafo anterior cambiando el punto base elegido, por el punto central de la circunferencia del cilindro, y las dimensiones, siendo las nuevas: radio, 35, y altura, 200.

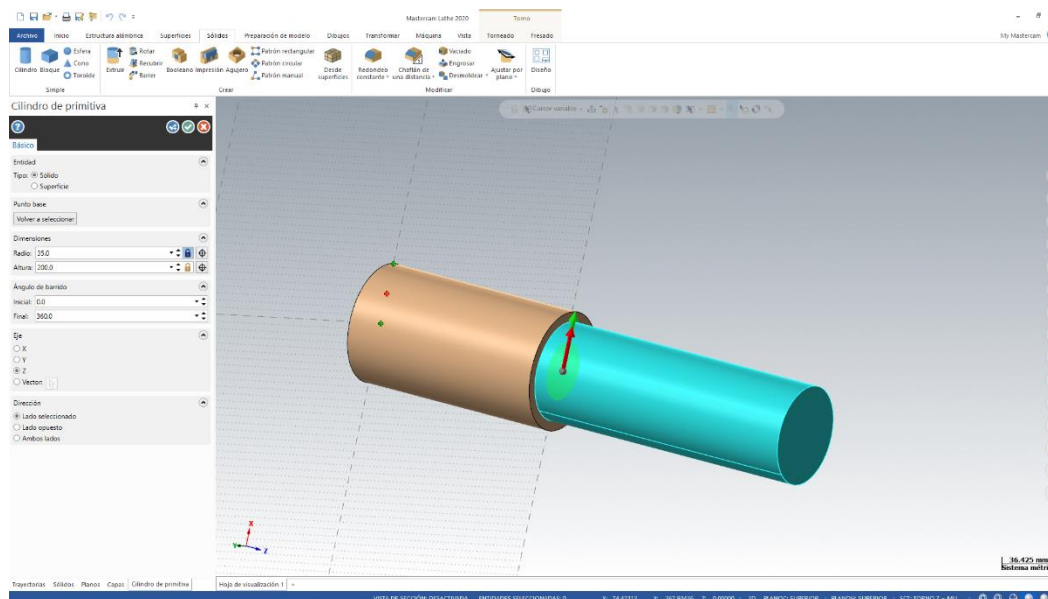


Ilustración 5.10 Sólido final obtenido por torneado.

Cuando ya se tenga el sólido final en pantalla, se cambiará el plano de construcción de superior a *Torno Z = Mundo Z*.

### 5.2.2. Perfil de torneado.

Antes de generar el perfil de torneado, hay que asegurarse de que el plano de construcción activado es *Torno Z = Mundo Z*. Estando seleccionado este plano de construcción, se clicará en la herramienta *Perfil de torneado*. Se seleccionarán los dos cilindros creados anteriormente, y se clicará en finalizar selección. En la ventana *Perfil de torneado*, a nuestra izquierda de la pantalla, no se hará ningún cambio, usando así las opciones que vienen por defecto. Se acepta la operación y aparecerá el perfil de torneado en pantalla. (*Getting Started with Mastercam Lathe*, 2021, p. 18)

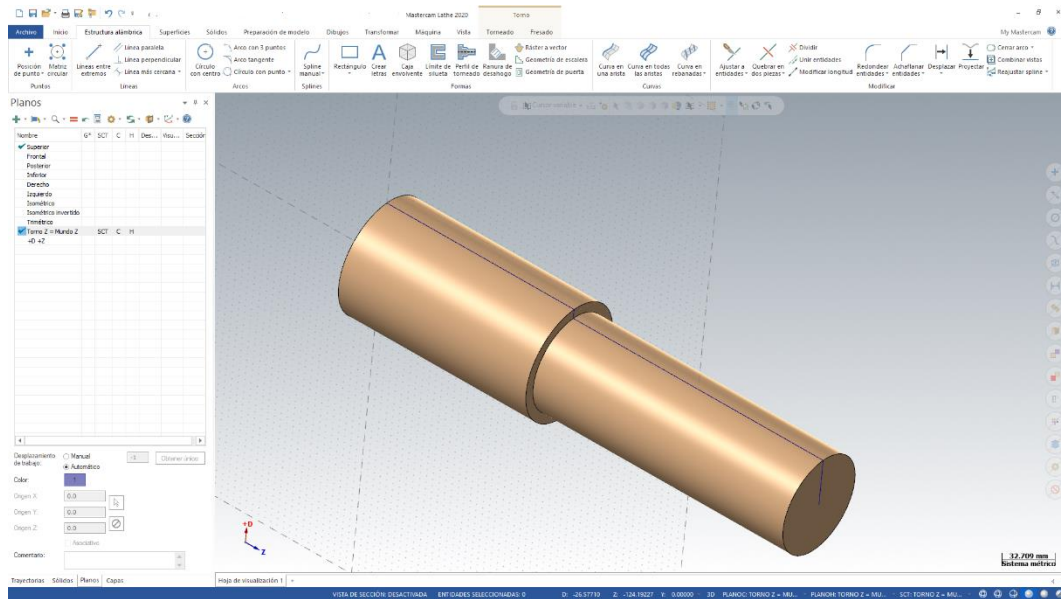


Ilustración 5.11 Perfil de torneado contenido en el plano de construcción.

### 5.2.3. Trayectoria de desbaste

Para obtener la trayectoria de desbastes se usará la herramienta *Desbaste*. Para ello se clicará en la herramienta, y con el modo *Estructura alámbrica* y el método de selección *Parcial* seleccionados, se marcarán las estructuras alámbricas de la parte de la pieza con menor diámetro.

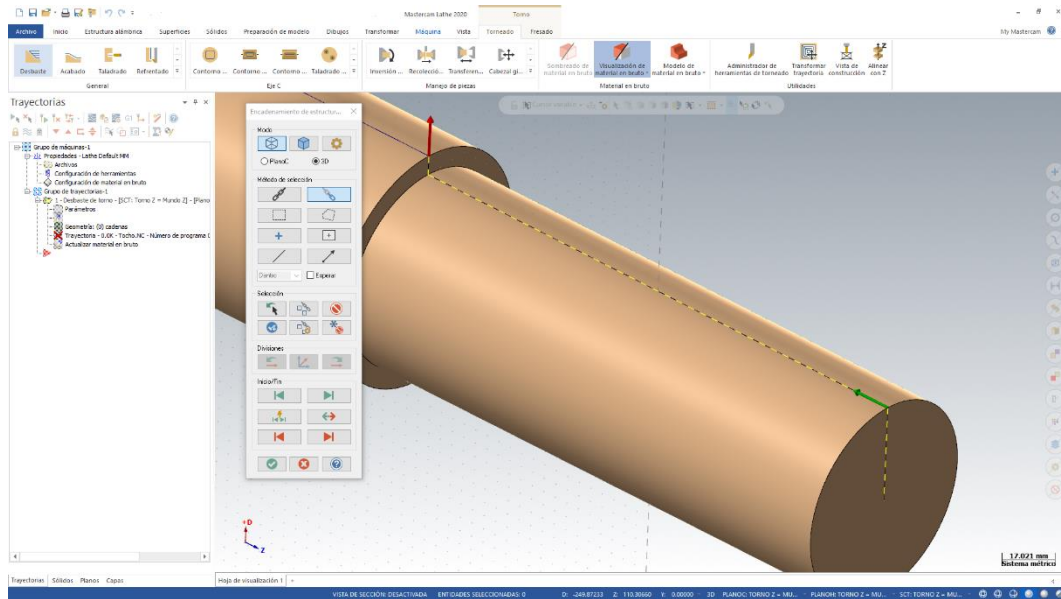


Ilustración 5.12 Selección de la estructura alámbrica del perfil de torneado.

