

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Aeroespacial

Programación mediante CATIA V5 del torno automático EMCOTURN 220

Autor: Nuria Lucena Pacheco

Tutor: Domingo Morales Palma

Dpto. Ingeniería Mecánica y Fabricación
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería Aeroespacial

Programación mediante CATIA V5 del torno automático EMCOTURN 220

Autor:
Nuria Lucena Pacheco

Tutor:
Domingo Morales Palma

Dpto. Ingeniería Mecánica y Fabricación
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2016

Trabajo Fin de Grado: Programación mediante CATIA V5 del torno automático EMCOTURN 220

Autor: Nuria Lucena Pacheco

Tutor: Domingo Morales Palma

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2016

El Secretario del Tribunal

Son muchas las manos y los corazones que contribuyen al éxito de una persona
- Walt Disney -

ÍNDICE

Índice	viii
Índice de Tablas	x
Índice de Figuras	xi
1 Introducción	1
1.1 Contexto	1
1.2 Objetivos	1
1.3 Estructura del documento	2
2 El torno EMCOTURN 220	3
2.1 Tornos CNC	3
2.2 Características de la máquina	4
2.3 Puntos de referencia	5
2.4 Programación ISO	6
2.4.1 Funciones G	7
2.4.2 Funciones M	8
3 Modelado con CATIA V5	9
3.1 Módulos usados en este proyecto	10
3.1.1 Part Design	10
3.1.2 Assembly Design	10
3.1.3 Lathe Machining	11
3.2 Mecanizado con Lathe Machining	14
3.2.1 Rough Turning Operation	14
3.2.2 Profile Finish Turning Operation	16
3.2.3 Groove Turning Operation	17
3.2.4 Recess Turning Operation	18
3.2.5 Thread Turning Operation	20
3.2.6 Sequential Turning Operation	21
3.2.7 Drilling	22
3.3 Herramientas y velocidades	22
3.4 Macros	24
3.5 Refrigerante	25
3.6 Simulación del modelo	26
3.7 Generación del código APT	27

4	Aplicaciones prácticas	29
4.1	<i>Posprocesado con WinPost</i>	29
4.1.1	Marcha rápida G00 e interpolación lineal G01	30
4.1.2	Interpolación circular G02/G03	31
4.2	<i>Pieza 1: probeta para ensayos de tracción</i>	35
4.2.1	Modelado de la probeta	36
4.2.2	Mecanizado y análisis del código obtenido	38
4.3	<i>Pieza 2: buje simple</i>	40
4.3.1	Modelado de la pieza y preforma	41
4.3.2	Herramientas empleadas	42
4.3.3	Mecanizado	44
4.4	<i>Pieza 3: tapa de cierre con rosca interior</i>	56
4.4.1	Modelado de la pieza y preforma	57
4.4.2	Herramientas empleadas	58
4.4.3	Mecanizado	59
4.5	<i>Pieza 4: conector de geometría compleja</i>	63
4.5.1	Modelado de la pieza y preforma	65
4.5.2	Herramientas empleadas	66
4.5.3	Mecanizado	67
	Conclusiones y líneas futuras	73
	Bibliografía	75
	Anexos	77
	<i>Anexo 1: Listado de funciones G y M</i>	78
	<i>Anexo 2: Código ISO original para el torneado de la probeta de tracción</i>	80
	<i>Anexo 3: Código ISO original para el torneado del buje simple</i>	81
	<i>Anexo 4: Código ISO original para el torneado de la tapa de cierre con rosca interior</i>	83
	<i>Anexo 5: Código ISO original para el torneado del conector de geometría compleja</i>	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Funciones código ISO	7
Tabla 4.1 Operaciones de mecanizado pieza 2	41
Tabla 4.2 Operaciones de mecanizado pieza 3	57
Tabla 4.3 Operaciones de mecanizado pieza 4	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: EMCOTURN 220	4
Figura 2.2 Puntos de referencia	6
Figura 3.1 Árbol de mecanizado	11
Figura 3.2 <i>Part Operation</i>	12
Figura 3.3 <i>Machine Editor</i>	13
Figura 3.4 <i>Machining axis</i>	13
Figura 3.5 Pestañas mecanizado	14
Figura 3.6 <i>Rough Turning Strategy/Option</i>	15
Figura 3.7 Elementos <i>Rough Turning</i>	16
Figura 3.8 <i>Profile Finish Turning Strategy</i>	16
Figura 3.9 Elementos <i>Profile Finish Turning</i>	17
Figura 3.10 <i>Groove Turning Strategy</i>	18
Figura 3.11 Elementos <i>Groove Turning</i>	18
Figura 3.12 <i>Recess Turning Strategy</i>	19
Figura 3.13 Elementos <i>Recess Turning</i>	19
Figura 3.14 <i>Thread Turning</i>	20
Figura 3.15 Elementos <i>Thread Turning</i>	20
Figura 3.16 <i>Sequential Turning Operation</i>	21
Figura 3.17 Herramientas para operaciones axiales	22
Figura 3.18 Tipos de portaherramientas	23
Figura 3.19 Menú herramientas	23
Figura 3.20 Herramientas de corte	23
Figura 3.21 Avances y velocidades	24
Figura 3.22 Macro	24
Figura 3.23 Elementos macro	25
Figura 3.24 <i>Replay Tool Path</i>	26

Figura 3.25 Iconos <i>Replay Tool Path</i>	27
Figura 3.26 <i>Genetrare NC Output Interactively</i>	28
Figura 4.1: Interfaz de usuario de WinPost	30
Figura 4.2: Esquema de interpolación circular con WinPost.	31
Figura 4.3: Ejemplo 1 de interpolación circular.	32
Figura 4.4: Ejemplo 2 de interpolación circular.	33
Figura 4.5: Ejemplo 3 de interpolación.	34
Figura 4.6: Dimensiones de la probeta	35
Figura 4.7: Probeta montada en el torno con contrapunto (fotografía y modelo CATIA)	37
Figura 4.8: Dibujo en CATIA de las trayectorias para el mecanizado de la probeta	37
Figura 4.9: Mecanizado de la probeta con operaciones de tipo <i>Sequential Turning</i>	38
Figura 4.10 Plano pieza 2	40
Figura 4.11 <i>Sketch</i> primera fase de mecanizado	42
Figura 4.12 Modelo pieza 1	42
Figura 4.13 Herramientas pieza 1	42
Figura 4.14 Porta-herramientas vertical y herramienta	43
Figura 4.15 Taladro	43
Figura 4.16 Porta-herramientas horizontal	44
Figura 4.17 Primera fase pieza 2: taladro	45
Figura 4.18 Primera fase pieza 2: refrentado (desbaste y acabado)	46
Figura 4.19 Primera fase pieza 2: cilindrado y bisel	47
Figura 4.20 Primera fase pieza 2: mecanizado interior	49
Figura 4.21 Segunda fase pieza 2: refrentado (desbaste y acabado)	51
Figura 4.22 Segunda fase pieza 2: cilindrado exterior y biseles	53
Figura 4.23 Segunda fase pieza 2: cilindrado interior y bisel	55
Figura 4.24 Resumen operaciones pieza 2	56
Figura 4.25 Plano pieza 2	56
Figura 4.26 Modelo pieza 3	58
Figura 4.27 Porta-herramientas horizontal y herramienta de roscado ISO	58
Figura 4.28 Primera fase pieza 2: taladro	59
Figura 4.29 Primera fase pieza 3: refrentado.	60
Figura 4.30 Primera fase pieza 3: Cilindrado exterior y bisel.	60
Figura 4.31 Primera fase pieza 3: Cilindrado interior (1) y bisel	61
Figura 4.32 Primera fase pieza 3: Cilindrado interior (2) y bisel	61
Figura 4.33 Resumen fase 1 de mecanizado de la pieza 3.	62
Figura 4.34 Resumen fase 2 de mecanizado de la pieza 3.	63
Figura 4.35 Plano pieza 3	64
Figura 4.36 Modelo pieza 4.	66
Figura 4.37 Broca de diámetro 20 mm y herramienta para ranurar	66

Figura 4.38 Primera fase pieza 4: mecanizado exterior	67
Figura 4.39 Primera fase pieza 4: mecanizado interior	68
Figura 4.40 Resumen fase 1 de mecanizado de la pieza 4.	70
Figura 4.41 Resumen fase 2 de mecanizado de la pieza 4.	71

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Contexto

El origen de este trabajo reside en proyectos anteriores realizados por el Departamento de Ingeniería Mecánica y Fabricación de la Universidad de Sevilla en los que se estudió el uso de CATIA V5 para el modelado de piezas, simulación del mecanizado y la obtención del código. Se ha propuesto trasladar estos estudios y aplicarlos al torno de control numérico EMCOTURN 220, disponible en el taller del departamento.

La máquina-herramienta EMCOTURN 220 estudiada, es un torno horizontal de control numérico empleado para fabricar piezas de revolución. Viene acompañado del controlador EMCOTRONIC TM02, que interpreta códigos en lenguaje ISO.

La razón del empleo del software CATIA como herramienta de trabajo es la importancia que tiene en el mundo de la ingeniería aeronáutica debido a la amplia gama de posibilidades que ofrece. Por este motivo es el sistema CAD/CAM que se estudia en el Grado de Ingeniería Aeroespacial de la E.T.S. de Ingeniería de Sevilla. En este trabajo resulta importante la capacidad de este programa de crear y analizar el proceso de mecanizado de una pieza, estudiando las condiciones de corte y posibles colisiones de la herramienta con la pieza u otros elementos de la máquina.

1.2 Objetivos

Con este proyecto se pretende desarrollar una metodología para la fabricación de piezas en el torno EMCOTURN 220. De tal forma que, dada una pieza modelada en CATIA V5, puedan diseñarse la secuencia de operaciones de mecanizado y se obtenga el código de esta secuencia en un lenguaje que pueda ser interpretado por la máquina. Con esto se evitaría el desarrollo de este código a mano, como se ha venido haciendo hasta el momento con el torno del departamento. Se establecen los siguientes objetivos concretos:

- Estudiar las distintas opciones que presenta la herramienta CATIA V5 para el modelado de piezas y el desarrollo de un programa de mecanizado.

- Generar el código APT correspondiente a la secuencia de mecanizado y buscar algún método para el postprocesado con el fin de obtenerlo en el lenguaje ISO del torno.
- Realizar varios ejemplos prácticos de piezas fabricadas en el torno, donde se podrán cotejar los códigos obtenidos con los originales y comprobar así la validez del método empleado.

1.3 Estructura del documento

En el capítulo 2 se hace una breve descripción del entorno en el que se va a trabajar, proporcionando información general sobre tornos convencionales y tornos de control numérico. Se explican también propiedades específicas del torno CNC con el que se va a trabajar.

Tras esto se dedica el capítulo 3 a la herramienta CATIA V5, dando un repaso a los módulos más importantes que serán de utilidad en este proyecto. Se trata tanto la parte de modelado de piezas como la de modelado del proceso de mecanizado con *Lathe Machining*, con la que se hará la simulación del proceso. Se presentan las operaciones del módulo de mecanizado que serán usadas.

El capítulo 4 se dedica a la generación del código APT que muestra la secuencia de operaciones y a su posterior postprocesado al lenguaje ISO del control EMCO TM-02 del torno. Una vez introducidas todas las herramientas que van a ser necesarias, se describen en detalle los cuatro ejemplos prácticos desarrollados. En éstos se ponen en práctica todos los conceptos introducidos con el fin de encontrar una metodología para obtener el código ISO del torno.

Al final de esta memoria se exponen las conclusiones del trabajo desarrollado y las posibles líneas futuras, la bibliografía consultada y los anexos con los códigos de control numéricos que se han usado en el proyecto.

2 EL TORNO EMCOTURN 220

El torno CNC en el que se basa este estudio es el modelo EMCOTURN 220 del taller del Departamento de Ingeniería Mecánica y Fabricación. En los siguientes subapartados se tratan aspectos relacionados con los tornos CNC en general y con la citada máquina en particular, sus características técnicas y puntos de referencia así como el lenguaje empleado para la programación.

2.1 Tornos CNC

Un torno es una máquina-herramienta empleada para procesos de mecanizado de piezas con simetría de revolución. Su funcionamiento consiste en hacer girar la pieza mientras que la herramienta se desplaza longitudinal y transversalmente a esta. El eje de giro de la pieza se conoce como eje Z y la dirección transversal se corresponde con el eje X. Estos serán relevantes a la hora del diseño de la pieza.

En las operaciones de torneado se emplean herramientas monofilas con distintas geometrías según la operación de mecanizado que se quiera realizar: cilindrado, refrentado, torneado cónico, roscado, etc. En el proceso de corte se precisa de un movimiento relativo entre la herramienta y la pieza, cuya velocidad característica se conoce como velocidad de corte. El movimiento lateral de la herramienta se denomina avance y la penetración de la herramienta en la superficie de trabajo se conoce como profundidad de corte. Estos constituyen los parámetros de corte que serán necesarios definir en toda operación de mecanizado.

Existen distintos tipos de tornos, distinguiendo principalmente dos categorías: tornos convencionales (vertical, horizontal, revólver...) y tornos CNC. Muchas de las operaciones de mecanizado se han llevado a cabo en maquinaria tradicional. Con el avance de la ciencia y la tecnología y con el fin de mejorar la productividad, se introduce la mecanización de las operaciones de fabricación mediante el control numérico.

El control numérico es una vía para la automatización programable de operaciones en el que un código alfanumérico controla las operaciones que realiza una máquina-herramienta. Los comandos del código representan las posiciones relativas entre la herramienta y la pieza así como las condiciones de fabricación.

Las principales ventajas del uso de tornos CNC frente a tornos convencionales son las siguientes:

- Mayor precisión de las máquinas actuales de control numérico.
- Permiten mayores velocidades de corte y avance, lo que se traduce en un aumento de la rapidez de los procesos.
- Mayor flexibilidad y seguridad, pues permite producir piezas diferentes con un menor tiempo de preparación y disminuyendo la peligrosidad al no necesitar la intervención de operarios.
- Menor número de operarios.
- Al ser el grueso del proceso de fabricación llevado a cabo por una máquina, se pueden obtener formas complejas

Asimismo, el uso de tornos CNC presenta las siguientes desventajas:

- Se requiere de una elevada inversión así como formación del operario.
- Incremento del coste de mantenimiento al ser máquinas más sofisticadas.
- Mayor preparación del trabajo al necesitar de la realización del programa de mecanizado.
- No es rentable para fabricación de lotes pequeños, solo cuando sea una pieza compleja o lotes periódicos con pequeñas modificaciones.

2.2 Características de la máquina

La máquina-herramienta EMCOTURN 220 es un torno de control numérico fabricado por el grupo EMCO. Tiene un peso aproximado de 450 kg y dimensiones de 1.5 m de alto, 1.9 m de largo y 0.74 m de ancho.



Figura 2.1: EMCOTURN 220

Como se muestra en la figura 2.1, se distinguen dos zonas principales: la zona de control y la mesa de trabajo. En esta última se encuentran el bastidor, bancada, unidad de carro que lleva unida la torreta portaherramientas y husillo principal. La torreta portaherramientas va fijada a la unidad del carro.

Dentro de la bancada se encuentra el cabezal del husillo con la unidad de carro y el contrapunto. Este elemento se usa cuando se mecanizan piezas largas mitigando las posibles desviaciones provocadas por las vibraciones.

El mecanizado de la pieza lo llevan a cabo el husillo y la herramienta de corte, que se encuentra en la torreta portaherramientas instalada en unos carros, que permiten el desplazamiento de la misma. La velocidad de rotación del husillo y el movimiento de la herramienta de corte podrán ser controlados mediante la programación.

La gama de velocidades del husillo de trabajo se encuentra entre 150-6300 rpm, mientras que la velocidad de avance oscila entre 1-3000 mm/min. Se tienen fuerzas máximas de avance en los ejes X y Z de 2000N y 1500 N respectivamente. El diámetro máximo de la pieza para la mecanización externa es de 88 mm.

Según establece el manual de la máquina, de las 16 herramientas con las que se puede trabajar, se instalan hasta 8 al mismo tiempo en la torreta porta-herramientas (4 para mecanizado exterior y 4 para mecanizado interior), permitiendo el cambio automático de herramienta.

Para el control numérico y elaboración de la pieza resulta necesario conocer los ejes principales de la máquina-herramienta. El eje Z en la dirección del movimiento longitudinal en sentido del eje principal y el eje X asociado al movimiento transversal. Combinando movimientos en estos ejes se consiguen trayectorias oblicuas o curvas.

El centro de mecanizado EMCOTURN 220 lleva incorporado el controlador EMCOTRONIC TM02, ubicado en la zona de control de la máquina-herramienta. Para funcionar, precisa de instrucciones que se pueden dar en modo manual o automático introduciendo el programa de control numérico.

Este controlador trabaja con el lenguaje ISO y admite la mayoría de las funciones, aunque existen algunas exclusivas de la máquina con el objetivo de facilitar la programación.