Una vez seleccionados, se acepta en la ventana *Encadenamiento de estructura alámbrica*. Ahora aparecerá la ventana *Desbaste de torno*. En la pestaña *Parámetros de trayectoria* no se modificará nada, mientras que en la pestaña *Parámetros de desbaste* se modificará la profundidad de corte de 2 a 1,25. Este cambio en el parámetro de profundidad de corte se realizará para que la simulación sea algo más larga, ya que no se están teniendo en cuenta de que material es el tocho del que se parte o la plaquita de la herramienta.

En cuanto se aceptan los parámetros, se cerrará la ventana y Mastercam realiza los cálculos necesarios para obtener la trayectoria que debe seguir la herramienta.

#### 5.2.4. Definición de material en bruto

Aunque no se ha creado previamente un sólido que simule ser el material en bruto, se le dará a Mastercam los parámetros necesarios para que pueda reconocerlo. Para ello se debe seleccionar *Configuración de material en bruto* en la ventana trayectorias, a la izquierda de la pantalla. En la nueva ventana, se hará clic en propiedades de material en bruto, haciendo a su vez que aparezca otra ventana nueva.

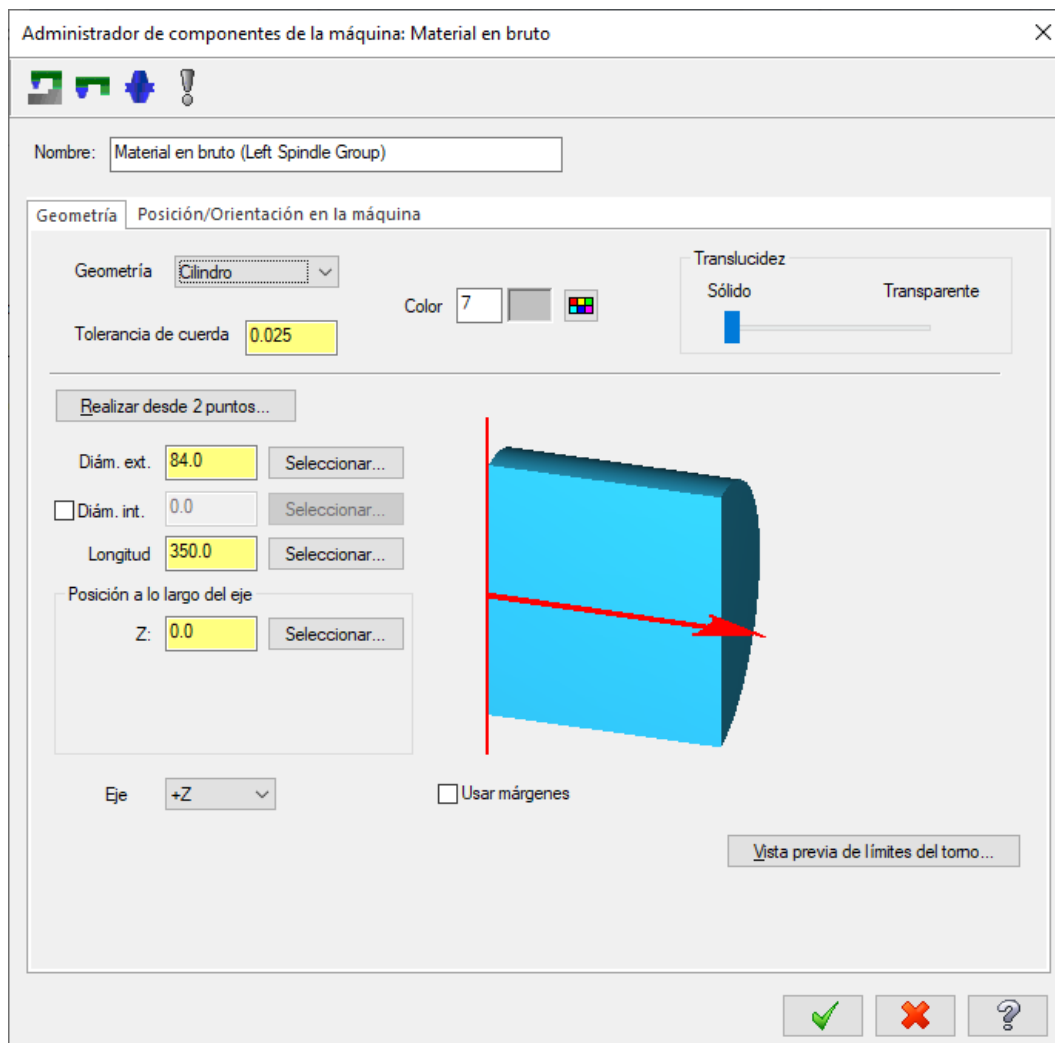


Ilustración 5.13 Ventana de administración de componentes de la máquina: material en bruto. Parámetros modificados en función del tocho inicial.

En esta ventana se cambiarán los parámetros de diámetro exterior, longitud, posición a lo largo del eje y el signo del eje. Estos cambios se realizarán en función del tocho inicial, siendo los parámetros mostrados en la Ilustración 5.13. los relativos al tocho inicial que se usará para la simulación.

Los calores numéricos de los parámetros serán los siguientes:

- Diámetro exterior → 84 mm
- Longitud → 350 mm
- Posición a lo largo del eje → 0
- Signo del eje → +



Estos valores también se pueden obtener seleccionando la opción *Realizar desde 2 puntos...* Con esta opción se elegiría el punto del eje del cilindro más alejado del eje ( $Z=350$  mm) y el punto del perfil de torneado coincidente con la circunferencia grande ( $Z=0$ ).

Ahora el programa tiene los valores necesarios para crear un sólido que simula el tocho inicial, durante la simulación, del cual se irá arrancando la viruta.

### 5.3. Ensamblaje de la máquina en la venta de simulación

En este apartado se va a crear la máquina en el entorno de simulación de máquinas de Mastercam. (Issam El Mahmoudi, 2021). El proceso a seguir es el siguiente:

1. Elegir una máquina ya existente en Mastercam
2. Crear el esquema cinemático del torno DANOBAT NI-650
3. Agregar las distintas partes que componen el torno y limitar sus movimientos

#### 5.3.1. Accediendo por primera vez a la simulación de máquina

Ahora que ya hay una operación de arranque de viruta de torneado definida, con su trayectoria y la herramienta que se va a usar, se puede acceder a la simulación de la máquina. Para ello es necesario ir al menú *Máquina* y clicar en *Opciones de simulación de máquina*.

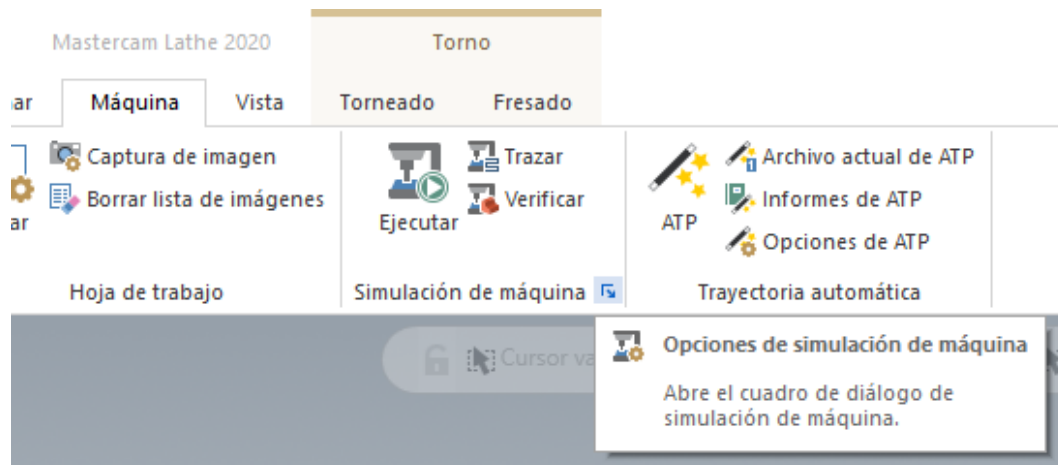


Ilustración 5.14 Localización de *Opciones de simulación de máquina*.

Tras clicar en esta opción, aparecerá una nueva ventana llamada *Simulación de máquina*. En esta aparecen tres pestañas, *Simulación de máquina*, *configuración de posprocesamiento* y *Definición de máquina*.

En la pestaña *Simulación de máquina*, se debe elegir una de las máquinas que el programa tiene preparadas para realizar simulaciones. En la versión de Mastercam con la que está trabajando, la gran mayoría de las máquinas son fresadoras, y ninguna de ellas es un torno. Por lo que la elección que se tomará será la máquina *5AxHeadHead*, ya que tiene un esquema cinemático similar al de un torno.

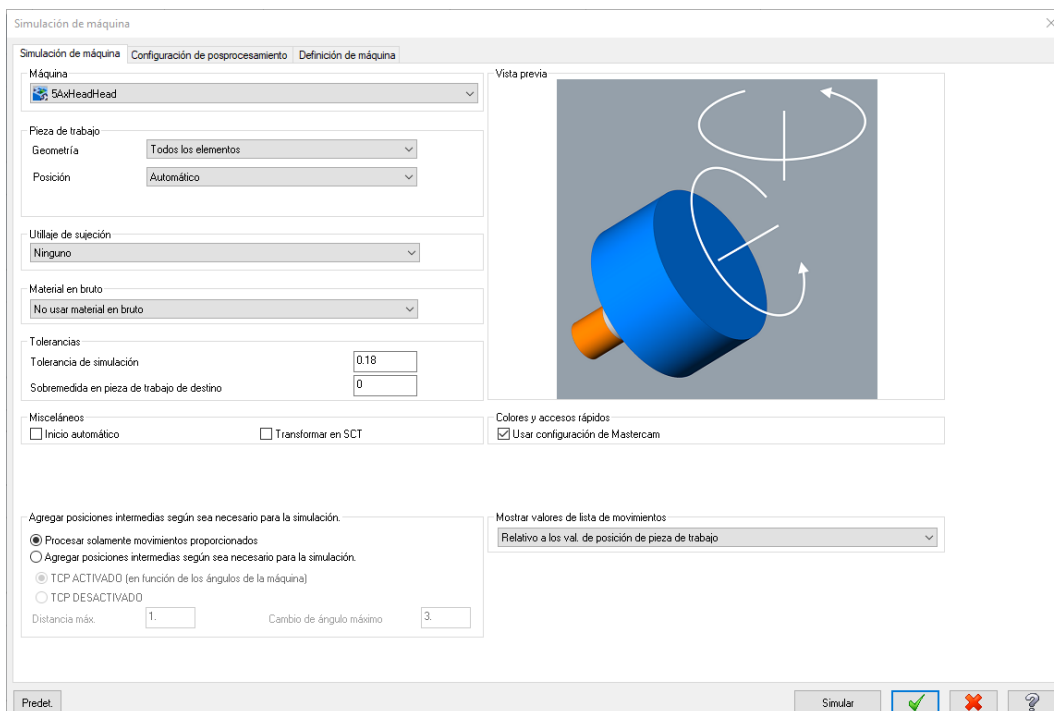


Ilustración 5.15 Ventana simulación de máquina con la máquina 5AxHedHaed seleccionada.

El resto de las opciones de esta ventana se cambiarán, quedando así las opciones por defecto.

En la pestaña *Definición de máquina*, hay que asegurarse que en el Modo de selección está seleccionado la *Detección automática completa*. Esto nos evitará problemas a la hora de introducir los diferentes movimientos en los ejes.

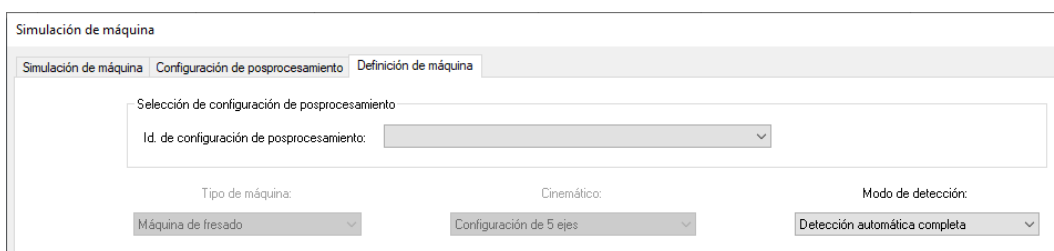


Ilustración 5.16 Pestaña *Definición de máquina* con las opciones elegidas para la simulación.

Una vez seleccionadas estas opciones, se clicará en *Simular*.



### 5.3.2. Ensamblaje en la ventana de simulación de máquina

Tras clicar en el botón *Simular*, se abrirá la ventana de simulación cargándose después la máquina elegida y mostrando a la derecha de la pantalla, el esquema cinemático.

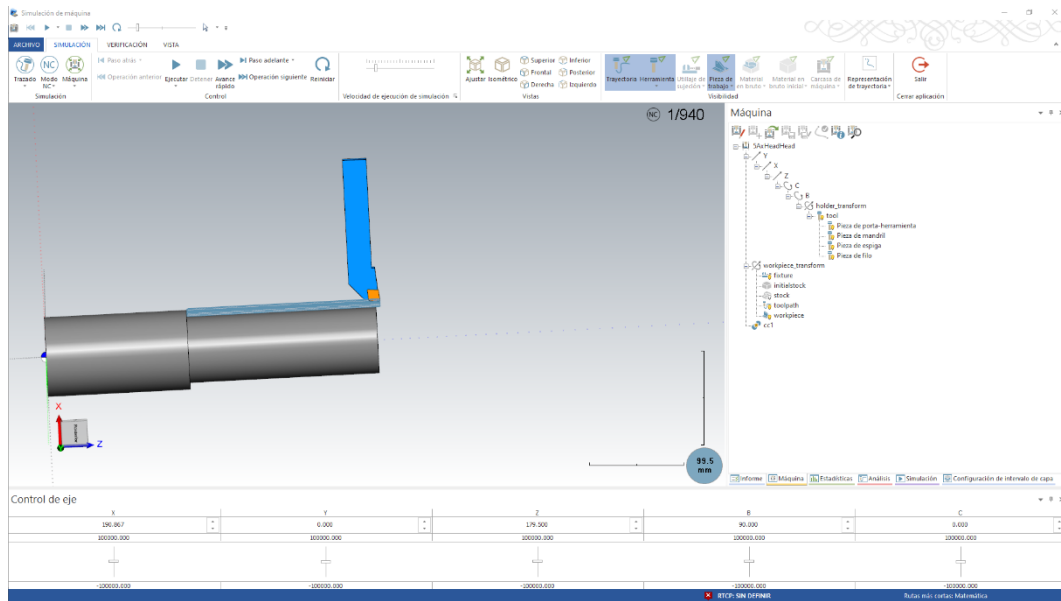


Ilustración 5.17 Ventana simulación de la máquina 5AxHeadHead.

Como se puede observar en la Ilustración 5.17. para la máquina 5AxHeadHead no se muestra ningún elemento de máquina, solo se muestra el tocho, la herramienta y la trayectoria. Esto se debe a que esta máquina en realidad no tiene ningún archivo de sólido asociado, como puede verse en el esquema cinemático.

Para ensamblar el torno DANOBAT NI-650, el primer paso es poder crear y modificar el esquema cinemático de la máquina. Para ello se seleccionarán las opciones *Editar máquina* y *Nueva máquina*, en ese orden.