2.3 Puntos de referencia

A la hora de programar los distintos movimientos de la máquina-herramienta, se utilizan puntos como referencia. En el torno se distinguen los siguientes:

- Punto cero de máquina M: es el origen del sistema de referencia a partir del cual se mide toda la máquina. Queda establecido por el fabricante y se localiza en el eje de rotación en la superficie plana de la nariz del husillo.
- Origen de amarre A: es un punto definido según convenga donde se sujeta la pieza.
- Punto de referencia R: es un punto fijo que queda definido por el fabricante. Es necesario llegar por desplazamiento al punto de referencia después de haber puesto en servicio el control. Se puede acceder

a él en cualquier instante, incluso con la pieza instalada. Para máquinas con sistemas de medidas incrementales permite siempre volver al punto de referencia cuando no se conoce la situación de los carros, estando almacenadas en el control las distancias entre el punto de referencia y el punto cero de la máquina.

- Punto cero de la pieza W: se corresponde con el origen en el sistema de coordenadas de la pieza. Es un punto fijado por el programador. Debe estar situado en el eje de revolución donde corte con la artista de referencia de cotas de la pieza.
- Referencia del portaherramientas F: punto que se toma como partida para medir el punto de herramienta P.
- Punto de herramienta P: se corresponde con el filo de corte de la herramienta. La distancia entre la referencia del portaherramientas y el punto de herramienta queda almacenado en la memoria siendo empleado para la corrección de herramientas.

Todos estos puntos de referencia quedan recogidos en la figura 2.2, donde aparece una imagen correspondiente a los puntos de referencia del conjunto máquina-pieza y otra con los puntos de la herramienta.

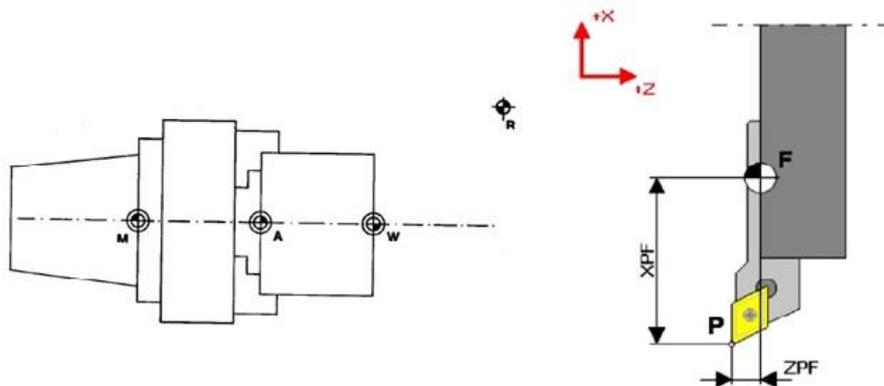


Figura 2.2 Puntos de referencia

2.4 Programación ISO

El programa de códigos alfa-numéricos empleado en el mecanizado tiene una estructura concreta, dividiendo la información en datos geométricos y datos tecnológicos. La estructura del formato de programa viene dado según la norma DIN 66025.

Los datos geométricos se incluyen en las funciones G, proporcionando valores para el posicionamiento de los carros. En estos datos influyen tanto la geometría de la pieza como el acabado superficial, tolerancia y dimensiones de la herramienta.

Por otro lado, los datos tecnológicos se transmiten por las instrucciones ``alter`` que se corresponden con las funciones M, junto con las direcciones F que representa el avance, S la velocidad de rotación del husillo y T llamada de herramienta.

En la siguiente tabla quedan recogidas las distintas funciones que pueden aparecer en los códigos analizados en capítulos posteriores.

0	Número de programa (00-6999) (7000-9999 reservados para gráficos)
N	Número de registro(0000-9999)
X,Y,Z	Coordenadas absolutas
U,V,W	Coordenadas incrementales
I,J,K	Parámetros de interpolación
P0...P7/D0...D7	Parámetros auxiliares
G	Funciones preparatorias
M	Funciones auxiliares
F	Avance en mm/min, mm/revolución, paso de rosca en mm
S	Velocidad de giro del husillo
T	Llamada de la herramienta, activación de la corrección de la herramienta
L	Número de subprograma/repeticiones (cuatro cifras). Destino del salto

Tabla 2.1 Funciones código ISO

2.4.1 Funciones G

Del manual de programación del controlador EMCOTRONIC TM02 se extraen las distintas funciones preparatorias que existen. El listado completo puede consultarse en los anexos de este documento. Se presentan las funciones más relevantes para los códigos que se estudian:

- G00- Marcha rápida. Es un movimiento de desplazamiento, no de trabajo. La velocidad para este movimiento viene determinada por la máquina.
- G01- Interpolación lineal. Es un movimiento de trabajo lineal que precisa la programación del avance.
- G02- Interpolación circular en sentido horario.
- G03- Interpolación circular en sentido antihorario.
- G40- Supresión de la corrección de la trayectoria de la herramienta.

- G41- Corrección de la trayectoria de la herramienta a la izquierda.
- G54- Llamada de desplazamiento 1.
- G55- Llamada de desplazamiento 2.
- G84- Ciclo de cilindrado / Ciclo de refrentado.
- G85- Ciclo de roscado.
- G95- Indicación del avance.
- G96- Velocidad de corte constante.
- G97- Programación directa de la velocidad de giro.

2.4.2 Funciones M

Del mismo modo, se extraen las funciones adicionales o de maniobra más importantes. El listado completo puede consultarse en los anexos de este documento.

- M00- Paro programado: se paran los carros, se desconecta el husillo principal y el refrigerante.
- M03- Husillo principal conectado en sentido horario.
- M04- Husillo principal conectado en sentido antihorario.
- M05- Paro del husillo principal.
- M08- Refrigerante conectado.
- M09- Refrigerante desconectado.
- M30- Fin del programa con regreso al principio del programa. Se desactiva el refrigerante y el husillo principal.

Toda la información referente a la programación del centro de mecanizado y la explicación de cada una de las funciones puede encontrarse en el manual de programación EMCOTRONIC TM02 para tornos que ha sido proporcionado por el departamento.

3 MODELADO CON CATIA V5

En el ámbito de la ingeniería, la creación de herramientas de diseño que engloben diseño asistido por ordenador (CAD- *Computer Aided Design*), fabricación asistida por ordenador (CAM- *Computer Aided Manufacturing*) e ingeniería asistida por ordenador (CAE-*Computer Aided Engineering*) suponen un avance importante debido a la existente necesidad de las empresas por mejorar su capacidad de producción e innovación.

CATIA (*Computer-Aided Three dimensional Interactive Application*) es un software para el diseño, fabricación e ingeniería asistida por ordenador realizado por *Dessault Systèmes*. En un primer momento se desarrolló únicamente con aplicación en el sector aeronáutico aunque con los años se ha integrado en otras industrias como la del automóvil y la construcción. Una de sus principales características es que posee una arquitectura abierta para el desarrollo de aplicaciones y personalización del programa. El gran potencial de CATIA reside en que engloba las disciplinas CAD/CAM/CAE del diseño gráfico, siendo una de las herramientas más potentes que existen en el mercado.

Permite modelar y analizar el producto, pudiendo diseñar y estudiar su fabricación, presentando la posibilidad de mejorar los prodecimientos y reducir los tiempos, repercutiendo directamente en los costes totales de creación del producto.

Esta combinación CAD/CAM permite que la base de datos generada durante el desarrollo de la pieza pueda ser utilizada por el CAM. Esto resulta de utilidad para operaciones de mecanizado, pues se puede describir la trayectoria de la herramienta en operaciones de mecanizado con control numérico, pudiendo modificarse esta trayectoria si se realiza algún cambio en la forma de la pieza a mecanizar.

De todas las versiones existentes, en este caso se utiliza la versión V5R20.

3.1 Módulos usados en este proyecto

Este software cuenta con más de 140 módulos con herramientas específicas, agrupados en talleres de trabajo. Se utilizarán cuatro, explicados a continuación. Tres de ellos se encuentran en el taller *Mechanical Design* y el cuarto en el correspondiente a *Machining*.

3.1.1 Part Design

Permite el diseño de piezas 3D con mucha precisión. Presenta un interfaz intuitivo y flexible, facilitando las tareas al usuario. Este módulo se empleará para el diseño de la pieza y la preforma, así como los componentes del utillaje si fueran necesarios. Toda esta información se almacena en un *Part*, son documentos que contienen toda la información geométrica del sólido.

Las distintas operaciones que se pueden emplear para modelar un sólido están basadas en geometrías planas creadas a partir del módulo *Sketcher*. Con este se crean bocetos en un plano cualquiera del espacio. Se pueden encontrar herramientas para crear y modificar bocetos, acotar y crear restricciones geométricas o dimensionales.

A partir de estos bocetos 2D se puede generar material creando un sólido 3D. Existen distintos comandos para crear o modificar el sólido, presentando a continuación los más utilizados:

- **Pad:** extrusión de un perfil cerrado siguiendo una dirección lineal.
- **Hole:** es una operación de vaciado que genera agujeros.
- **Pocket:** tiene las mismas características que la opción Pad, a diferencia de que elimina material en lugar de crearlo.
- **Shaft:** permite crear un sólido mediante revolución de un perfil cerrado en el Sketch
- **Groove:** vaciado por revolución. Presenta las mismas características que la opción Shaft
- **Chamfer:** crea chaflanes en las aristas. Se puede indicar de dos formas: con una longitud y un ángulo o con dos distancias.

3.1.2 Assembly Design

Con este módulo se ensamblan los distintos componentes creados en la sección *Part Design*. Se establecen de forma sencilla restricciones entre los distintos conjuntos a ensamblar, de manera que queden fijados los 6 grados de libertad en el espacio.

Existen distintas opciones para definir las restricciones, entre ellas están:

- **Coincidente constraint:** restricción de coincidencia en ejes de dos agujeros circulares.
- **Contact constraint:** para hacer coincidir dos planos.
- **Offset constraint:** establece la distancia entre dos planos e impone la condición de paralelismo entre estos.

Existen funciones para detectar posibles colisiones y holguras entre las piezas, así como generar una tabla con el fin de facilitar el recuento de piezas, independientemente de la complejidad del conjunto.

3.1.3 Lathe Machining

CATIA presenta distintas herramientas de simulación de mecanizado. *Lathe machining* es la correspondiente al mecanizado 3D de piezas cilíndricas utilizando operaciones de torneado en 2 ejes y taladrado. Permite modelar operaciones de mecanizado con tornos con eje vertical y horizontal.

Para definir los movimientos rápidos de la herramienta, este software presenta un interfaz muy intuitivo basado en cuadros de diálogo gráficos. Las herramientas pueden ser creadas fácilmente e integradas en un catálogo de herramientas. Las trayectorias de la herramienta pueden ser generadas, simuladas y analizadas.

Este módulo permite además de modelar las distintas operaciones de mecanizado, generar el código de control numérico APT, que será analizado y postprocesado en capítulos posteriores.

Todas las operaciones de mecanizado se guardarán en un mismo archivo '.CATProcess'. A la izquierda de la pantalla aparecerá un árbol donde se tendrán organizados todos los elementos y operaciones que intervienen en los procesos de mecanizado. Un ejemplo se muestra en la siguiente figura.

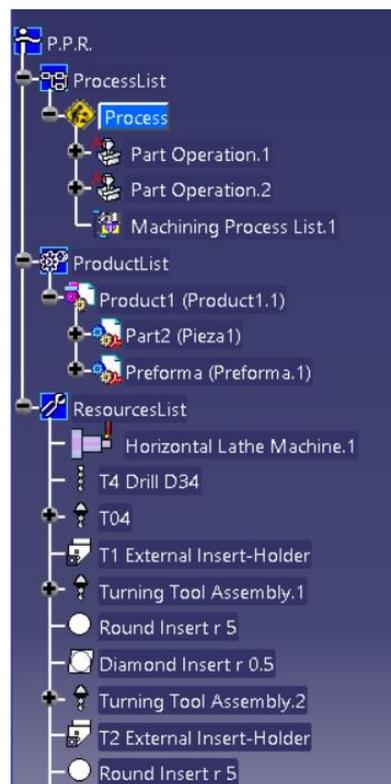


Figura 3.1 Árbol de mecanizado

Este PPR presenta tres grupos principales

- *Process*: se definen todas las entidades de control numérico

- *Product*: Parts o Product que se emplean en el mecanizado (pieza, preforma, amarres, elementos auxiliares...).
- *Resources*: máquinas y herramientas que se usan durante todo el proceso de mecanizado.

El árbol PPR contiene por defecto un *Part Operation*, donde se agrupa toda la información tecnológica necesaria para el mecanizado de la pieza. Pueden crearse múltiples *Part Operation* si se necesita cambiar de máquina o modificar la configuración para mecanizar diferentes fases.

En primer lugar, se deben fijar ciertos parámetros de la máquina-herramienta: configuración, ejes de mecanizado, etc. Accediendo a las propiedades de *Part Operation* aparece un cuadro de diálogo (figura 3.2) donde se pueden editar estos aspectos.

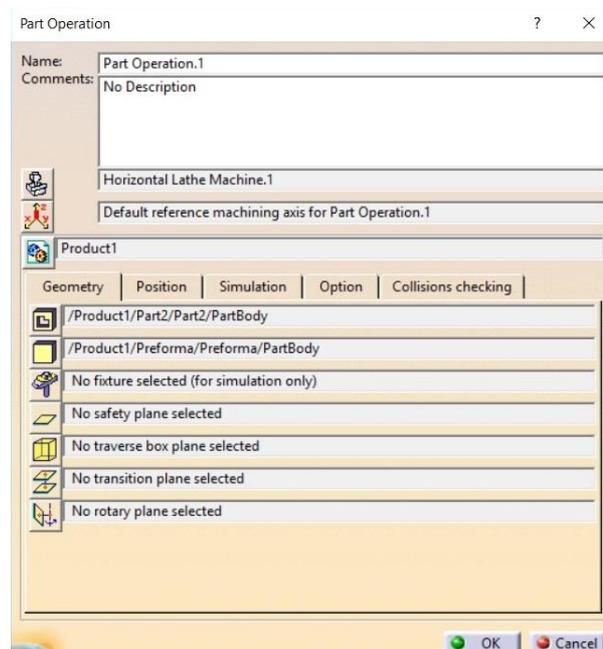


Figura 3.2 *Part Operation*

Se observan en primer lugar dos cuadros que permiten nombrar el *Part Operation* y añadir algún comentario, no siendo necesaria su edición.

- Máquina herramienta.

A esto le sigue la selección de la máquina herramienta. Haciendo doble clic en el icono aparece un menú referente a la elección del torno y sus propiedades (véase en la figura 3.3). Se presentan distintos tipos de tornos, pudiendo configurarse parámetros referentes al eje, sentido de la rotación, *Home Point* o punto de la máquina.

La última pestaña *Numerical Control* permite la configuración del postprocesador que se quiere usar para generar el código APT. En este caso, se buscará uno correspondiente al torno como por ejemplo CENIT_LATHE.pptable.

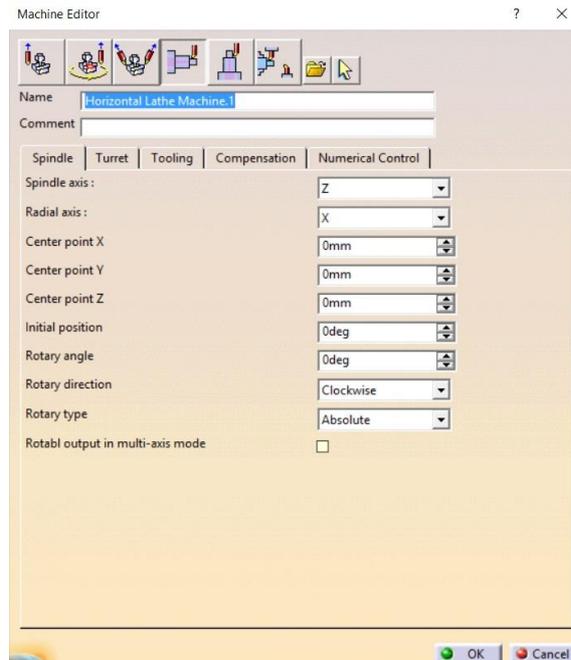


Figura 3.3 Machine Editor

- Ejes de mecanizado.

Como ya se dijo, resulta necesario definir y conocer los ejes de mecanizado para la elaboración de la pieza y el control numérico. El código generado irá referenciado a este origen. Este sistema de coordenadas deberá ser el mismo en el mecanizado realizado en CATIA y en la máquina real, con el fin de obtener un código correcto y que se pueda utilizar para la fabricación de la pieza. En la siguiente figura se muestra la ventana de configuración de los ejes de mecanizado.

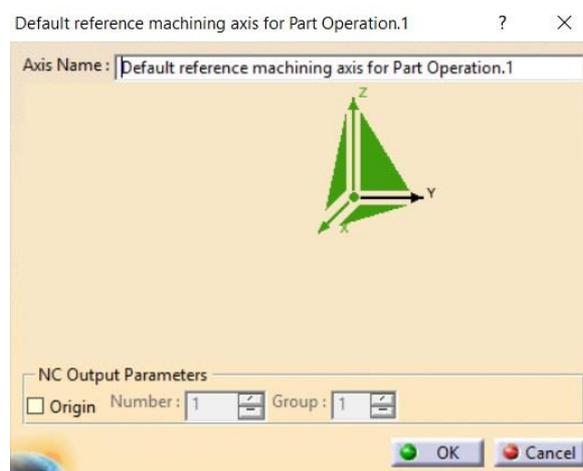


Figura 3.4 Machining axis

En la ventana aparecen unos iconos interactivos que permiten elegir el origen y la dirección de los ejes X y Z.