Ilustración 5.18 Localización de *Editar máquina*, *Nueva máquina* y *Guardar máquina como*.



Una vez realizado este paso, se creará, en la ventana *Máquina*, el esquema cinemático del torno. Para ello se debe tener en cuenta que la carcasa de la máquina estará formada por la cabina, ambos brazos portantes y el panel de mandos. Siendo fijos todos ellos.

También cabe recordar que el carnero se moverá linealmente sobre el eje Z, ya que se giró la máquina sobre los ejes de referencia globales para evitar la creación de un eje de traslación definido por el usuario. Respecto al eje X, se tienen 4 partes de la máquina que tienen movimiento de traslación sobre este eje, pero cada uno de ellos tiene sus límites y es independiente entre sí. Por último, es necesario indicar que en el esquema cinemático se introducirá el eje de revolución relativo al plato de garras y el sistema de amarre de la pieza, pero las partes sólidas referentes a esta parte (plato de garras, adaptador plato-garra y garras) no se añadirán a la simulación a partir del esquema cinemático, se añadirán en pasos posteriores.

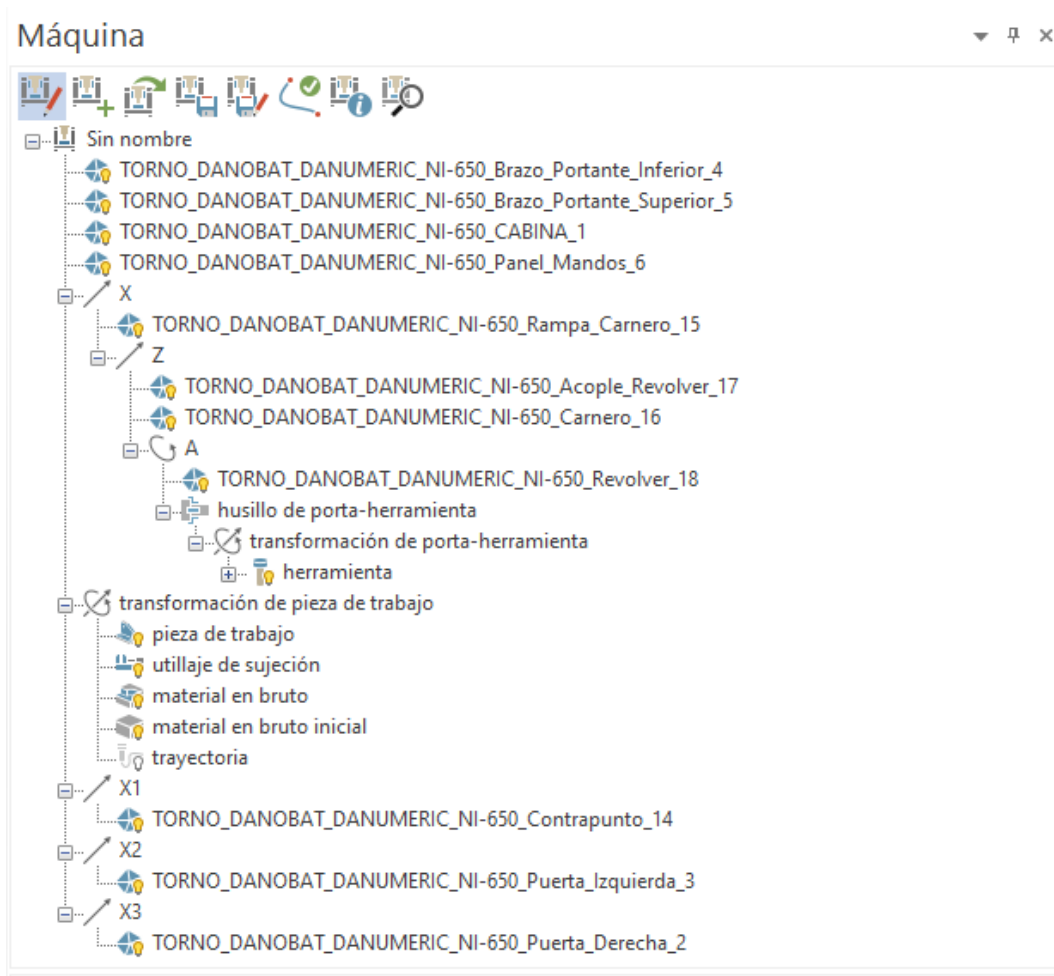


Ilustración 5.19 Esquema cinemático del torno DANOBAT NI-650.

Al cargar las distintas partes de la máquina en la ventana de simulación, estas aparecerán, por defecto, de un color gris. Este color se puede cambiar, pudiendo diferenciar así más fácilmente cada una de las partes, durante la simulación. Al seleccionar una de las partes de la máquina, aparecerá en la parte baja de la ventana *Máquina*, una serie de opciones, entre ellas cambiar el color o la transparencia.

También se pueden seleccionar las distintas partes de la carcasa y clicando con el botón derecho del ratón, establecerlas como carcasa de la máquina. De esta manera se podrá elegir entre distintas opciones de visibilidad para estas partes durante la simulación: opaco, transparente y esconder. Aunque las puertas tienen ejes de traslación asignados, también se las asignará como carcasa, para poder esconderlas si interrumpen en la visualización de la simulación.



### 5.3.3. Limitaciones de movimiento

Cuando se crea un eje de traslación, este está limitado inicialmente por el rango [1000, -1000]. Este rango de movimiento puede ser cambiado para impedir que en las distintas trayectorias de las partes de la máquina durante la simulación puedan chocar entre sí o con la carcasa. Aunque los rangos reales en valor absoluto de movimiento de cada una de las piezas es igual que en la máquina real, las posiciones iniciales no lo son, por lo que, para poder limitar los movimientos de las distintas partes, se hará manualmente. Para ello se seleccionará el eje de traslación correspondiente y se moverá con el mando del *Control de eje*, situado en la parte baja de la pantalla. Los nuevos límites estarán definidos por los posibles choques de las distintas partes entre sí. También es posible asignar un valor inicial a cada uno de los ejes.

Eje de traslación	Límite superior	Límite inferior	Valor inicial
X	280	-450	280
X1	510	-475	510
X2	621	-20	-20
X3	80	-320	80
Z	250	-100	250

Tabla 5.1. Límites superior e inferior de cada uno de los ejes de traslación según el esquema cinemático de la Ilustración 5.19.

### 5.3.4. Guardado de archivo XML

Para finalizar el ensamblaje de la máquina en la ventana de simulación de máquina, primero se debe nombrar la máquina y después guardar el archivo. El nombre del archivo será el mismo que el de la máquina: TORNO\_DANOBAT\_DANUMERIC\_NI-650. El nombre se usará con barras bajas en vez de espacios entre las palabras que lo componen para evitar posibles errores. Este es el nombre con el que se nombrará a la máquina en la parte superior del esquema cinemático, en el guardado del archivo XML y la carpeta donde se encontrará dicho archivo junto al resto de archivos STL generados al crear el archivo XML.

Una vez se ha cambiado el nombre de la máquina en el esquema cinemático, se procederá a realizar el guardado del archivo XML. Para ello se clicará en *Guardar máquina como...* (Localización mostrada en la Ilustración 5.18). En la

ventana *Guardar como*, se creará una nueva carpeta con el nombre de la máquina (TORNO\_DANOBAT\_DANUMERIC\_NI-650) y dentro se guardará el archivo XML con el mismo nombre.

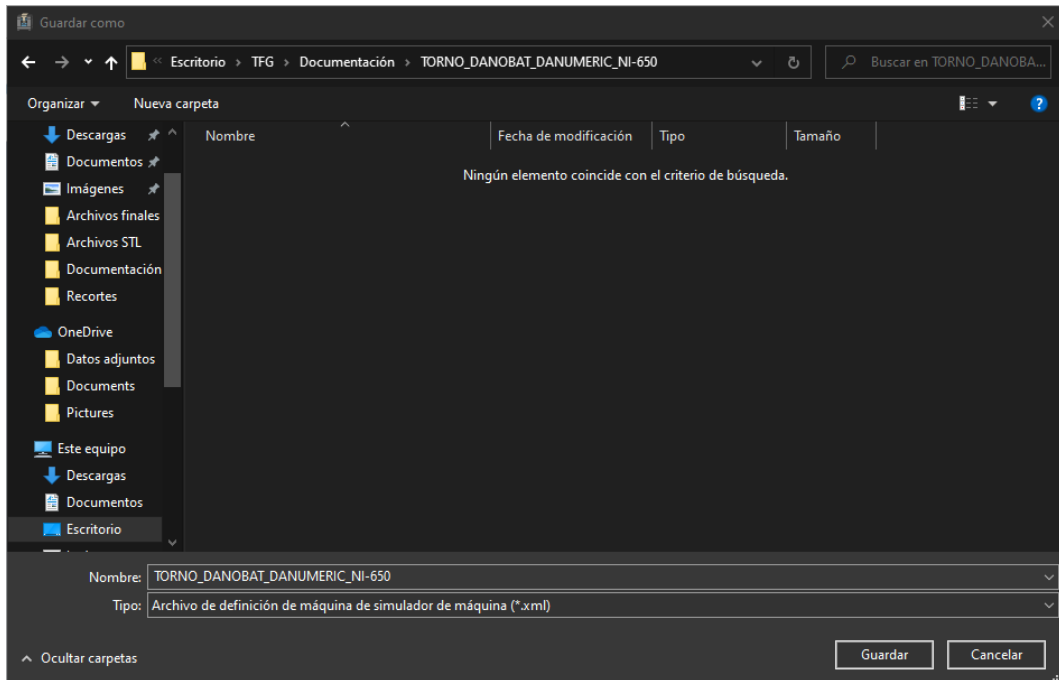


Ilustración 5.20 Guardado de la máquina TORNO\_DANOBAT\_DANUMERIC\_NI-650 en la carpeta con el mismo nombre.

Una vez el archivo este guardado en la carpeta correspondiente, esta se abrirá para asegurarse de que se han creado los archivos STL correspondientes a cada una de las partes ensambladas en la ventana *Simulación de máquina*.

El siguiente paso es copiar esta carpeta y pegarla en el siguiente directorio: C:\Users\Public\Documents\Shared Mastercam 2020\MachineSimulation\MachSim. En esta ubicación es donde se encuentran todos los archivos relativos a las máquinas que Mastercam puede simular.

En esta carpeta se guardará también la imagen en formato GIF anteriormente creada en el apartado 4.4.2 Guardado de archivos STL

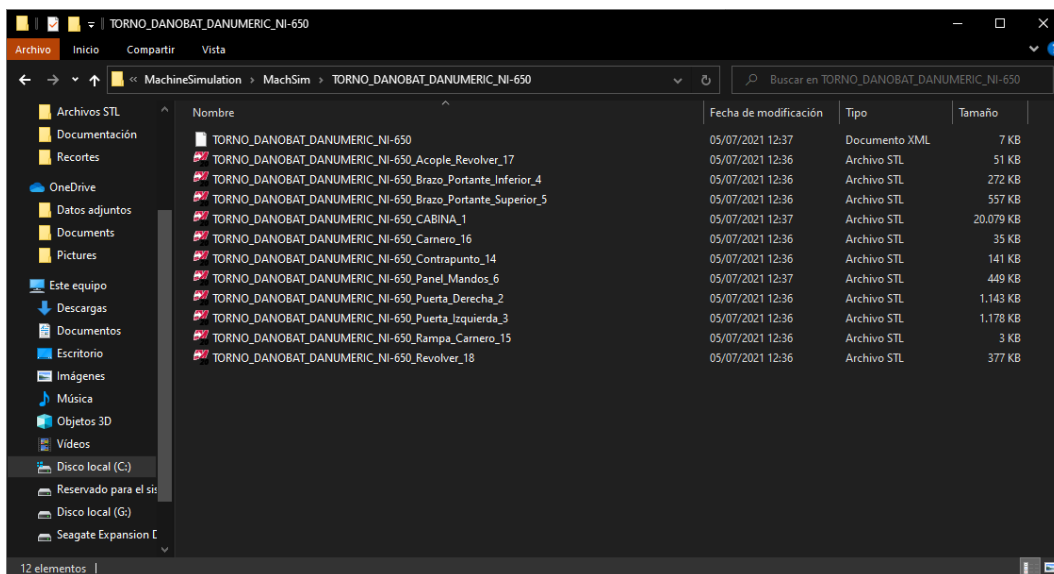


Ilustración 5.21 Carpeta TORNO\_DANOBAT\_DANUMERIC\_NI-650 en su directorio final y con todos los archivos XML y STL necesarios.

## 5.4. Ensamblaje del agarre y el tocho

El siguiente paso a seguir será la creación de un archivo en el que se encuentren tanto el tocho como el utillaje de sujeción del mismo. Para ello se partirá del archivo de la pieza final, al cual se le irán uniendo las partes de la máquina, usando la herramienta combinar. El formato de archivo que se abrirá será el usado en el Capítulo 4. Proceso de ensamblaje del modelo en MasterCam.

### 5.4.1. Plato de garras.

Una vez abierto el archivo de la pieza final de torneado, se usará la herramienta combinar para introducir el plato de garras como primera parte de la máquina. Al igual que en el proceso de ensamblaje de la máquina en Mastercam, las distintas piezas que se vayan abriendo con el programa, aparecerán en el origen del eje de coordenadas globales con una orientación que puede ser o no la que se necesita. Es por esto por lo que se alineará al tocho de la misma manera que se alinearon las distintas partes de la máquina en el capítulo anterior.

El primer paso será desmarcar como visible a la pieza final y todo lo referente a ella quedándose solo en pantalla el plato de garras. De esta manera se podrá mover esta única pieza al origen de coordenadas globales, haciéndolo coincidir con el centro de la sección coincidente con la parte “baja” del adaptador plato-garra.

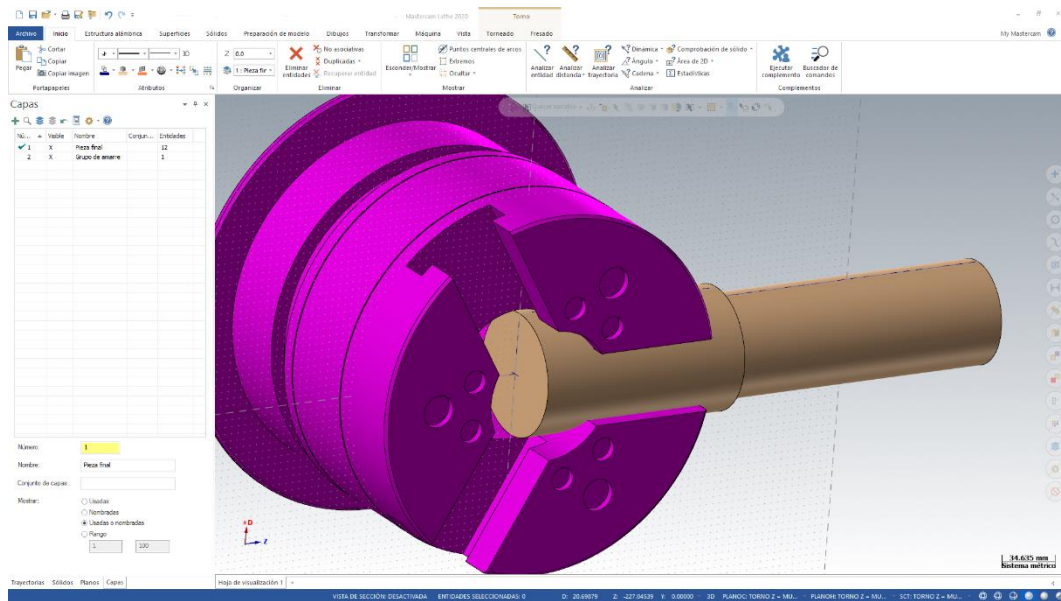


Ilustración 5.22 Movimiento al origen del plato de garras.