En el modelado de la pieza se definen dos orígenes, pues se pretende mecanizar ambas caras de la pieza. Se elige el origen 1 en la primera parte del mecanizado con cuidado de que los ejes estén orientados correctamente: el eje Z en la dirección del eje de revolución hacia fuera de la pieza y el eje X perpendicular a este.

- Product

El tercer icono sirve para asociar a este *Part Operation* un *Product* o un *Part*. Estos elementos se referencian automáticamente en el árbol PPR asociado al CATProcess.

En la pestaña de geometría se define la pieza a mecanizar, la preforma y el utillaje empleado en la fabricación. Este último se modelaría en caso de que puedan existir posibles colisiones con la herramienta de trabajo, con el fin de estudiarlas y evitarlas. Este utillaje se modela en un archivo .Part, al igual que la pieza. Se ensambla junto con la preforma en el módulo *Assembly Design*. En este proyecto no se tiene en cuenta el utillaje auxiliar, pues las piezas que se van a mecanizar son simples y no presentan a priori posibles interferencias con la herramienta.

En las siguientes pestañas se definen distintos puntos como *Home Point*, mencionado anteriormente o el punto de cambio de la herramienta. Estos puntos están referenciados a los ejes de coordenadas seleccionados. Es recomendable que el punto 0 o *Home Point* esté por encima de la pieza.

Una vez configuradas las propiedades del centro de mecanizado es necesario crear un *Manufacturing Program*. Presenta de forma organizada la secuencia de operaciones de control numérico que se tienen en cuenta para el cálculo de trayectorias. Estos pueden organizarse por el tipo de actividad, herramientas o geometría, pudiendo existir más de uno en un mismo *Part Operation*.

3.2 Mecanizado con Lathe Machining

CATIA ofrece distintas operaciones de mecanizado para el torno. Las tareas que aparecen en este apartado muestran cómo crear operaciones de mecanizado del torno en el programa de fabricación de la pieza. La estructura de todas las ventanas para configurar las operaciones de mecanizado es similar, mostrando el siguiente aspecto:



Figura 3.5 Pestañas mecanizado

- Los parámetros de la estrategia seguida para el mecanizado.
- La geometría a mecanizar.
- La herramienta empleada.
- Avances y velocidades del eje.
- Macros.

3.2.1 Rough Turning Operation



Es una operación de desbaste en la que es necesario especificar la geometría a mecanizar y elegir algunos de los parámetros de la operación. Haciendo doble click en el icono, aparece el cuadro de diálogo de esta función.

En la barra de herramientas aparecen distintas pestañas que se deberán configurar, como se observa en la figura 3.6.

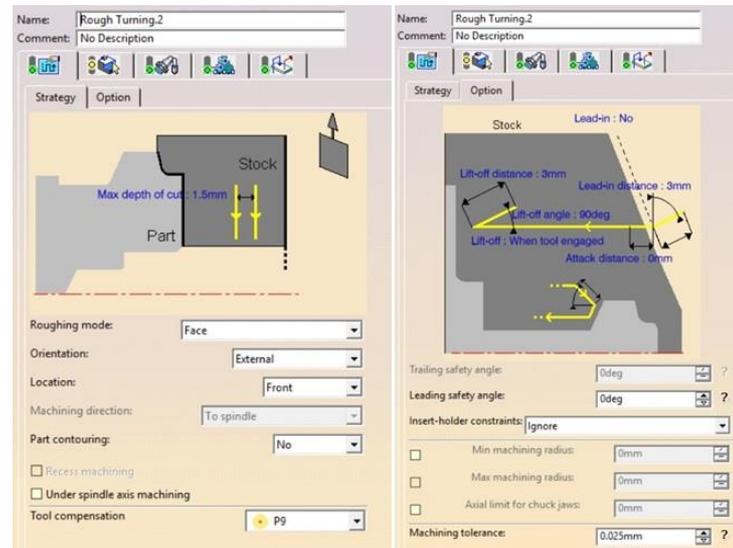


Figura 3.6 *Rough Turning Strategy/Option*

En la pestaña de estrategia se seleccionan parámetros como la profundidad de corte y el modo de mecanizado: *longitudinal*, *face* o *parallel* que se corresponden con cilindrado, refrentado y selección del perfil que debe seguir la herramienta.

También es posible elegir la orientación del mecanizado: externa o interna, así como las pasadas en las que se desea mecanizar: solo en la última, en todas las pasadas o en ninguna con la opción *Part Contouring*.

En esa misma ventana, es posible configurar en la sección *Option* la estrategia a seguir por la herramienta al principio y al final del mecanizado: ángulos de entrada y salida y distancias de seguridad.

Con esto queda definido cómo se va a llevar a cabo el mecanizado, pero falta indicar la parte a mecanizar. Esto se hace desde la pestaña de geometría (figura 3.7), donde se seleccionan la preforma y la pieza a mecanizar indicando el perfil del stock y del mecanizado respectivamente.

En las dos siguientes pestañas se indica la herramienta empleada y sus propiedades: dimensiones, compensación, avance y velocidad, velocidad de giro del husillo, etc. En la última se pueden configurar si fueran necesarios movimientos de aproximación y de retirada de la herramienta con el objetivo de evitar colisiones.

Estos últimos puntos serán tratados en apartados posteriores al ser común a todas las operaciones de mecanizado.

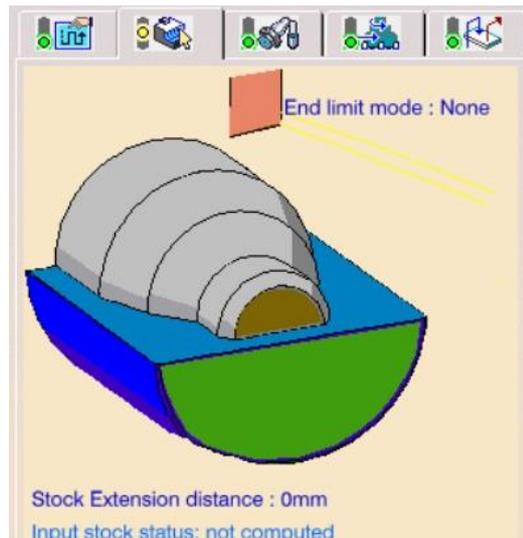


Figura 3.7 Elementos *Rough Turning*

3.2.2 Profile Finish Turning Operation



Es una operación destinada a realizar acabados superficiales en la pieza. Al ser un mecanizado superficial y ser poco el material eliminado, no resulta necesario definir la preforma.

Se accede a la ventana de configuración haciendo click en el icono correspondiente. Como se observa en la figura 3.8, presenta una división similar a la operación anterior: estrategia, geometría, herramienta y macros. Esto será así para todas las operaciones de mecanizado.

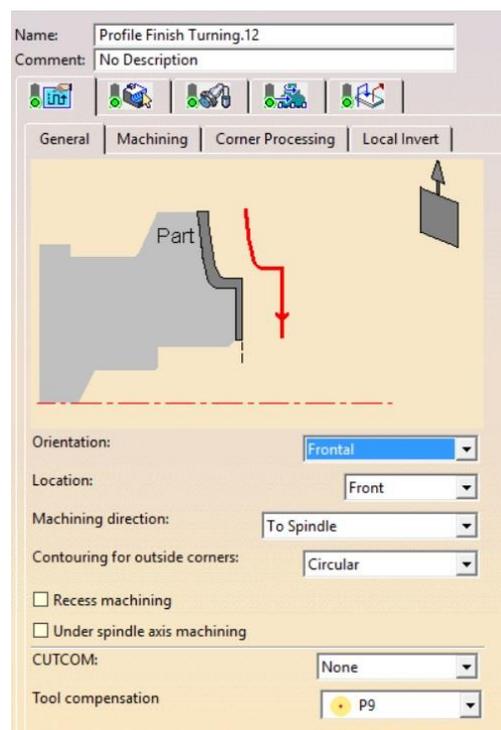


Figura 3.8 *Profile Finish Turning Strategy*

En este caso, en la primera ventana se puede elegir la orientación del mecanizado: interior, exterior o frontal. Con la opción *Location*, se indica el extremo por el que se quiere que empiece el mecanizado. También permite definir la forma de mecanizar las esquinas con la opción *Contouring for outside corners*.

A la hora de elegir los elementos a mecanizar, esta pestaña permite elegir la parte de la pieza sobre la que se realiza la operación así como perfiles de referencia de inicio y fin.

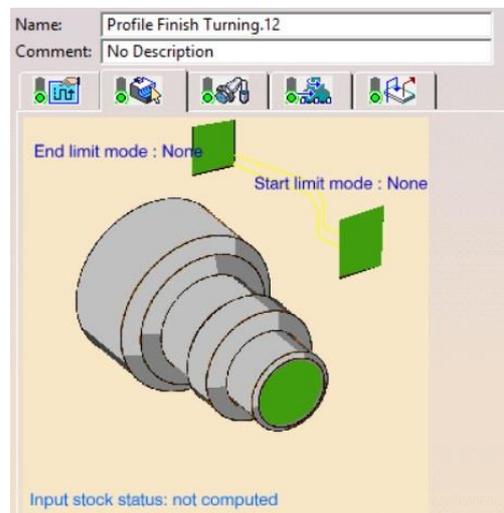


Figura 3.9 Elementos *Profile Finish Turning*

3.2.3 Groove Turning Operation

Se recurre a esta opción cuando se quiere mecanizar muescas en cierta parte de la pieza. En primer lugar, accediendo a la pestaña de estrategia, se puede elegir la orientación de la zona a mecanizar, si es externa, interna, frontal o un plano con cierta inclinación, indicando en la misma pestaña el ángulo dado (figura 3.10). Igualmente, da la opción de elegir el primer punto de mecanizado, así como hacia donde se mueve la herramienta. Accediendo a las opciones, se pueden definir los ángulos y distancias de entrada y salida de la herramienta. Una muestra de la ventana de configuración de esta operación queda recogida en la siguiente imagen.

Al igual que en las operaciones anteriores es necesario indicar en la pestaña de geometría el material de partida (*Stock*) y la zona que se quiere mecanizar (figura 3.11). Esta ventana incluye iconos interactivos que facilitan la elección de la geometría a mecanizar.

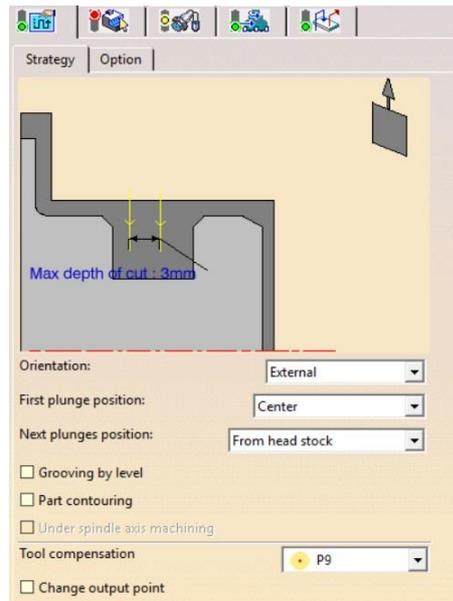


Figura 3.10 *Groove Turning Strategy*

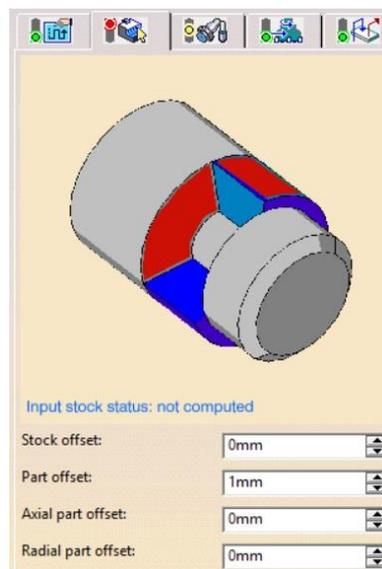
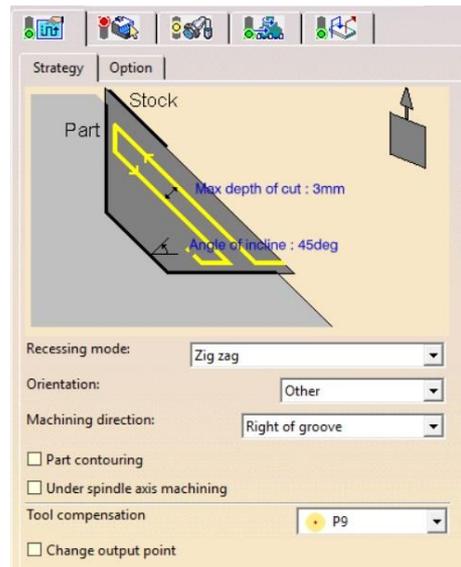


Figura 3.11 *Elementos Groove Turning*

3.2.4 Recess Turning Operation

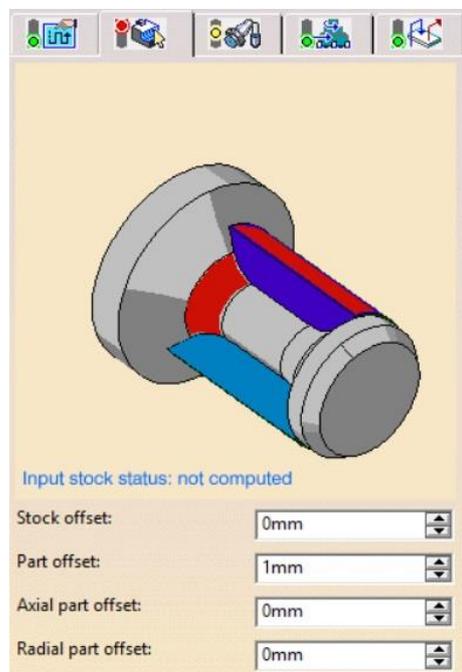


Esta función presenta un menú similar al explicado para *Groove Turning Operation*. En este caso, se emplea para el mecanizado de huecos. De la misma forma, se elige la orientación del mecanizado. Se muestra en la siguiente figura el caso de que el mecanizado sea en un plano con cierta inclinación. Se observa como aparece un icono interactivo donde introducir el ángulo.

Figura 3.12 *Recess Turning Strategy*

Una diferencia que presenta con respecto a la operación anterior es que se puede elegir la trayectoria de la herramienta: en un solo sentido, en ambos sentidos siguiendo una trayectoria zigzag o en un sentido siguiendo líneas paralelas al contorno. Se definen en todos los casos la profundidad de cada pasada.

En la pestaña de geometría, se eligen los elementos correspondientes a *Part Element* y *Stock Element*, como se observa en la siguiente figura.

Figura 3.13 Elementos *Recess Turning*

3.2.5 Thread Turning Operation

Esta tarea muestra cómo realizar operaciones de roscado en la pieza. Seleccionando el icono, se accede al menú de configuración (véase la figura 3.14). En la estrategia, es necesario indicar el tipo de perfil, eligiendo entre ISO, Trapezoidal, UNC, Gas u otro. En el caso de perfil ISO, hay que indicar únicamente el paso y el número de crestas, así como la orientación y la localización. En la pestaña de estrategia se definen parámetros como la profundidad del corte en caso de elegir profundidad de corte constante o el número de pasadas si se elige la sección de corte constante. En la última pestaña se definen el ángulo de salida de la herramienta y distancias de seguridad.

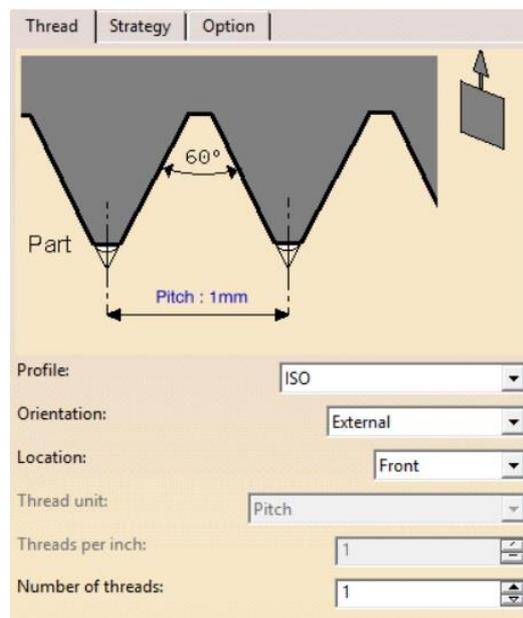


Figura 3.14 *Thread Turning*

Nuevamente, se indican en la ventana de geometría la zona a mecanizar y los límites iniciales y finales del roscado.