Cuando ya esté en el origen, se puede volver a seleccionar como visible el tocho, aunque no será necesario ya que es posible que estorbe al combinar el adaptador plato-garra o las garras.

El siguiente paso, será girar el plato de garras con la herramienta *Dinámica*. Se seleccionará el mismo punto que en el paso anterior y se girará 90° haciendo que los ejes de los cilindros que componen el plato de garras y el tocho sean coincidentes.

Por último, se le puede dar un color distinto del tocho para que se vea una diferencia clara entre ambos sólidos.



### 5.4.2. Adaptador plato-garra

La siguiente parte de la máquina a combinar es el adaptador plato-garra. La combinación de esta pieza se realizará de la misma manera que en el Apartado 4.3.3.3 Adaptador plato-garra. Primero se usará la herramienta *Alinear con cara* y posteriormente *Girar*.

Para realizar el giro del adaptador, el plano de construcción necesario será el superior.

Cuando ya estén colocados los tres adaptadores plato-garra, se les asignará la misma capa que al plato de garras. También se les podrá cambiar de color.

### 5.4.3. Garras

La última parte de la máquina a combinar son las garras. Al igual que en el caso anterior se seguirán las instrucciones dadas en el Apartado 4.3.3.4 Garras. Primero se usará la herramienta *Alinear con cara* y posteriormente *Girar*.

Las garras se colocarán de tal manera que no se introduzcan dentro del sólido formado por la pieza final, sin importar si queda un pequeño hueco entre ellas, ya que no es necesario para la simulación, que estén en contacto.

Una vez ya estén colocados los tres adaptadores plato-garra, se les debe asignar la misma capa que al plato de garras y los adaptadores. Se les puede modificar el color para una mayor claridad en pantalla.



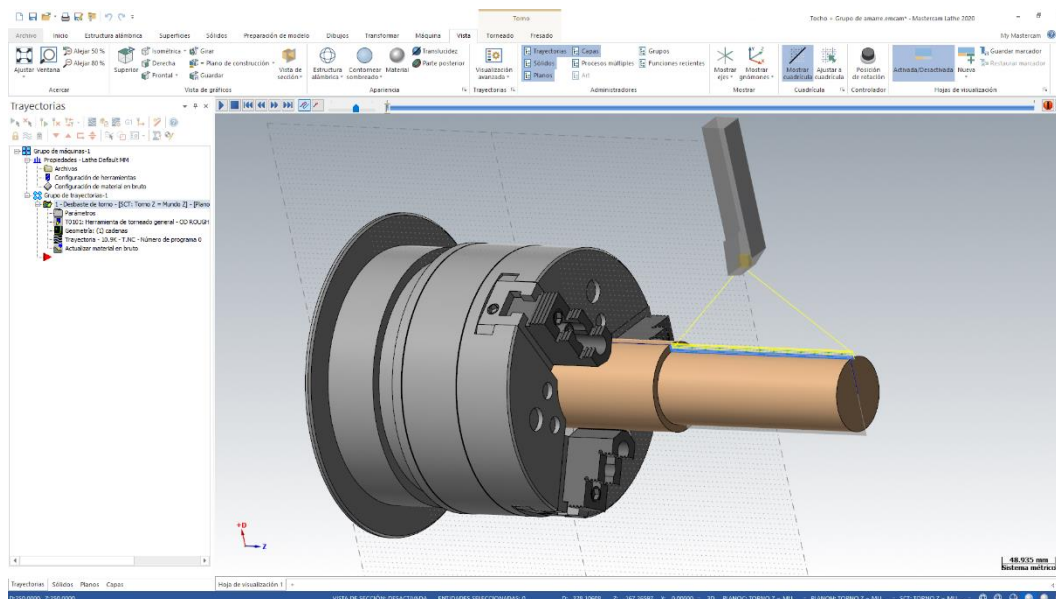


Ilustración 5.23 Montaje completo del grupo de amarre junto a la pieza final. Trayectoria de la herramienta visible.

## 5.5. Simulación

Este es el último paso de todo el proceso, la simulación de la operación en la máquina ensamblada en Mastercam. Una vez se ha realizado la primera simulación y visto que no hay fallos en la estructura o en los ejes de traslación, la simulación de máquina se podrá usar para operaciones reales y más complejas, viendo así el objetivo principal de estas simulaciones, los posibles choques con la herramienta y otras partes de la máquina.

### 5.5.1. Inicio de la Ventana Simulación

La simulación se realizará desde el archivo creado en el apartado anterior (Apartado 5.4. Ensamblaje del agarre y el tocho), y no desde el archivo inicial de la pieza torneada como se hizo anteriormente. Esto hay que tenerlo en cuenta ya que es necesario para poder seleccionar el utillaje de sujeción.

Para poder realizar la simulación de la operación de torneado en la máquina creada anteriormente, se clicará en la herramienta *Opciones de simulación de máquina*. Cuando se abra la ventana *Simulación de máquina*, se seleccionará la máquina que se ha creado: TORNO\_DANOBAT\_DANUMERIC\_NI-650.

Una vez seleccionado el torno, se cambiarán las opciones de la pestaña *Simulación de máquina*:

- Pieza de trabajo:
  - Geometría: desde la capa 1
  - Posición: automático
- Utillaje de sujeción: desde la capa 2
- Material en bruto: usar definición de material en bruto de Mastercam

También se activará la opción *Transformar en SCT*, de esta manera se evitará que el programa nos pregunte si se desea girar la trayectoria, en caso de que esta no esté bien posicionada respecto al sistema de coordenadas globales de la máquina.

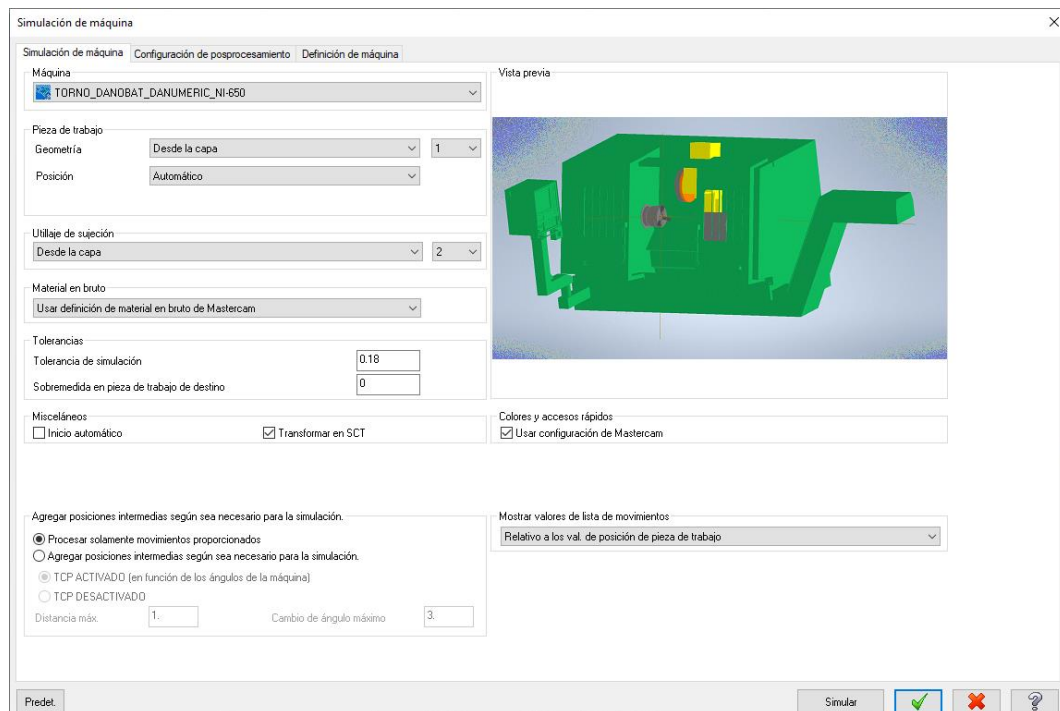


Ilustración 5.24 Pestaña *Simulación de máquina* con el torno y las opciones finales seleccionadas.

En la pestaña *configuración de posprocesamiento* no se realizará ningún cambio. En la pestaña *Definición de máquina*, se cambiará el tipo de máquina

a Máquina de torneado y se mantendrá el modo de detección como *Detección automática completa*.

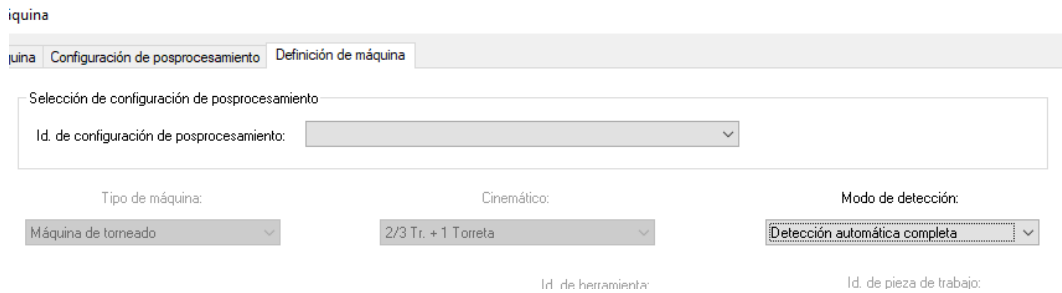


Ilustración 5.25 Pestaña *Definición de máquina* con *Máquina de torneado* seleccionado.

Una vez seleccionadas todas estas opciones, se clicará en el botón *simular*. Se abrirá la ventana nueva *Simulación de máquina*, pero en ella no cargará nada, ni la máquina ni el esquema cinemático, apareciendo vacía. Con algunas máquinas predeterminadas de Mastercam hay que esperar para que estas aparezcan, ya que necesita un tiempo de carga.

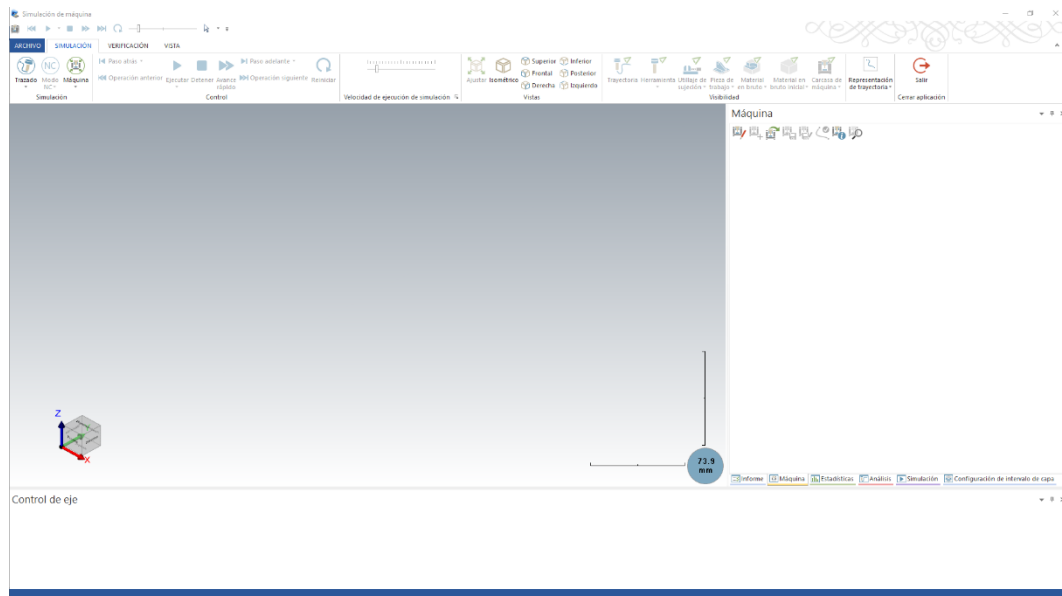


Ilustración 5.26 Ventana de simulación vacía.

## 5.5.2. Advertencias

Al esperar un poco de tiempo sigue sin aparecer nada en pantalla. Si se retrocede a la ventana principal de Mastercam, aparecerán una serie de advertencias, las cuales no pueden ser consideradas errores fatales del programa ya que dejan que este se siga ejecutando.

El orden en que aparecen las advertencias es el siguiente:

### 5.5.2.1. Eje de traslación no encontrado

El siguiente mensaje aparece cuando en el esquema cinemático de la máquina seleccionada (archivo XML) no hace referencia a alguno de los ejes de traslación o rotación esperados. En el caso del torno no hay ninguna traslación en el eje Y, por lo que es normal que esta advertencia salte en pantalla al seleccionar la máquina.

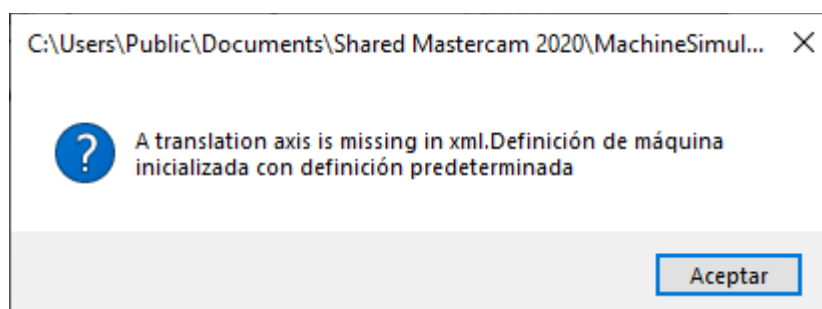


Ilustración 5.27 Advertencia de Mastercam. Eje de traslación no encontrado.

La simulación de la máquina deseada puede ejecutarse aun con la aparición de esta advertencia. Una forma de conseguir que esta no aparezca es la inserción de un eje de traslación en el eje faltante, sin geometría y limitando dicho eje a movimiento máximo con valor nulo. De esta manera Mastercam detectará la presencia del eje de traslación en el archivo XML, aunque este no intervenga en la simulación en ningún momento.

### 5.5.2.2. Duplicado de la postdefinición

Esta advertencia aparece por la duplicación de definición de los ejes de traslación en el postprocesador. Esta advertencia, al igual que la anterior no es

fatal, pero puede evitarse sustituyendo el modo de detección, en la pestaña *Definición de máquina*. Para que no aparezca esta advertencia sería necesario elegir la opción *Detección semiautomática*.