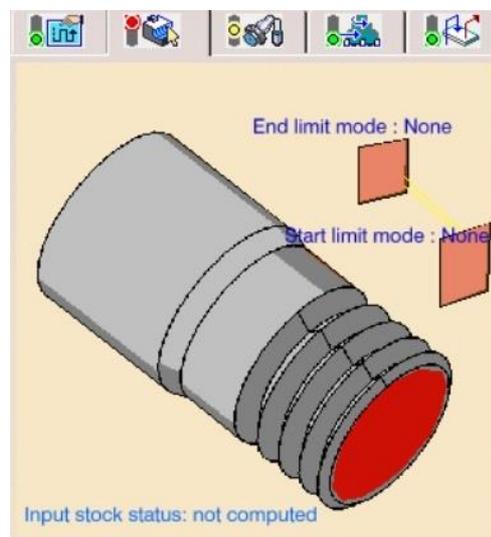


Figura 3.15 Elementos *Thread Turning*

3.2.6 Sequential Turning Operation



Con esta última función explicada, se pueden definir operaciones de torneado secuenciales en el programa de mecanizado. Es posible crear secuencias *Go*, *Go InDirv*, *Go Delta*, siendo también posible insertar líneas de secuencia con la opción *PP Word* que aparece en la ventana de estrategia.

La herramienta se posiciona respecto a cada elemento seleccionado dependiendo del modo elegido. Existen tres modos:

- TO: la punta de la herramienta se posiciona tangente al lado más cercano del elemento seleccionado con un posible offset.
- ON: la herramienta se posiciona en el elemento seleccionado, con un posible radial offset o axial offset.
- PAST: la herramienta se posiciona tangente a la parte más alejada del elemento seleccionado con un posible offset.

Se muestra en la siguiente figura el menú de configuración que presenta esta operación, junto con la ventana que aparece al crear uno de los movimientos.

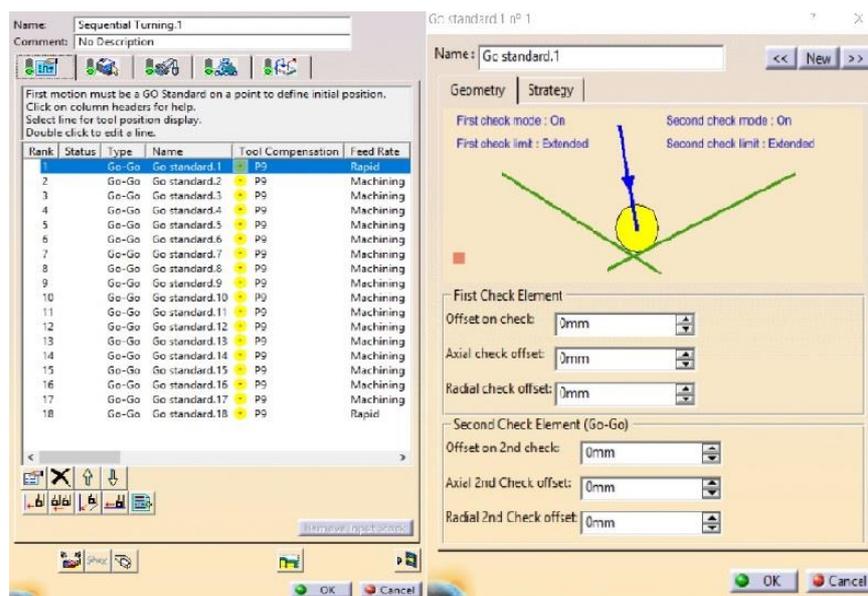


Figura 3.16 Sequential Turning Operation

En la opción *Go*, el programa posiciona la herramienta con respecto a uno o dos elementos seleccionados. Cuando solo se seleccionan dos elementos, la herramienta se posiciona teniendo en cuenta estos dos elementos. El primer elemento puede ser un punto, línea, curva o eje. Si es un punto, no es necesario definir un segundo elemento. En caso contrario, se debe elegir como segundo elemento una línea, curva o eje.

En la secuencia del tipo *Go InDirv*, la herramienta se mueve en una dirección dada hasta el corte con la curva seleccionada. Mientras que si se elige la opción *Go Delta*, el movimiento de la herramienta está basado en su posición actual. El modo TO-ON-PAST no está definido en este modo.

Para la definición de la geometría a mecanizar, se pueden seleccionar líneas, curvas, ejes y/o puntos. Los elementos seleccionados deben encontrarse en un plano definido por el eje de giro de la herramienta y el eje radial.

Al igual que en las otras operaciones explicadas, en las tres últimas pestañas se definen la herramienta a emplear y las velocidades con las que se realizarán las operaciones, así como las posibles macros empleadas.

3.2.7 Drilling



Serán muchas las ocasiones en las que resultará necesario el uso de operaciones axiales como el taladrado en el proceso de mecanizado de una pieza. Para facilitar el mecanizado interior con las operaciones explicadas anteriormente, se realiza primero un orificio usando la opción *Drilling* de CATIA.

Accediendo a la ventana de configuración a partir del icono, se encuentra que es necesario definir parámetros como la profundidad, los puntos donde se realiza el taladro, el tipo de agujero: ciego o pasante. Como cualquier otra operación explicada, se definen también las características de la herramienta así como los posibles macros empleados.

3.3 Herramientas y velocidades

Al crear toda operación de mecanizado aparece una pestaña dedicada a definir la herramienta que será empleada, tanto aspectos geométricos como referentes a velocidades del eje y penetración.

Las herramientas pueden seleccionarse desde catálogos creados en CATIA, donde se recogen todas las herramientas disponibles para el proceso completo de fabricación. En este caso, cada pieza será realizada con herramientas diferentes por lo que resulta más útil crear las herramientas según se necesiten.

CATIA presenta una forma fácil y visual de crear estas herramientas. Hay que destacar la importancia de la numeración, que debe coincidir con la que le otorga la máquina. Toda la información referente a la geometría y velocidades de las herramientas y portaherramientas será extraída de los códigos que se quieren simular.

Según se definan las distintas herramientas irán apareciendo en el árbol PPR dentro de *Resource List* y en el *Part Operation* se creará un cambio de herramienta.

Existen distintas herramientas según la operación de mecanizado que se quiera realizar, distinguiendo en este caso entre herramientas para operaciones axiales y herramientas de torneado.

En el primer caso, CATIA presenta distintos tipos de brocas:



Figura 3.17 Herramientas para operaciones axiales

Pueden definirse la geometría y puntos de compensación de la herramienta si fuera necesario. Existen más parámetros interesantes para modificar, como son la velocidad del husillo y el avance. Solo se utilizará en esta memoria la primera de ellas, para operaciones de taladrado.

Las herramientas disponibles para el torneado son de diversa naturaleza, según el tipo de operación que se quiera llevar a cabo. La orientación del portaherramientas también variará según sea el mecanizado interior o exterior y según el tipo de operación: mecanizado, mecanizado de huecos o ranuras y roscado. Las distintas opciones se presentan en la siguiente figura.



Figura 3.18 Tipos de portaherramientas

Al crear un cambio de herramienta, aparece una ventana (figura 3.19), donde se pueden modificar todos los parámetros relativos a la herramienta y portaherramienta. Presenta cuatro pestañas:

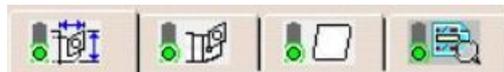


Figura 3.19 Menú herramientas

En la primera se nombra la herramienta y se numera correctamente, de la misma forma que lo hace la máquina. A continuación se elige el tipo de portaherramienta y en la tercera el tipo de herramienta de corte.

Se distinguen varias, según la operación para la que se destine:



Figura 3.20 Herramientas de corte

Las cuatro primeras son usadas en operaciones de mecanizado interior, exterior y frontal, las dos siguientes en caso de mecanizar huecos o ranuras y la última se destina a roscados. La geometría de las herramientas puede definirse de manera manual, dando valores a los parámetros geométricos o accediendo a la base de datos de CATIA. Además de parámetros geométricos, es posible modificar otros referentes a aspectos tecnológicos o avances y velocidades, como por ejemplo la velocidad de giro del husillo, que se extraerá del código en cada operación de mecanizado realizada.

Se pueden definir más aspectos referentes a velocidades y avances accediendo a la cuarta pestaña del menú que aparece al crear una operación de mecanizado (figura 3.21).



Figura 3.21 Avances y velocidades

Los primeros parámetros caracterizan las velocidades de avance para movimientos de entrada (*Lead-in*), mecanizado (*Machining*), achaflanados (*Chamfering*) y movimientos de salida (*Lift-off*). En la segunda parte se define la velocidad de rotación del husillo. Aunque esta ha sido definida previamente al crear la herramienta, CATIA permite introducirla en este apartado.

3.4 Macros

Esta pestaña aparece en todas las operaciones de mecanizado. Permite establecer un conjunto de macros con el fin de evitar colisiones, definiendo los movimientos que sigue la herramienta antes y después del mecanizado. No son necesarias pero pueden ser de utilidad cuando se desea una trayectoria concreta de la herramienta. En la figura 3.22 aparece la ventana de configuración de macros, que acompañará a todas las operaciones de mecanizado.

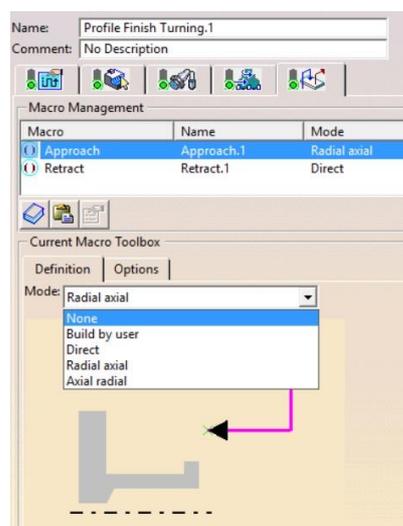


Figura 3.22 Macro

Aparecen cuatro modos para definir estos movimientos, tres de ellos son predefinidas: *axial-radial*, *direct*, *radial-axial* siendo necesario definir únicamente el punto de comienzo. El último modo, llamado *Build by user* permite definir macros propias. Aparecen una serie de iconos para definir estas trayectorias:

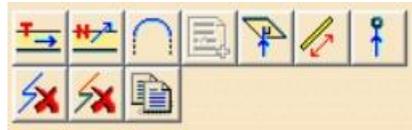


Figura 3.23 Elementos macro

- Movimiento tangente
- Movimiento normal
- Movimiento circular
- Insertar palabra PP en un punto de la macro
- Movimiento axial hasta un plano
- Distancia a lo largo de una línea (a seleccionar)

Los tres últimos iconos sirven para borrar todas las trayectorias, solo la actual y copiar de una macro a otra.

En todos los casos, las macros definidas se dividen en dos movimientos: *Approach* y *Retract*. Para que se realicen estos movimientos es necesario activarlas haciendo click con el botón derecho y seleccionando 'Activate'.

3.5 Refrigerante

En las operaciones de mecanizado resulta necesario el uso de fluidos de corte. Se aplican directamente en la zona de operación para mejorar las propiedades.

El objetivo principal de su uso es disipar el calor generado en la zona de corte por la fricción reduciendo esta en gran medida y mejorando las condiciones para efectuar el corte.

También sirve para lubricar los elementos que intervienen en el mecanizado y así evitar la pérdida de la herramienta protegiendo ciertas zonas contra la oxidación y corrosión. Además, arrastra las partículas de material actuando como medio de limpieza.

Existen dos tipos de fluidos de corte: lubricantes y refrigerantes.

Los refrigerantes están diseñados para reducir los efectos del calor en las operaciones de mecanizado y son más efectivos a velocidades de corte relativamente altas. Estos son usados en las operaciones de torneado. Los lubricantes en cambio, tienden a perder efectividad a altas velocidades.

En las operaciones de mecanizado estudiadas en esta memoria, se introduce el uso de refrigerante.

Su implementación en CATIA resulta sencilla, existe una opción que añade líneas en el código donde sea necesario. Desde la barra de herramientas se procede de la siguiente forma:

Insert >> Auxiliary Operations >> Post-Processor Instruction

Para que se añada esta operación al árbol del Part Operation es necesario pinchar en el proceso tras el que quiere activar el refrigerante, apareciendo la ventana de configuración.

Se inserta en *Name* y *PP instruction* COOLNT/ON para el caso de activar la refrigeración y COOLNT/OFF en caso de querer desactivarla.

3.6 Simulación del modelo

La simulación de trayectorias puede utilizarse para un *Manufacturing Program* o para una o varias operaciones de mecanizado. Se puede acceder desde el menú de edición de la operación o pinchando con el botón derecho del ratón en el *Manufacturing Program* o en la operación y seleccionando *Replay Tool Path* en el menú contextual que aparece. Esta ventana se muestra a continuación.

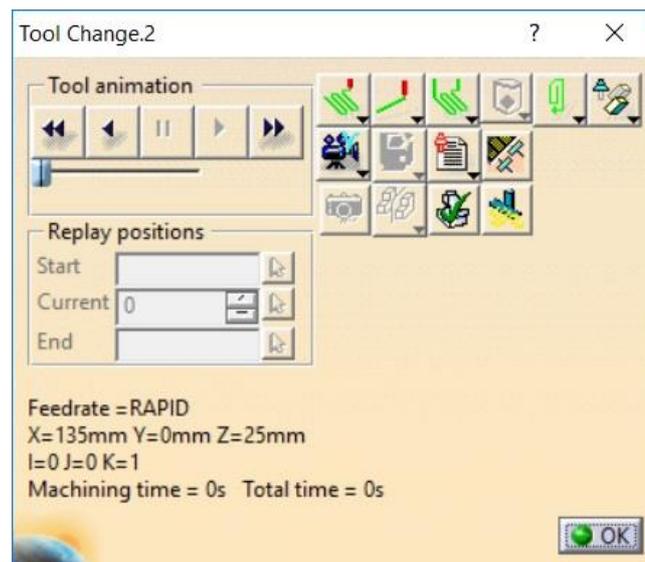
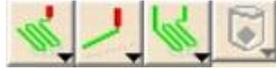


Figura 3.24 *Replay Tool Path*

Durante la simulación de la trayectoria se muestra en la esquina inferior izquierda las coordenadas de la punta de la herramienta (X, Y, Z), el tiempo de mecanizado y el tiempo total de la operación.

En la parte superior izquierda se encuentran agrupados en *Tool animation* una serie de iconos interactivos que controlan la animación, permitiendo ir al inicio, ver la trayectoria entera, etc.

Para facilitar la visualización de la operación de mecanizado, están disponibles distintas opciones para la simulación. Estas se corresponden con los iconos interactivos que aparecen en la esquina superior derecha de la ventana *Replay Tool Path*.

Figura 3.25 Iconos *Replay Tool Path*

- Modo de Replay.
- Modo de visualización de la herramienta. Permite elegir entre mostrar la herramienta en la última posición, los ejes de la herramienta en cada posición o visualizar la herramienta en cada posición.
- Color de la trayectoria. Da la opción de elegir el mismo color para toda la trayectoria o distinguir por colores entre *Approach*, *Machining*, *Retract* y *Rapid*.
- Visualiza el punto de la herramienta en la trayectoria. Permite elegir la visualización de la punta de la herramienta, punto de contacto o centro de la herramienta.

Existen dos modos de simulación de trayectorias: foto y video.

El modo foto muestra el resultado tras eliminar el material al final de la operación de mecanizado. Es una visualización rápida basada en un algoritmo de *Pixels*. El resultado que muestra esta simulación puede ser analizado con el fin de detectar las entradas en la pieza, exceso de material, rotura de la herramienta y posibles colisiones.

Con la opción *Analyze Photo* se puede comparar la pieza mecanizada con la pieza diseñada, detectando áreas donde la herramienta ha dejado material en la pieza, otras donde la herramienta haya eliminado demasiado material o aquellas zonas donde la herramienta haya podido colisionar con la pieza durante un movimiento rápido. Se muestra en la pieza el grado de importancia del fallo, basándose en el cuadro de colores y tolerancias elegidas.

El modo video es una simulación del material eliminado donde se muestra la trayectoria teniendo en cuenta las rotaciones de la máquina en el programa. Es posible simular el video del programa completo, cuando sea un programa largo y ya se hayan analizado operaciones anteriores o solo el resultado salvado del video anterior. El resultado obtenido de la simulación puede ser guardado, con el fin de su utilización para otros *Part Operation*, como se verá en el capítulo dedicado a la realización de los ejemplos.

Accediendo al informe de colisiones se puede visualizar un cuadro de diálogo que presenta todas las colisiones detectadas durante la simulación del video, relacionadas con movimientos rápidos y contacto de la pieza con la parte no cortante de la herramienta.

3.7 Generación del código APT

Entre todas las aplicaciones prácticas que pueda ofrecer la herramienta CATIA, la más destacable para este proyecto ha sido la posibilidad de generar el código de control numérico que controla la secuencia de operaciones de mecanizado de la pieza.

Seleccionando el *Manufacturing Program* en el árbol PPR y abriendo el desplegable con el botón derecho, se encuentra la opción *Generate NC Code Interactively* (véase en la figura 3.26). El archivo resultante lleva la extensión *.aptsource*. En la misma carpeta se guarda otro archivo con extensión *.LOG* con toda la información relativa al cálculo.