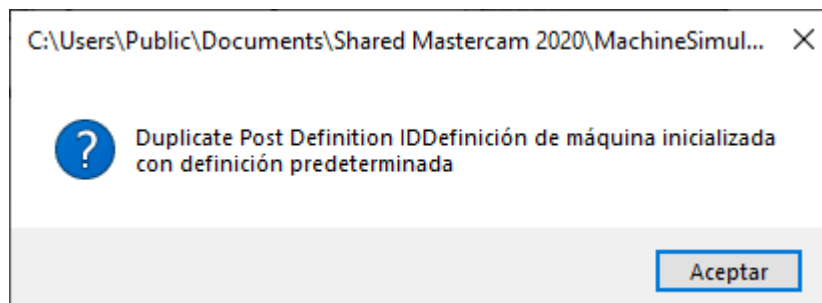


Ilustración 5.28 Advertencia de Mastercam por duplicación de Postdefinición.

### 5.5.2.3. Definición de máquina de torneado desconocido

Esta advertencia, al contrario que las anteriores, no permite ejecutar la simulación de la operación de torneado en la ventana *Simulación de máquina*. Al clicar el botón aceptar, la ventana *Simulación de máquina* se cerrará automáticamente.

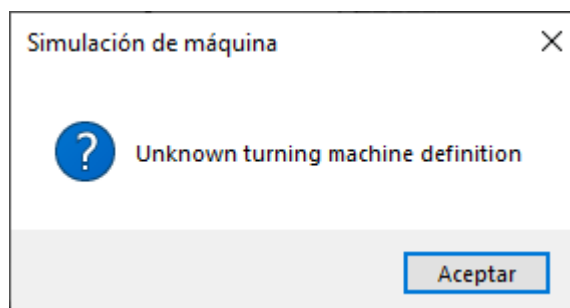


Ilustración 5.29 Advertencia de definición de Torno desconocida.

La aparición de este mensaje no es un error fatal en sí mismo, pero para la simulación del torno en cuestión y con la versión de Mastercam que se está usando, lo acaba siendo.



### 5.5.3. Solución

En este punto del proceso y a la vista de esta última advertencia que cierra la ventana de simulación sin dejar posibilidad alguna a que carguen los archivos del torno, ni la herramienta ni la pieza de trabajo, solo queda buscar información sobre este error y como solucionarlo.

Durante la búsqueda en internet sobre los errores y advertencias que iban surgiendo, y que los tutoriales que se seguían no lo resolvían, no se encontró nada relevante. Es posible que esto se deba a que el programa es de uso casi exclusivo para la industria. El único sitio web donde hay información, es un foro oficial de Mastercam. En este foro los usuarios del software exponen sus dudas para que otros con más experiencia puedan ayudarles.

En ese foro se descubrió que Mastercam 2020 Demo-HLE tenía limitaciones a la hora de simular máquinas de torneado. Para confirmarlo, se accedió a la información del módulo de la página oficial del programa. En esta se indica las limitaciones con postprocesadores, el código G y el formato del archivo de guardado que usa, pero no hace referencia a que tipos de máquinas puede simular.

Llegados a este punto, la conclusión a la que se llega es que la versión Mastercam 2020 Demo-HLE, está más limitada. Para poder realizar la simulación del torno DANOBAT NI-650, sería necesario al menos el módulo específico de torno de Mastercam, o el módulo Educational Suite. (*Educational CAD/CAM Software Solutions | Mastercam Products, 2021*)



## Capítulo 6 Conclusión y futuras líneas de investigación

### 6.1. Conclusión

De los tres objetivos principales que debían llevarse a cabo en el desarrollo de este trabajo de fin de grado, se han podido completar los dos primeros, cambios de formato y ensamblaje del torno en Mastercam.

Tras realizar todo el proceso necesario para convertir unos archivos originales de CATIA V5 en una máquina para realizar simulaciones en Mastercam 2020 Demo-HLE, se llega rápidamente a la conclusión de que en esta versión de programa no es la adecuada para simular tornos. Esta es la conclusión principal de este trabajo de fin de grado, pero no la única.

El programa está muy limitado por ser una versión Demo. Esta puede ser una gran herramienta para un primer contacto con este software en particular. Pero sus limitaciones con los postprocesadores, el código G, las definiciones de máquina y algunas herramientas, son muy grandes para su uso educativo. Por ello no se ha podido comprobar el objetivo tres, aunque sería muy fácil de verificar con las versiones de Mastercam adecuadas ya que la simulación está creada. Habiendo creado la simulación, no se ha podido llevar a cabo por las limitaciones técnicas de Mastercam 2020 Demo-HLE ya que es una versión de prueba gratuita la cual no contiene todas las herramientas.

Tras concluir este trabajo de fin de grado, se ha llegado a la conclusión de que el software Mastercam es uno de los softwares más potentes de CAM en la industria ahora mismo. Esto debería ser tenido en cuenta en las universidades para su posible enseñanza. Pero la versión del programa utilizada en este trabajo de fin de grado no es la óptima para que se lleve a cabo dicha enseñanza, siendo los módulos necesarios para este fin el módulo exclusivo de torno o el módulo Educational Suite.



## 6.2. Futuras líneas de investigación

Para futuros trabajos de fin de grado sería muy interesante contar con licencia Educational Suite, o más concretamente si el trabajo lo requiere la licencia de los módulos de fresa o torno. Debido a que estos carecen de las limitaciones mostradas en el módulo Mastercam 2020 Demo-HLE usado en este trabajo de fin de grado, y para poder simular las máquinas CNC que hay en la escuela son suficientes.

El módulo más interesante de cara a la enseñanza del software en la Escuela ya sea en alguno de los grados o en máster, sería el módulo Educational Suite. Ya que este permite operar con una mayor variedad de máquinas y de operaciones más allá de las típicas de torno y fresa.

Otra posible línea a seguir con este software es la de crear el resto de las máquinas de la escuela para simular operaciones virtualmente. Esto permitiría crear a los alumnos sus propias piezas en con distintos tipos de procesos de fabricación, e incluso llevarlos a cabo en las máquinas reales.





## BIBLIOGRAFÍA

*Sistemas de CAD-CAM.pdf.* (2021, junio) de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4483/fichero/2.+Sistemas+de+CAD-CAM.pdf>

*CAD/CAM Design Software Solutions | Mastercam Products.* (2021, junio). Mastercam. <https://www.mastercam.com/solutions/design/>

*CNC Lathe Programming Software Solutions | Mastercam Products.* (2021, junio). Mastercam. <https://www.mastercam.com/solutions/lathe/>

*Educational CAD/CAM Software Solutions | Mastercam Products.* (2021, junio). Mastercam. <https://www.mastercam.com/solutions/educational-suite/>

El Teacher Caliche. (2021, mayo). *Mastercam. Mecanizado básico en torno CNC 1.* <https://www.youtube.com/watch?v=uq7aMHeiJTo>

*Free CAD/CAM Software Download.* (2021, junio). Mastercam. <https://www.mastercam.com/solutions/home-learning-edition/>

*Getting Started with Mastercam Lathe.* (2021). 128.

González Jiménez, D. (2021). *Modelado y simulación con CATIA del torno DANOBAT NI-650.*

Issam El Mahmoudi. (2021, mayo). *Install 2 Axis lathe in Mastercam 2019.* <https://www.youtube.com/watch?v=zA5lfimilsl>

*Management.* (2021, junio). Mastercam. <https://www.mastercam.com/company/management/>

*Mill Programming Software Solutions | Mastercam Products.* (2021, junio). Mastercam. <https://www.mastercam.com/solutions/mill/>

*Mill-Turn Programming Software Solutions | Mastercam Products.* (2021, junio). Mastercam. <https://www.mastercam.com/solutions/mill-turn/>

*STP Extensión de archivo—Cómo abrir .stp?* (2021, mayo). <https://abrirarchivos.info/extension/stp>

*Wire EDM Programming Software Solutions | Mastercam Products.* (2021, junio). Mastercam. <https://www.mastercam.com/solutions/wire/>