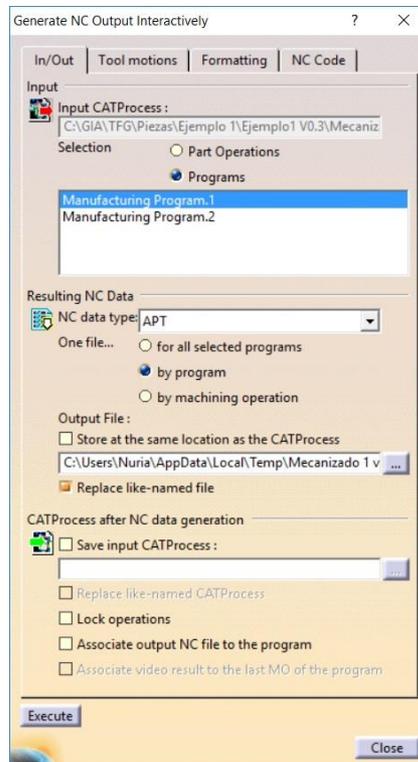


Figura 3.26 *Genetrare NC Output Interactively*

El código se obtendrá en lenguaje APT (*Automatically Programmed Tooling*). Es un lenguaje de alto nivel en el que los comandos son palabras inglesas que mejoran el seguimiento del programa, llegando a incluir hasta 400 palabras en su vocabulario. El programa se realiza en dos etapas: una enfocada a definir la geometría y la otra a definir el camino de la herramienta y condiciones de trabajo.

El inconveniente que presenta esta forma de programación es que no es admitida por el torno EMCOTURN 220, pues requiere de programación en lenguaje ISO. Surge entonces la necesidad de buscar una herramienta para postprocesar esta información.

Se descarta desde un principio la posibilidad del postprocesado a mano pues los códigos son largos. Basándose en trabajos anteriores realizados en el departamento, se decide emplear la herramienta WinPost.

4 APLICACIONES PRÁCTICAS

Una vez introducidas todas las herramientas que se van a emplear, se procede al desarrollo de las aplicaciones prácticas que se llevan a cabo en esta memoria. El objetivo del desarrollo reside en establecer una metodología de modelado para que, a partir del modelo de una pieza y de la secuencia de operaciones de mecanizado necesarias, se obtenga el código ISO del programa de mecanizado para que sea compatible con el torno EMCOTURN 220.

En primer lugar se aborda cómo se realiza el postprocesamiento de código APT usando el software WinPost. Se ha hecho especial énfasis en la generación de las interpolaciones lineales y circulares.

Partiendo de una serie de ejemplos de mecanizado de piezas en un torno CNC y cuyo código es conocido, la idea es simular con la mayor exactitud posible las operaciones de mecanizado que indican estos códigos ISO. El procedimiento será el mismo para todos los ejemplos, empezando por el modelado de la pieza y la preforma en CATIA. A continuación se modelan las distintas operaciones de mecanizado expuestas en el capítulo anterior, y se analiza con rigor el código del programa con el fin de reproducir los movimientos de la herramienta.

Por último, se genera el código APT y se postprocesa para obtenerlo en lenguaje ISO. Este código se compara con el original, que sin necesidad de ser exactamente igual, debe simular las mismas operaciones de mecanizado.

Los códigos ISO de partida se pueden encontrar en los Anexos del documento, salvo el de la primera aplicación, que al tener pocas líneas se muestra en el subapartado correspondiente.

4.1 Posprocesado con WinPost

WinPost un programa que convierte código APT en código ISO. Presenta varios postprocesadores que pueden servir de base para crear uno propio acorde a las funciones que se van a traducir. En un principio se pensó que sería necesario crear un postprocesador propio, pero observando el ya creado se llegó a la conclusión que podría ser de utilidad, pues el controlador del centro de mecanizado EMCO VMC-200 y el de EMCOTURN 220 son

el mismo. La diferencia reside en trabajar con 3 coordenadas frente a las coordenadas X y Z que definen las operaciones en el torno.

En operaciones de torneado, al trabajar con elementos de revolución, la distancia que indica la coordenada X representa el diámetro. Por lo que se configuró el postprocesador para que mostrara el diámetro en la coordenada X, pues en el código APT obtenido de CATIA aparecía el radio.

En la página web del programa, aparece un manual que puede servir de ayuda para posibles modificaciones del postprocesador.

Una vez abierto el programa y seleccionado el postprocesador mencionado anteriormente, se indica el código .apt generado por CATIA que se desea traducir. Seleccionando la opción *Process APT file*, aparece en la ventana de la derecha el código en lenguaje ISO. La Figura 4.1 muestra un ejemplo de postprocesado con WinPost.

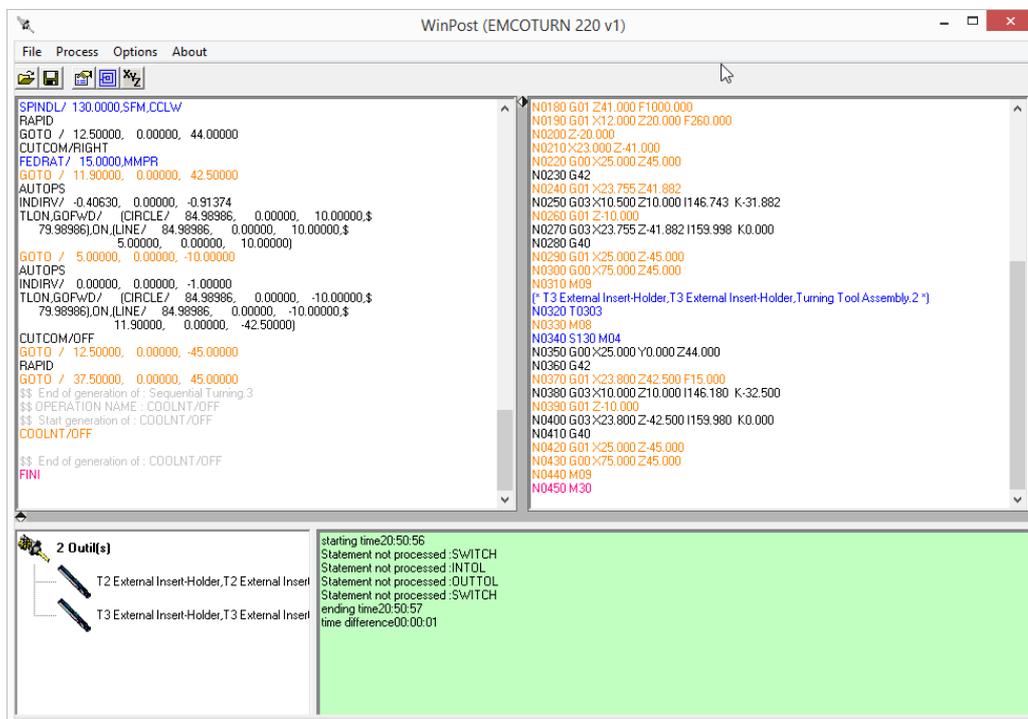


Figura 4.1: Interfaz de usuario de WinPost

En este proyecto se ha hecho especial hincapié en comprobar el postprocesado de interpolaciones lineales y circulares. Como se muestra a continuación, la interpolación lineal se procesa con éxito, mientras que la interpolación circular no, debido seguramente a un error de los programadores de WinPost.

4.1.1 Marcha rápida G00 e interpolación lineal G01

Los desarrolladores de WinPost han incluido una opción "X Diameter" para convertir las coordenadas X en valores de diámetro. Por otro lado, al no usarse el eje Y, se ha optado por no definir el formato de las palabras Y y J en las correspondientes casillas de configuración.

Como ejemplo de un movimiento lineal con avance, el código ATP:

```
FEDRAT/ 260.0000, MMPM
GOTO/ 11.50000, 0.00000, 41.00000
```

se procesa como:

```
N... G01 X23.000 Z41.000 F260.000
```

Para un movimiento en marcha rápida, el código ATP:

```
RAPID
GOTO/ 12.50000, 0.00000, 41.00000
```

se convierte en:

```
N... G00 X25.000 Y0.000 Z41.000
```

En este caso se genera la palabra Y que, aunque innecesaria, no debería suponer ningún problema con el torno.

En caso contrario, una solución sería usar un editor de texto para eliminar todas las palabras “Y0.000” usando la opción típica “reemplazar por”.

4.1.2 Interpolación circular G02/G03

En el fichero de configuración de WinPost, el formato de salida para procesar una interpolación circular se ha programado de acuerdo al manual de usuario del programa con el siguiente código:

```
&(PP_CODE_CERCLE,0.000)
  X&(PP_POINT_CERCLE_X,0.000) Z&(PP_POINT_CERCLE_Z,0.000)
  I&(PP_CENTRE_RELATIF_X,0.000) K&(PP_CENTRE_RELATIF_Z,0.000)
```

para que el código de salida sea del tipo:

```
N... G02 X... Z... I... K...
N... G03 X... Z... I... K...
```

Para procesar una interpolación circular a partir de código APT, WinPost admite 3 notaciones diferentes, siendo la más parecida a la usada por CATIA la que aparece en la Figura 4.2:

```
C1=CIRCLE/ x-centro, y-centro, z-centro, radio
L1=LINE/ x-centro, y-centro, z-centro, x-fin, y-fin, z-fin
INDIRV/ x-normal, y-normal, z-normal
TLON,GOFWD/ C1, ON, L1
```

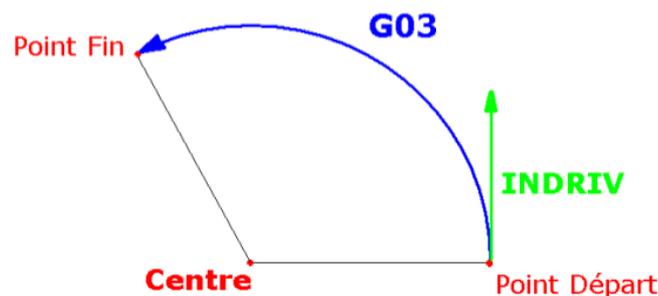
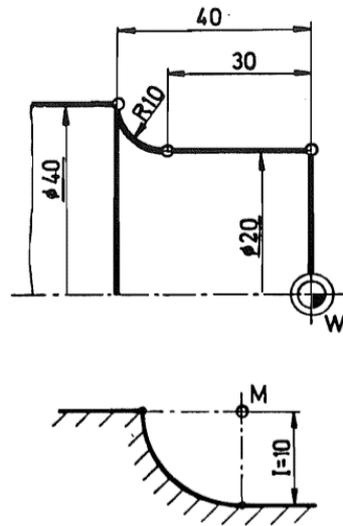


Figura 4.2: Esquema de interpolación circular con WinPost.

**Ejemplo 1:****Programación absoluta:**

```
N.../G01/X20,000/Z-30,000/F....
N.../G02/X40,000/Z-40,000/I10,000
K=00,000/F....
```

Programación incremental:

```
N.../G01/....
N.../G01/U10,000/W-10,000/I10,000
K00,000/F....
```

Figura 4.3: Ejemplo 1 de interpolación circular.

Para evaluar la capacidad de WinPost para realizar interpolaciones circulares se han programado en APT los mismos ejemplos del manual de programación del torno. En la Figura 4.3 se muestra el primer ejemplo, que en programación absoluta es:

```
N... G01 X20.000 Z-30.000
N... G02 X40.000 Z-40.000 I10.000 K0.000
```

Convertido a lenguaje APT, tomando X como coordenadas reales y no como diámetros, el ejemplo 1 sería el siguiente:

```
C1=CIRCLE/ 20, 0, -30, 10
L1=LINE/ 10, 0, -30, 20, 0, -40
GOTO/ 10, 0, -30
INDIRV/ 0, 0, -1
TLON,GOFWD/ C1, ON, L1
```

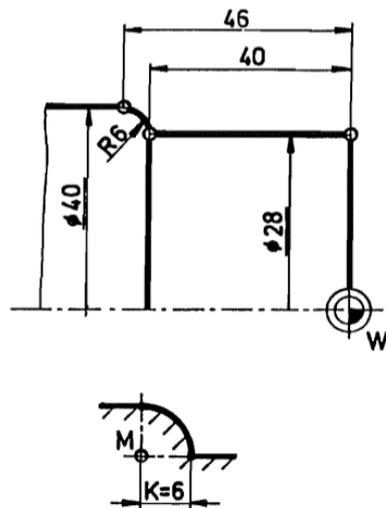
que procesado con Winpost tiene como resultado:

```
N... G01 X20.000 Z-30.000
N... G03 X40.000 Z-40.000 I20.000 K0.000
```

Como puede observarse, existen 2 errores en el código: (1) el sentido de giro es G03 y no el esperado G02; y (2) la palabra I20.000 no tiene el valor esperado I10.000. En cambio, si se desactiva la opción "X Diameter", la palabra I sí se procesa bien (aunque no las palabras X):

```
N... G01 X10.000 Z-30.000
N... G03 X20.000 Z-40.000 I10.000 K0.000
```

De este ejemplo se deduce que WinPost podría no estar calculando bien el centro de la circunferencia, debido probablemente a que los autores han considerado erróneamente toda magnitud en X como diámetro, incluidas las palabras I para definir el centro de la circunferencia.

**Ejemplo 2:****Programación absoluta:**

```
N.../G01/X28,000/Z-40,000/F....
N.../G03/X40,000/Z-46,000/I00,000
      K-6,000/F....
```

Programación incremental:

```
N.../G01/....
N.../G03/U6,000/W-6,000/I00,000
      K-6,000/F....
```

Figura 4.4: Ejemplo 2 de interpolación circular.

Un segundo ejemplo, ilustrado en la Figura 4.4, es el siguiente:

```
N... G01 X28.000 Z-40.000
N... G03 X40.000 Z-46.000 I0.000 K-6.000
```

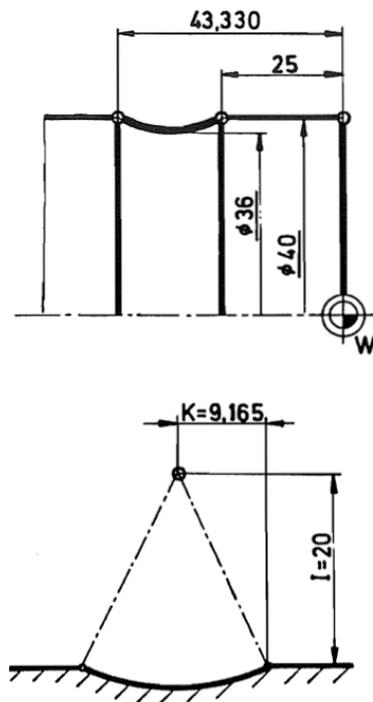
que en lenguaje APT sería:

```
C1=CIRCLE/ 14, 0, -46, 10
L1=LINE/   14, 0, -46, 20, 0, -46
GOTO/     14, 0, -40
INDIRV/   1, 0, 0
TLON,GOFWD/ C1, ON, L1
```

En este caso, procesando con Winpost el lenguaje APT se tiene como resultado el mismo código inicial:

```
N... G01 X28.000 Z-40.000
N... G03 X40.000 Z-46.000 I0.000 K-6.000
```

A diferencia de G02, WinPost sí procesa bien la palabra G03. Este hecho podría indicar que en realidad WinPost siempre genera G03 para hacer una interpolación lineal, ya sea en sentido horario o antihorario. En el caso de la palabra I0.000, al tener un valor nulo no es de extrañar que no sea un error como en el ejemplo 1.

**Ejemplo 3:**

Programación absoluta:
 N.../G00/X40,000/Z-25,000
 N.../G02/

Programación incremental:
 N.../G00/.....
 N.../G02/W-18,330/I20,000
 K-9,165/F....

Figura 4.5: Ejemplo 3 de interpolación.

El tercer y último ejemplo se ilustra en la Figura 4.5. Al igual que en el ejemplo 1, éste incluye un mecanizado en sentido horario G02 y un centro relativo del círculo distinto de I0:

```
N... G00 X40.000 Z-25.000
N... G02 X40.000 Z-43.330 I20.000 K-9.165
```

Procesando con WinPost el correspondiente código en lenguaje APT:

```
C1=CIRCLE/ 20, 0, -34.165, 22
L1=LINE/ 20, 0, -34.165, 20, 0, -43.3300
GOTO/ 20, 0, -25
INDIRV/ 0, 0, -1
TLON,GOFWD/ C1, ON, L1
```

se tienen los mismos errores que en el primer ejemplo:

```
N... G01 X40.000 Z-25.000
N... G03 X40.000 Z-43.330 I0.000 K-9.165
```

confirmando de esta manera la idea de que existen al menos 2 errores de procesamiento en WinPost: (1) siempre genera la palabra G03, incluso cuando el mecanizado es sentido horario; y (2) el centro de la circunferencia según el eje X no lo calcula bien.

Como posibles soluciones a los errores de procesamiento de WinPost en interpolaciones circulares se plantean las siguientes:

- No activar la interpolación circular con CATIA y usar en cambio interpolaciones lineales. En este caso es necesario elegir unos valores adecuados de tolerancias. El mayor inconveniente de este método es la gran cantidad de número de bloques que podría contener el programa de mecanizado.

- Activar la interpolación circular con CATIA y corregir de forma manual los errores en el código ISO después de postprocesar con WinPost. La ventaja de este método es el ahorro en el número de bloques de programa. Los inconvenientes son lo engorroso que puede llegar a ser si el programa tiene muchas interpolaciones circulares (aunque es bastante sistemático si se usa el buscador en el editor de texto) y el peligro en caso de producirse errores humanos.
- Activar la interpolación circular con CATIA y usar un script para detectar y/o corregir los errores en el código ISO generado con WinPost.
- Informar de los errores detectados en WinPost a sus desarrolladores y esperar a que lo solucionen y publiquen una nueva versión del software.

4.2 Pieza 1: probeta para ensayos de tracción

Como primera aplicación práctica se ha seleccionado la fabricación de una pieza mecanizada en el torno EMCOTURN del Dpto. de Ingeniería Mecánica y Fabricación y cuyo código ISO es, por tanto, conocido. La pieza es una probeta típica de ensayos de tracción para caracterizar materiales. La geometría se muestra en la Figura 4.6.

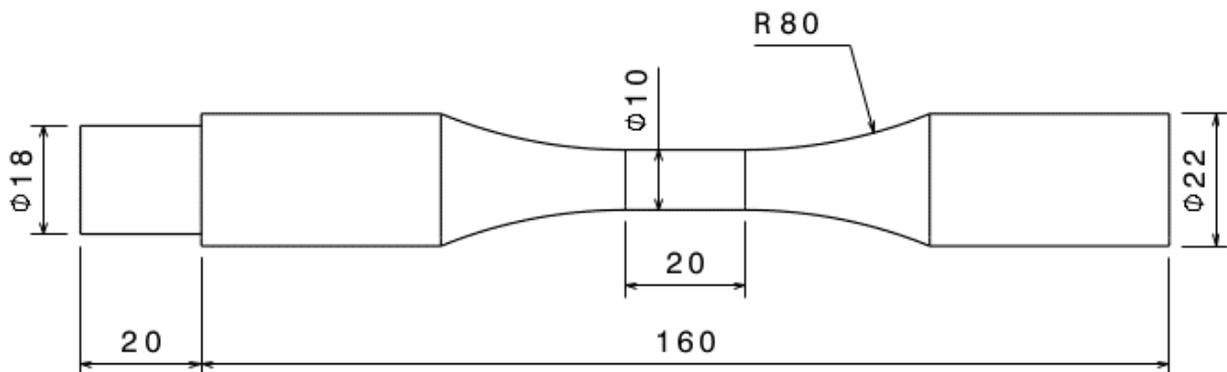


Figura 4.6: Dimensiones de la probeta

La pieza de partida es un cilindro de 22 mm de diámetro y 160 mm de longitud, que tiene en uno de sus extremos una zona de amarre cilíndrica de 18 mm de diámetro y 20 mm de longitud, igual que la pieza final. El material a mecanizar es solamente la zona media de la probeta: el cilindro de 10 mm de diámetro y 20 mm de longitud y los troncos de conos cuya generatriz es un arco de círculo de radio 80 mm.

El mecanizado de la pieza consiste en varias pasadas de cilindrado de desbaste, un contorneado de desbaste dejando 0.5 mm de material sin mecanizar y el contorneado de acabado final.

El código ISO original es el siguiente:

```
%0010
N0000 G54
N0010 G92 S2500 M08
N0015 / G27 L240
N0020 T0202
```

```

N0030 G96 G00 X25.000 Z41.000 S110 M04
N0040 G01 X23.000 F260
N0050 X19.500 Z30.000 F260
N0060 Z-30.000
N0070 X23.000 Z-41.000
N0080 Z41.000 F1000
N0090 X17.000 Z25.000 F260
N0100 Z-25.000
N0110 X23.000 Z-41.000
N0120 Z41.000 F1000
N0130 X14.500 Z23.000 F260
N0140 Z-23.000
N0150 X23.000 Z-41.000
N0152 Z41.000 F1000
N0154 X12.000 Z20.000 F260
N0156 Z-20.000
N0158 X23.000 Z-41.000
N0160 G00 X25.000 Z45.000
N0170 G01 G42 X23.755 Z41.882 F260
N0180 G02 X10.500 Z10.000 I73.372 K-31.882
N0190 G01 Z-10.000
N0200 G02 X23.755 Z-41.882 I80.000 K0.000
N0210 G01 G40 X25.000 Z-45.000
N0220 G00 X75.000 Z45.000
N0220 T0200
N0240 T0303 M08
N0245 G92 S2600
N0250 G96 G00 X25.000 Y0.000 Z44.000 S130 M04
N0260 G01 G42 X23.800 Z42.500 F15
N0270 G02 X10.000 Z10.000 I73.100 K-32.500
N0280 G01 Z-10.000
N0290 G02 X23.800 Z-42.500 I80.000 K0.000
N0300 G01 G40 X25.000 Z-45.000
N0310 G00 X75.000 Z45.000 M09
N0320 T0300
N0325 M30

```

Como se deduce del código, se usa una herramienta T2 para desbastar y otra T3 para el acabado, con unas condiciones de corte $v_c = 110$ m/min, $v_f = 260$ mm/min y $v_c = 130$ m/min, $v_f = 15$ mm/min, respectivamente. Las herramientas usan plaquitas rómbicas, como muestra la fotografía de la Figura 4.7.

4.2.1 Modelado de la probeta

La pieza se ha modelado mediante un *Sketch* con el contorno y una operación *Shaft*. La Figura 4.7 muestra el modelo de la probeta montada entre el plato de la máquina y el contrapunto, exactamente la misma configuración que muestra la fotografía superior.

En el mismo modelo *CATPart* de la pieza se han incluido 3 bocetos con las trayectorias de la herramienta. La Figura 4.8 muestra los bocetos, uno con las trayectorias para el desbaste y otro con las trayectorias para los contorneados de desbaste (línea de color blanco) y de acabado (línea de color naranja), separadas 0.5 mm entre

sí. Las coordenadas de cada punto de las trayectorias se han definido a partir del código ISO de partida, mostrado anteriormente.

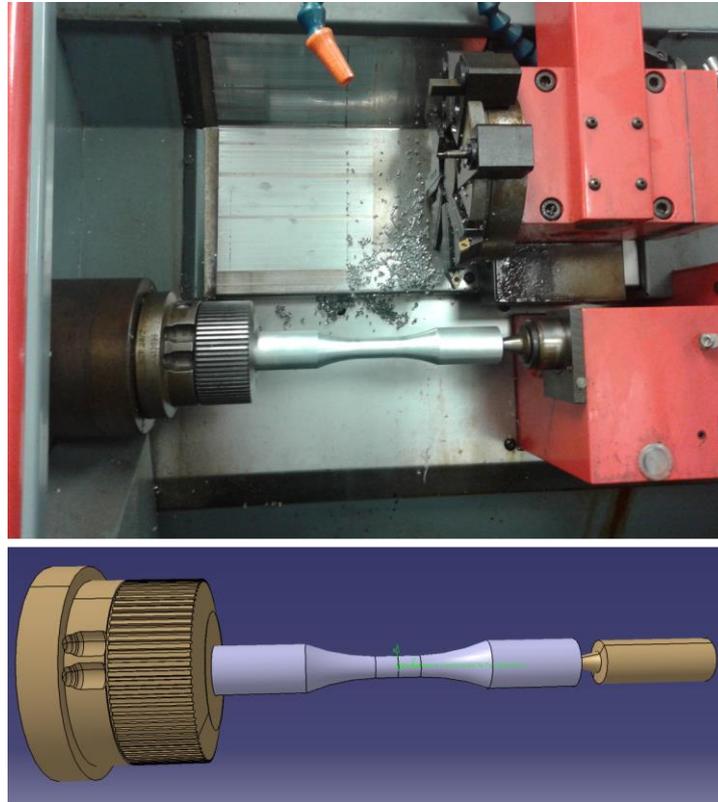


Figura 4.7: Probeta montada en el torno con contrapunto (fotografía y modelo CATIA)

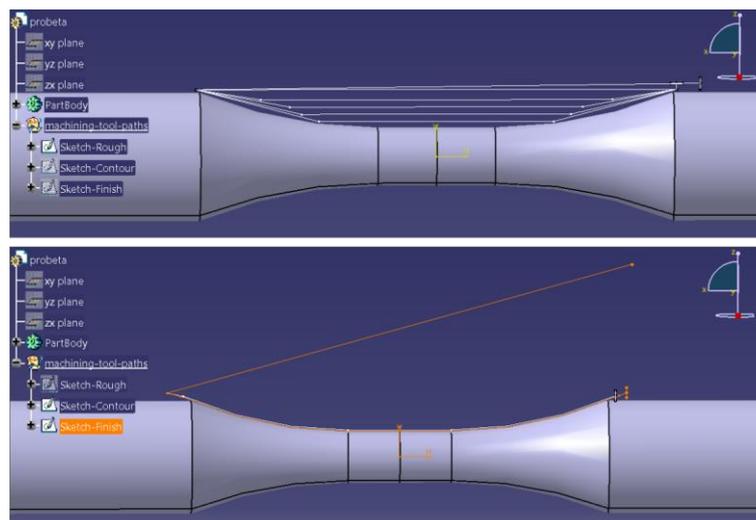


Figura 4.8: Dibujo en CATIA de las trayectorias para el mecanizado de la probeta

4.2.2 Mecanizado y análisis del código obtenido

Las trayectorias dibujadas mediante bocetos permiten usar la operación de mecanizado *Sequential Turning*, descrita en el capítulo anterior. La Figura 4.9 muestra 3 imágenes del modelado y simulación del desbaste (imágenes superior e intermedia) y del contorneado de acabado (imagen inferior).

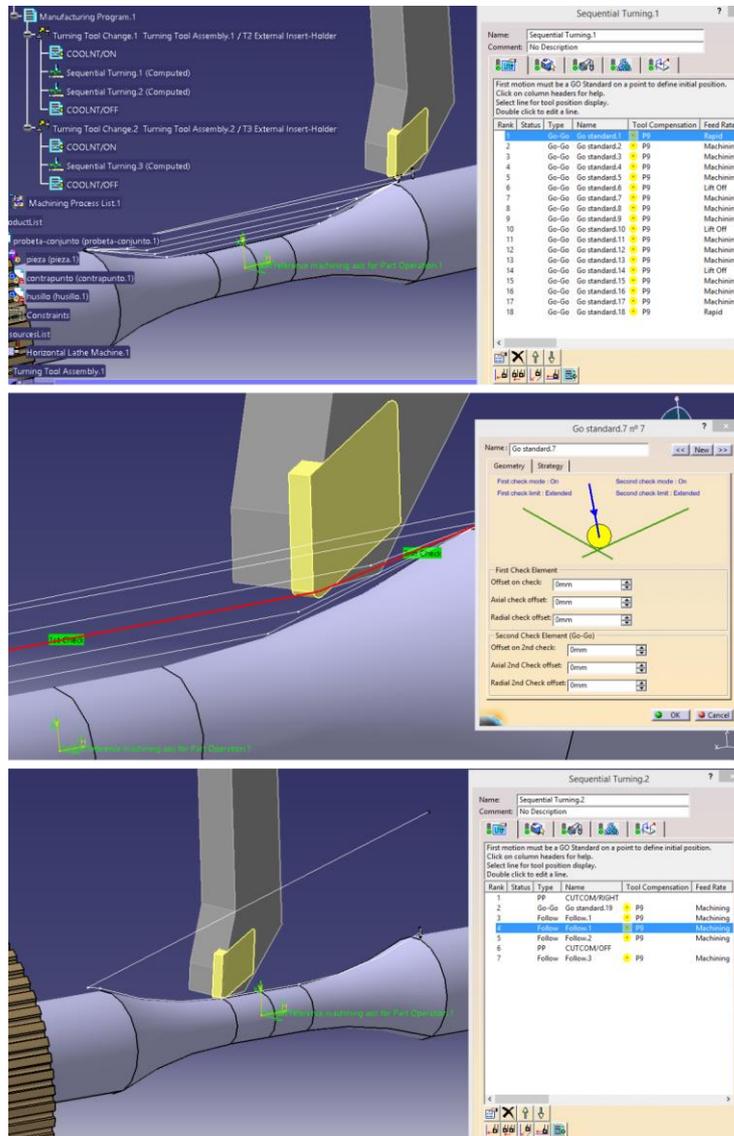


Figura 4.9: Mecanizado de la probeta con operaciones de tipo *Sequential Turning*

Como se puede apreciar en la Figura 4.9, las ventanas de diálogo muestran la sucesión de movimientos de mecanizado en forma de tabla. Nótese las distintas condiciones de corte utilizadas (*Machining*, *Lift Off*, *Rapid*) para reproducir con exactitud las distintas velocidades contenidas en el código ISO original. Por ejemplo, *Lift Off* = 1000 mm/min se ha usado para el retroceso entre las pasadas de desbaste, como se desprende de las líneas 80, 120 y 152 en el código ISO original. En las operaciones de contorneado se ha añadido la compensación de la geometría de la herramienta usando *PP Words* para insertar código APT (*CUTCOM/RIGHT* y

CUTCOM/OFF, véase la imagen inferior de la Figura 4.9) en los instantes correspondientes (G42 y G40 en las líneas 170, 210, 260 y 300 del código ISO original).

La lubricación en el código ISO original aparece en las líneas 10 y 310 (M08, activación de la lubricación) y 240 (M09, desactivación). Nótese que a dicho código le falta un M09 al finalizar el contorneado de desbaste. En el modelo en CATIA se han incluido los 4 *PP Words* en lenguaje APT: COOLNT/ON y COOLNT/OFF (véase el árbol del proceso en la imagen superior de la Figura 4.9).

Una vez generado el código APT del modelo de CATIA y postprocesado con WinPost, el resultado obtenido es el siguiente:

```
%0010
N0010 G54
N0020 T0202
N0030 M08
N0040 S110 M04
N0050 G00 X25.000 Y0.000 Z41.000
N0060 G01 X23.000 F260.000
N0070 X19.500 Z30.000
N0080 Z-30.000
N0090 X23.000 Z-41.000
N0100 G01 Z41.000 F1000.000
N0110 G01 X17.000 Z25.000 F260.000
N0120 Z-25.000
N0130 X23.000 Z-41.000
N0140 G01 Z41.000 F1000.000
N0150 G01 X14.500 Z23.000 F260.000
N0160 Z-23.000
N0170 X23.000 Z-41.000
N0180 G01 Z41.000 F1000.000
N0190 G01 X12.000 Z20.000 F260.000
N0200 Z-20.000
N0210 X23.000 Z-41.000
N0220 G00 X25.000 Z45.000
N0230 G42
N0240 G01 X23.755 Z41.882
N0250 G03 X10.500 Z10.000 I146.743 K-31.882
N0260 G01 Z-10.000
N0270 G03 X23.755 Z-41.882 I159.998 K0.000
N0280 G40
N0290 G01 X25.000 Z-45.000
N0300 G00 X75.000 Z45.000
N0310 M09
N0320 T0303
N0330 M08
N0340 S130 M04
N0350 G00 X25.000 Y0.000 Z44.000
N0360 G42
N0370 G01 X23.800 Z42.500 F15.000
N0380 G03 X10.000 Z10.000 I146.180 K-32.500
N0390 G01 Z-10.000
N0400 G03 X23.800 Z-42.500 I159.980 K0.000
N0410 G40
N0420 G01 X25.000 Z-45.000
```

```

N0430 G00 X75.000 Z45.000
N0440 M09
N0450 M30

```

Como se puede comprobar al comparar este código con el original, el resultado es prácticamente el mismo a excepción de las interpolaciones circulares, como ya ha sido expuesto en el apartado anterior.

4.3 Pieza 2: buje simple

Del documento de partida, se extraen las medidas de la pieza a trabajar y el código ISO que se pretende simular.

En la siguiente figura se muestra la geometría de la pieza:

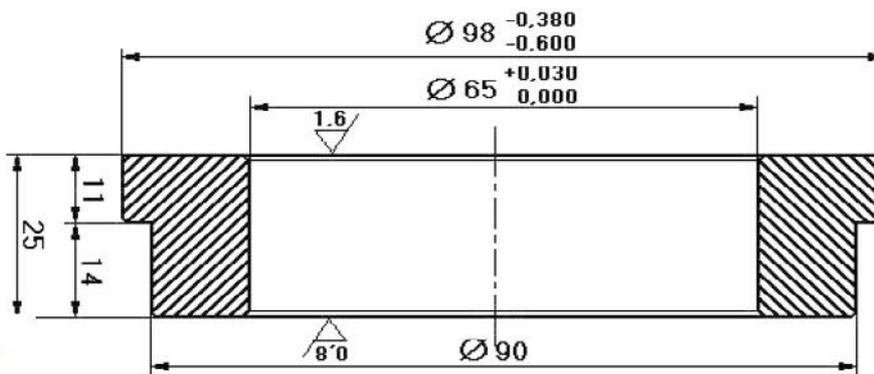


Figura 4.10 Plano pieza 2

Antes de empezar a modelar la pieza, se analiza el código y se descifra la secuencia de operaciones de mecanizado. Se muestra a continuación una tabla resumen con las operaciones a realizar, herramientas empleadas en cada operación y las condiciones de corte. Se observa que existen dos fases de mecanizado, según la colocación de la pieza en la mordaza, mecanizando en cada caso una cara de la pieza. El código completo puede encontrarse en los anexos del documento.

Primera fase de mecanizado					
Operación	Herramienta	F (mm/rev)	S (rpm)	Pasadas	Penetración (mm)
Taladro	T4	5	850	1	30
Refrentado	T1	0.2 desbaste y 0.15 acabado	225	1 desbaste y 1 acabado	1.5 desbaste y 1 acabado
Cilindrado exterior + Bisel	T1	0.15	225	1	1.25

Cilindrado interior + Bisel	T6	1.5	140	5	6
Segunda fase de mecanizado					
Operación	Herramienta	F (mm/rev)	S (rpm)	Pasadas	Penetración (mm)
Refrentado	T1	0.25 desbaste y 0.2 acabado	225	1 desbaste y 1 acabado	1.5 desbaste y 1 acabado
Cilindrado exterior + Bisel	T1	0.25 desbaste y 0.2 acabado	225	2 desbaste y 1 acabado	1 desbaste y 3 acabado
Cilindrado interior + Bisel	T6	0.15	140	1	0.5

Tabla 4.1 Operaciones de mecanizado pieza 2

4.3.1 Modelado de la pieza y preforma

Para el modelado de la pieza, al presentar simetría de revolución, lo más sencillo sería realizar un *Sketch* y generar el sólido a partir de la operación *Shaft*. Se ha realizado el modelado de la pieza siguiendo otro procedimiento, más tedioso en esta fase, pero que simplificará la definición de la geometría para las operaciones de mecanizado.

Este procedimiento consiste en modelar la pieza con operaciones que eliminan material, partiendo de la preforma con las dimensiones reales que tendrá esta. La preforma se crea a partir de la opción *Shaft*, que crea un sólido de revolución a partir de un perfil cerrado.

El procedimiento que determina la pieza se hace siguiendo la misma secuencia que las operaciones de mecanizado diseñadas en la siguiente fase.

El fundamento básico de este procedimiento reside en poder utilizar las líneas que se han creado para eliminar material, pues son las que definirán la zona a mecanizar en cada proceso.

En cada paso, se crea un *Sketch* en el plano XZ con la zona de material que se elimina en esa fase. Una vez creado, se realiza la operación de vaciado *Groove*. Se muestra a continuación una captura donde aparecen la preforma, la pieza final y en distintos colores los *Sketch* que han sido utilizados en las operaciones de la primera fase del mecanizado: taladrado, refrentado, cilindrado exterior, mecanizado interior y los respectivos biseles.

Es importante diferenciar las dos fases de mecanizado pues cada una llevará asociado un origen, que servirá para situar los ejes de mecanizado en *Lathe Machining*. Estas fases se corresponden con la distinta colocación de la pieza en la mordaza. Ambos orígenes se sitúan en los límites superior e inferior de la preforma, en la intersección con el eje Z, de manera que la cara superior coincida con $Z=0$ para la primera fase de mecanizado.

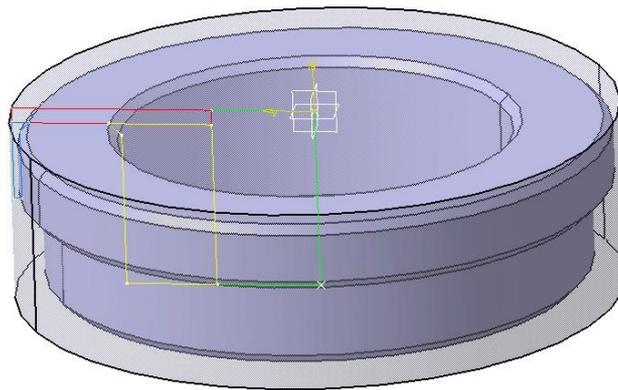


Figura 4.11 *Sketch* primera fase de mecanizado

Siguiendo el mismo procedimiento para la segunda parte del mecanizado, se obtiene la pieza final en CATIA, como se puede observar en la figura 4.12.

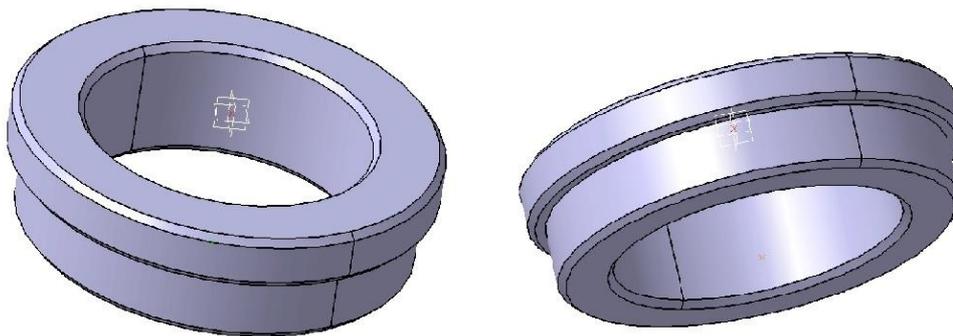


Figura 4.12 Modelo pieza 1

4.3.2 Herramientas empleadas

Del código se obtienen las herramientas que se emplean en el mecanizado de la pieza (véase la figura 4.13), siendo en este caso tres, para operaciones de taladrado, mecanizado interior y mecanizado exterior.

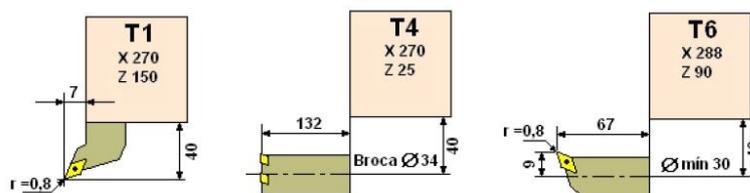


Figura 4.13 Herramientas pieza 1

Estas herramientas se definen creando un *Tool Change*, apareciendo en el árbol de procesos y agrupando las operaciones que se realicen con esta herramienta. Dentro del menú, aparecen distintos parámetros a configurar como ya se explicó en capítulos anteriores. Los cambios de herramienta se generan automáticamente al seleccionar la herramienta en cada operación de mecanizado.

La primera herramienta (T1), presenta un porta-herramientas vertical, se usa para el mecanizado exterior: refrentado y cilindrado. La herramienta de corte será en forma de diamante, con radio de punta de 0.8. Se muestran en la siguiente figura los parámetros seleccionados en CATIA para esta herramienta.

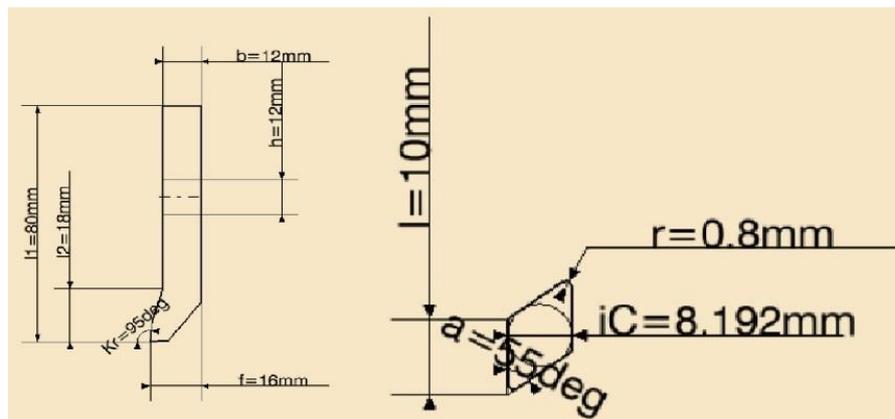


Figura 4.14 Porta-herramientas vertical y herramienta

La siguiente herramienta (T4) es un taladro con diámetro de 17 mm (figura 4.15). Por último, para el mecanizado interior se usa un porta-herramientas horizontal (T6) con la misma herramienta de corte que para operaciones de mecanizado exterior (figura 4.16).

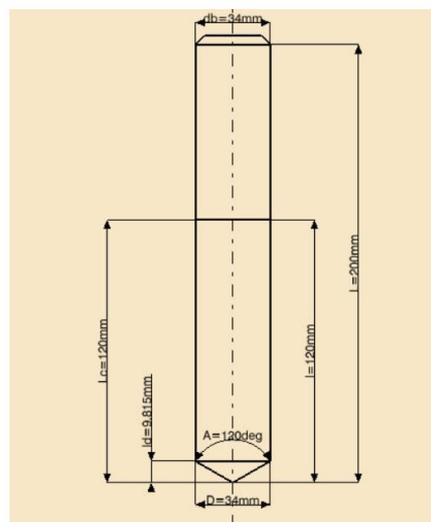


Figura 4.15 Taladro

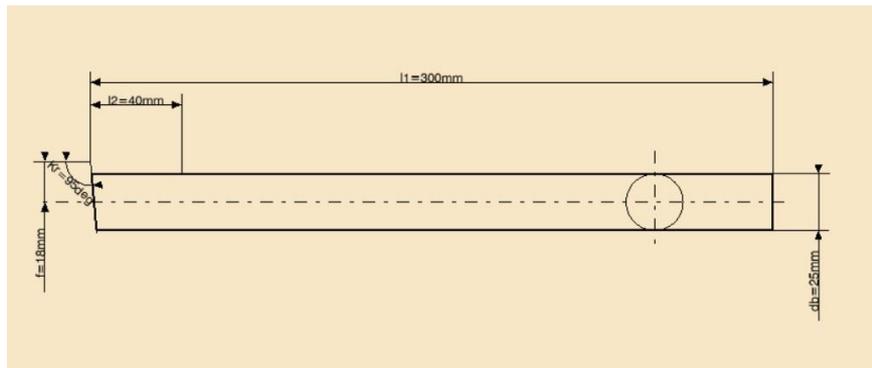


Figura 4.16 Porta-herramientas horizontal

4.3.3 Mecanizado

La pieza de partida o preforma es un cilindro de 100 mm de diámetro y 30 mm de alto. El mecanizado se realiza en dos fases, según se hace el montaje de la pieza, constanding cada una de ellas de distintas operaciones.

4.3.3.1 Primera fase

En la primera fase se mecaniza la parte superior de la pieza. Accediendo al *Part Operation* que aparece en el árbol PPR se modifican las propiedades, donde se incluye el tipo de torno. Es importante seleccionar correctamente el origen definido en el modelado de la pieza y la dirección de los ejes.

- Taladro. Es la primera operación de mecanizado que se realiza, pues facilita el mecanizado interior en las operaciones posteriores. El taladro se lleva a cabo con la herramienta T4, previamente definida.

Tendrá un diámetro de 17 mm y la profundidad de la pieza, 30mm. Con el fin de simular el movimiento de la herramienta definido en el código, pueden utilizarse macros. En este caso no es necesario su empleo, pues la opción *Drilling* presenta dos parámetros que definen la distancia desde donde se inicia el movimiento (*Approach clearance*) y hasta donde llega la herramienta al ser un taladro pasante (*Breakthrough*).

Del código se extraen estas distancias siendo de 7 mm y 2 mm respectivamente, así como las velocidades de giro del husillo 850 rpm y el avance de 5 mm/rev. En la siguiente imagen se muestra la trayectoria que sigue la herramienta en la operación de taladrado, así como el resultado de la simulación de esta primera operación. El código APT resultante de la operación de taladrado es el siguiente:

```
LOADTL/4,1
SPINDL/ 850.0000,RPM,CLW
RAPID
GOTO / 0.00000, 0.00000, 10.00000
FEDRAT/ 5.0000,MMPR
GOTO / 0.00000, 0.00000, 7.00000
FEDRAT/ 0.1000,MMPR
GOTO / 0.00000, 0.00000, -41.81495
RAPID
GOTO / 0.00000, 0.00000, 7.00000
```

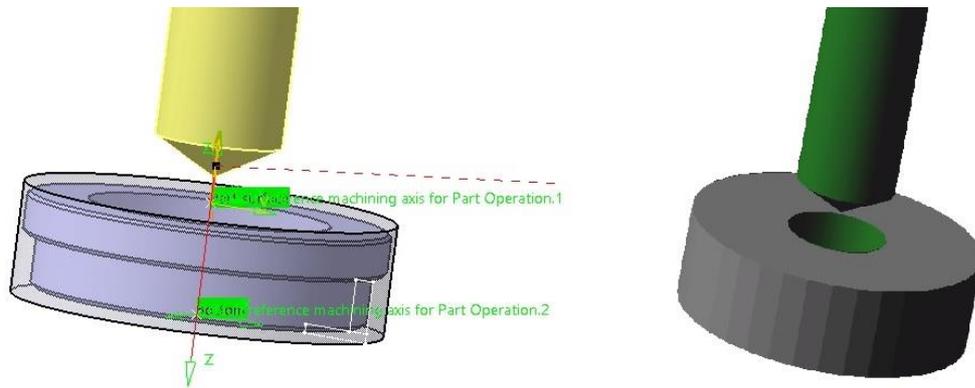


Figura 4.17 Primera fase pieza 2: taladro

Mediante WinPost, se procesa este código para convertirlo a lenguaje ISO, mostrado a continuación. Este difiere del código original en ciertas líneas que pueden ser introducidas manualmente. Al cotejar el código ISO obtenido con el original, lo que se debe comprobar es que ambas instrucciones mecanicen exactamente la misma parte de la pieza, no siendo relevante la trayectoria de aproximación y de retirada de la herramienta. En la mayoría de los casos, estos movimientos de transición no van a coincidir con los indicados en el código original, a pesar de haber intentado aproximarlos incluyendo distintos macros en las operaciones de mecanizado y configurando los ángulos y distancias de entrada y salida de las herramientas en la zona a mecanizar.

```

N0005 G57
N0010 T0400
N0015 S850 M03
N0020 G00 X0.000 Y0.000 Z10.000
N0025 G01 X0.000 Z7.000 F5.000
N0030 G01 X0.000 Z-41.815 F0.100
N0035 G00 X0.000 Z7.000
N0040 G18

```

La zona mecanizada es la misma, a diferencia de que en este caso la herramienta avanza más en la dirección Z. La primera línea de código no aparece, no siendo relevante este hecho pues puede introducirse a mano, al ser siempre líneas referentes al posicionamiento del punto de cambio de herramienta.

Puede observarse que se ha obviado el uso de refrigerante a pesar de que este aparece en el código original. Se ha hecho así pues en la práctica, al fabricar una pieza en el taller, la activación del lubricante se hace manualmente cuando resulte necesario.

- Refrentado. La pieza tiene un exceso de material en la cara superior de 2.5 mm que será eliminado en esta fase. Para todas las operaciones de mecanizado exterior se emplea la herramienta T1.

Se realizan dos pasadas: una de desbaste de 1.5 mm de profundidad y otra de acabado eliminando el milímetro restante. Para la pasada de desbaste se supone constante la velocidad de giro del husillo de valor 225 rpm, mientras que se considera un avance de 0.2 mm/rev. Para la pasada de acabado se reduce el avance a 0.15 mm/rev.

Para definir la pasada de desbaste se seleccionan el *Stock* y la pieza, indicándole un *Axial Part offset* de 1 mm, que será eliminado en la siguiente pasada.

En la figura 4.18 se pueden observar las trayectorias de la herramienta y la zona a mecanizar para las pasadas de desbaste y acabado.

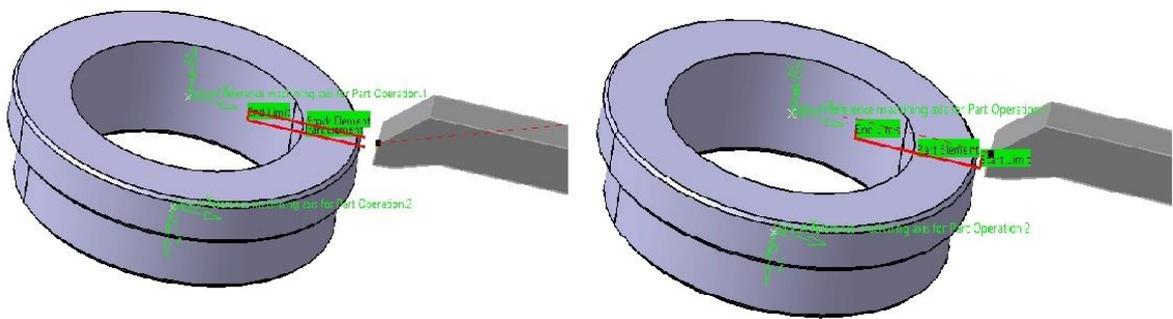


Figura 4.18 Primera fase pieza 2: refrentado (desbaste y acabado)

Se obtiene el código APT correspondiente a esta segunda fase y seguidamente se muestra esta misma secuencia en lenguaje ISO.

```

LOADTL/1,1,1
SWITCH/3
SPINDL/ 225.0000,SFM,CCLW
RAPID
GOTO / 51.00000, 0.00000, -1.50000
FEDRAT/ 0.3000,MMPR
GOTO / 50.00000, 0.00000, -1.50000
FEDRAT/ 0.2000,MMPR
GOTO / 15.40000, 0.00000, -1.50000
FEDRAT/ 0.3000,MMPR
GOTO / 15.40000, 0.00000, 2.00000

SPINDL/ 225.0000,SFM,CCLW
RAPID
GOTO / 51.40000, 0.00000, -2.50000
FEDRAT/ 0.3000,MMPR
GOTO / 48.40000, 0.00000, -2.50000
FEDRAT/ 0.2000,MMPR
GOTO / 12.40000, 0.00000, -2.50000
FEDRAT/ 0.3000,MMPR

```

```
GOTO / 12.40000, 0.00000, 0.50000
RAPID
GOTO / 13.90000, 0.00000, 0.50000
```

```
N0045 T0100
N0050 S225 M03
N0055 G00 X102.000 Y0.000 Z-1.500
N0060 G01 X100.000 Z-1.500 F0.300
N0065 G01 X30.800 Z-1.500 F0.200
N0070 G01 X30.800 Z2.000 F0.300
N0075 S225 M03
N0080 G00 X102.800 Z-2.500
N0085 G01 X96.800 Z-2.500 F0.300
N0090 G01 X24.800 Z-2.500 F0.200
N0095 G01 X24.800 Z0.500 F0.300
N0100 G00 X27.800 Z0.500
```

En principio no se tuvo en cuenta la compensación de la herramienta en CATIA, pero al generar el código y postprocesarlo a código ISO se observó que la X que mecaniza en cada pasada de refrentado no se correspondía con el código original, siendo la diferencia el radio de la herramienta de valor 0.8. Este hecho se solventó definiendo la compensación de tipo P3 para la herramienta de mecanizado exterior T1.

- Cilindrado exterior y bisel.

Al ser poco el material que se elimina, se realiza en una sola pasada, empleando la opción *Profile Finish Turning*. Se define el perfil a mecanizar, siendo en este caso el bisel exterior y el cilindrado de profundidad 1.25 mm paralelo al eje de revolución y con una longitud de 13 mm. La velocidad de guro del husillo es de 225 rpm mientras que el avance es de 0.15 mm/rev.

Se presenta en la siguiente imagen la selección del perfil a mecanizar sobre la pieza así como la evolución del mecanizado hasta el momento:

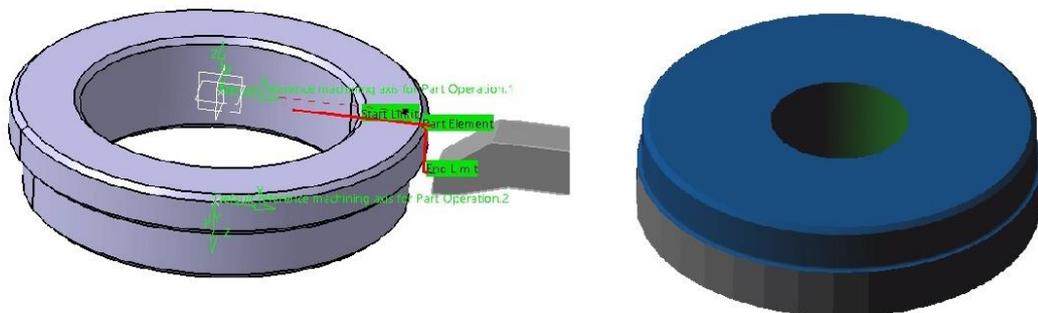


Figura 4.19 Primera fase pieza 2: cilindrado y bisel

El código APT resultante de la operación de mecanizado exterior es el siguiente:

```
SPINDL/ 225.0000, SFM, CCLW
```

```

RAPID
GOTO / 43.76005, 0.00000, 0.52132
FEDRAT/ 0.3000,MMPR
GOTO / 45.88137, 0.00000, -1.60000
FEDRAT/ 0.2000,MMPR
GOTO / 48.51569, 0.00000, -4.23431
INTOL / 0.02500
OUTTOL/ 0.00000
AUTOPS
INDIRV/ 0.70711, 0.00000, -0.70711
TLON,GOFWD/ (CIRCLE/47.95000, 0.00000, -4.80000,$
0.80000),ON,(LINE/ 47.95000, 0.00000, -4.80000,$
48.75000, 0.00000, -4.80000)
GOTO / 48.75000, 0.00000, -15.50000
FEDRAT/ 0.3000,MMPR
GOTO / 51.75000, 0.00000, -15.50000

```

Una vez postprocesado, se tiene el siguiente código ISO :

```

N0105 S225 M03
N0110 G00 X87.520 Z0.521
N0115 G01 X91.763 Z-1.600 F0.300
N0120 G01 X97.031 Z-4.234 F0.200
N0125 G03 I-1.131 J0.000 X97.500 Y0.000
N0130 G01 X97.500 Z-15.500
N0135 G01 X103.500 Z-15.500 F0.300

```

Al cotejar el código ISO obtenido con el original, la principal diferencia que se aprecia es la forma de mecanizar el bisel. El perfil a mecanizar contiene la línea que define al bisel más la del cilindrado exterior. En este caso, al realizar ambas operaciones a la vez, la transición del mecanizado del bisel al cilindrado queda definido por un movimiento circular G03.

- Cilindrado interior y bisel

Como última operación de la primera fase se realiza el mecanizado interior. Este consistirá en un cilindrado que elimina 15 mm de profundidad paralelos al eje de revolución y un bisel de 1.5x45°. Para estas operaciones se precisa de un cambio de herramienta, seleccionando la herramienta T6 para mecanizado interior. Para las herramientas de mecanizado interior se define la compensación de tipo P1, para que en el código aparezca la trayectoria de la punta de la herramienta en lugar de la de centro. Según indica el código, se procede con varias pasadas de desbaste y una de acabado, donde se elimina el material correspondiente al bisel. En las pasadas de desbaste viene especificado el movimiento de retirada de la herramienta, pudiendo definirse en el menú de la operación parámetros como el ángulo de salida con un valor de 45°, o la distancia de 3mm.

Se mantendrá una velocidad de 140 rpm para el husillo y 1.5mm/rev para el avance.

En la figura 4.20 se observa la operación de cilindrado realizada en distintas pasadas y en la segunda imagen el mecanizado del bisel interior.

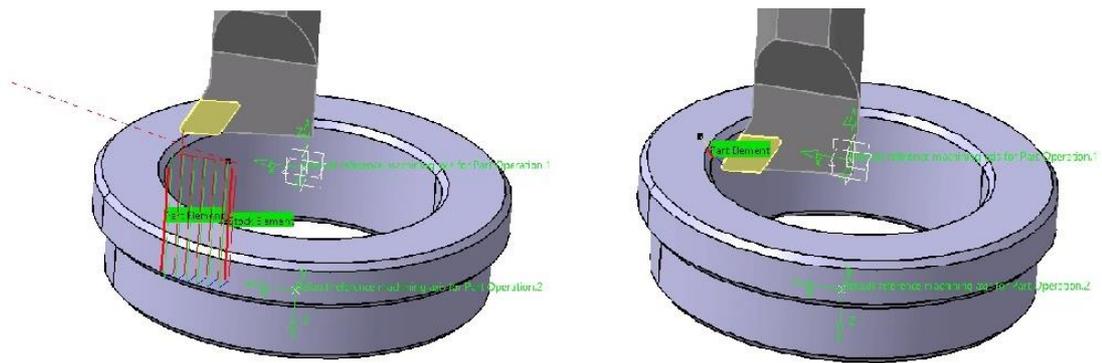


Figura 4.20 Primera fase pieza 2: mecanizado interior

Para estas operaciones de mecanizado interior, se obtiene el siguiente código APT:

```

SPINDL/ 140.0000,SFM,CCLW
RAPID
GOTO / 18.91667, 0.00000, -0.20000
FEDRAT/ 0.2000,MMPR
GOTO / 18.91667, 0.00000, -32.00000
FEDRAT/ 0.3000,MMPR
GOTO / 16.79535, 0.00000, -29.87868
RAPID
GOTO / 16.79535, 0.00000, -0.20000
RAPID
GOTO / 21.53333, 0.00000, -0.20000
FEDRAT/ 0.2000,MMPR
GOTO / 21.53333, 0.00000, -32.00000
FEDRAT/ 0.3000,MMPR
GOTO / 19.41201, 0.00000, -29.87868
RAPID
GOTO / 19.41201, 0.00000, -0.20000
RAPID
GOTO / 24.15000, 0.00000, -0.20000
FEDRAT/ 0.2000,MMPR
GOTO / 24.15000, 0.00000, -32.00000
FEDRAT/ 0.3000,MMPR
GOTO / 22.02868, 0.00000, -29.87868
RAPID
GOTO / 22.02868, 0.00000, -0.20000
RAPID
GOTO / 26.76667, 0.00000, -0.20000
FEDRAT/ 0.2000,MMPR
GOTO / 26.76667, 0.00000, -32.00000
FEDRAT/ 0.3000,MMPR
GOTO / 24.64535, 0.00000, -29.87868
RAPID
GOTO / 24.64535, 0.00000, -0.20000
RAPID
GOTO / 29.38333, 0.00000, -0.20000
FEDRAT/ 0.2000,MMPR
    
```

```

GOTO / 29.38333, 0.00000, -32.00000
FEDRAT/ 0.3000,MMPR
GOTO / 27.26201, 0.00000, -29.87868
RAPID
GOTO / 27.26201, 0.00000, -0.20000
RAPID
GOTO / 32.00000, 0.00000, -0.20000
FEDRAT/ 0.2000,MMPR
GOTO / 32.00000, 0.00000, -32.00000
FEDRAT/ 0.3000,MMPR
GOTO / 29.87868, 0.00000, -29.87868
RAPID
GOTO / 29.87868, 0.00000, 5.12132

SPINDL/ 140.0000, SFM, CCLW
RAPID
GOTO / 34.76363, 0.00000, -0.61299
FEDRAT/ 0.3000,MMPR
GOTO / 32.64231, 0.00000, -2.73431
FEDRAT/ 0.2000,MMPR
GOTO / 30.63431, 0.00000, -4.74231
FEDRAT/ 0.3000,MMPR
GOTO / 28.51299, 0.00000, -6.86363

```

Y a continuación, el correspondiente código ISO :

```

N0140 T0600
N0145 S140 M03
N0150 G00 X37.833 Y0.000 Z-0.200
N0155 G01 X37.833 Z-32.000 F0.200
N0160 G01 X33.591 Z-29.879 F0.300
N0165 G00 X33.591 Z-0.200
N0170 G00 X43.067 Z-0.200
N0175 G01 X43.067 Z-32.000 F0.200
N0180 G01 X38.824 Z-29.879 F0.300
N0185 G00 X38.824 Z-0.200
N0190 G00 X48.300 Z-0.200
N0195 G01 X48.300 Z-32.000 F0.200
N0200 G01 X44.057 Z-29.879 F0.300
N0205 G00 X44.057 Z-0.200
N0210 G00 X53.533 Z-0.200
N0215 G01 X53.533 Z-32.000 F0.200
N0220 G01 X49.291 Z-29.879 F0.300
N0225 G00 X49.291 Z-0.200
N0230 G00 X58.767 Z-0.200
N0235 G01 X58.767 Z-32.000 F0.200
N0240 G01 X54.524 Z-29.879 F0.300
N0245 G00 X54.524 Z-0.200
N0250 G00 X64.000 Z-0.200
N0255 G01 X64.000 Z-32.000 F0.200
N0260 G01 X59.757 Z-29.879 F0.300
N0265 G00 X59.757 Z5.121

N0270 S140 M03
N0275 G00 X69.527 Z-0.613

```

```

N0280 G01 X65.285 Z-2.734 F0.300
N0285 G01 X61.269 Z-4.742 F0.200
N0290 G01 X57.026 Z-6.864 F0.300
N0295 M30

```

En la fase de desbaste, se ha conseguido simular con gran precisión el movimiento de la herramienta definido en el código original. La única diferencia reside en el número de pasadas y la profundidad de cada una. En el código obtenido se realizan un total de 6 pasadas eliminando 1.9165 mm de material en la primera pasada y 2.6165 mm en el resto, en cambio en el original se definen 5 pasadas de 3 mm.

En las últimas líneas se realiza la pasada de acabado, siendo el perfil a mecanizar la línea que define el bisel. Los códigos obtenidos realizan esta operación de mecanizado de la misma forma que queda definido en los documentos de partida, empleando funciones de movimiento rápido G00 y de corte G01.

4.3.3.2 Segunda fase

Una vez esté mecanizada la parte superior de la pieza, se saca de la mordaza y se coloca por la otra cara, para poder mecanizar la parte restante. En CATIA, se procede creando un nuevo *Part Operation* asignándole en este caso el Origen 2. El resto de propiedades serán las mismas que en el primer caso.

Según se vayan definiendo las operaciones, irán apareciendo agrupadas en los cambio de herramientas dentro del *Manufacturing Program* definido para la segunda fase.

- Refrentado. Se hará de la misma forma que en la primera fase, comenzando por una pasada de desbaste seguida de una de acabado. Las velocidad de giro del husillo no se modifica, aunque si se aumenta la velocidad de avance, siendo en este caso de 0.25 mm/rev para la pasada de desbaste y 0.2 mm/turn para la de acabado.

En la figura 4.21 aparecen la zona a mecanizar así como la trayectoria de la herramienta para las pasadas de desbaste y acabado que componen el refrentado de esta segunda fase.

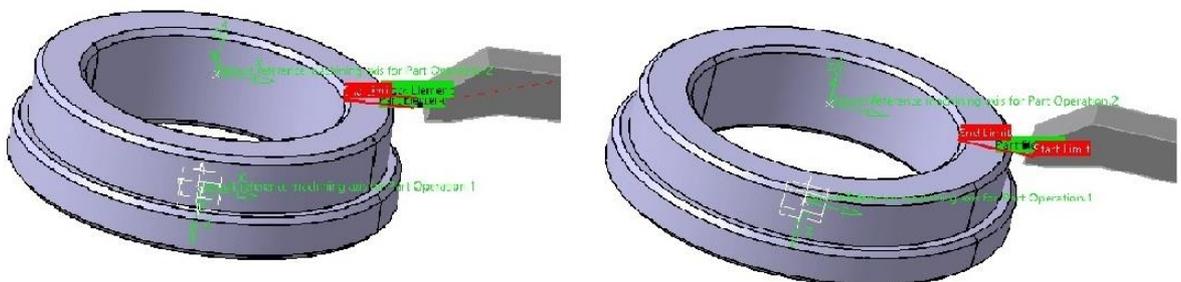


Figura 4.21 Segunda fase pieza 2: refrentado (desbaste y acabado)

El código APT que resulta de esta fase es el siguiente:

```

SPINDL/ 225.0000, SFM, CCLW
RAPID
GOTO / 51.00000, 0.00000, -1.50000
FEDRAT/ 0.3000, MPR
GOTO / 50.00000, 0.00000, -1.50000
FEDRAT/ 0.2000, MPR
GOTO / 30.40000, 0.00000, -1.50000
FEDRAT/ 0.3000, MPR
GOTO / 30.40000, 0.00000, 1.50000

SPINDL/ 225.0000, SFM, CCLW
RAPID
GOTO / 52.20000, 0.00000, -2.50000
FEDRAT/ 0.3000, MPR
GOTO / 49.20000, 0.00000, -2.50000
FEDRAT/ 0.2000, MPR
GOTO / 31.20000, 0.00000, -2.50000
FEDRAT/ 0.3000, MPR
GOTO / 31.20000, 0.00000, 0.50000

```

Tras el postprocesado, se obtiene en lenguaje ISO :

```

N0005 G57
N0010 T0100
N0015 S225 M03
N0020 G00 X102.000 Y0.000 Z-1.500
N0025 G01 X100.000 Z-1.500 F0.300
N0030 G01 X60.800 Z-1.500 F0.200
N0035 G01 X60.800 Z1.500 F0.300
N0040 S225 M03
N0045 G00 X104.400 Z-2.500
N0050 G01 X98.400 Z-2.500 F0.300
N0055 G01 X62.400 Z-2.500 F0.200
N0060 G01 X62.400 Z0.500 F0.300

```

El resultado obtenido es similar al refrentado realizado en la primera fase de mecanizado.

- **Mecanizado exterior.** El cilindrado exterior de 5 mm de espesor y 14 mm de longitud, paralelos al eje Z, se eliminan con dos pasadas de desbaste. La velocidad de rotación del husillo será de 225 rpm y el avance de 0.2 mm/turn. Se realiza también una pasada de acabado en la que se elimina el material de los biseles, ambos con ángulos de 45°. Para esta operación se reduce la velocidad de avance a 0.15 mm/rev.

La zona a mecanizar en las operaciones de desbaste y acabado, así como las pasadas realizadas y la trayectoria seguida por la herramienta se muestran en la siguiente figura.

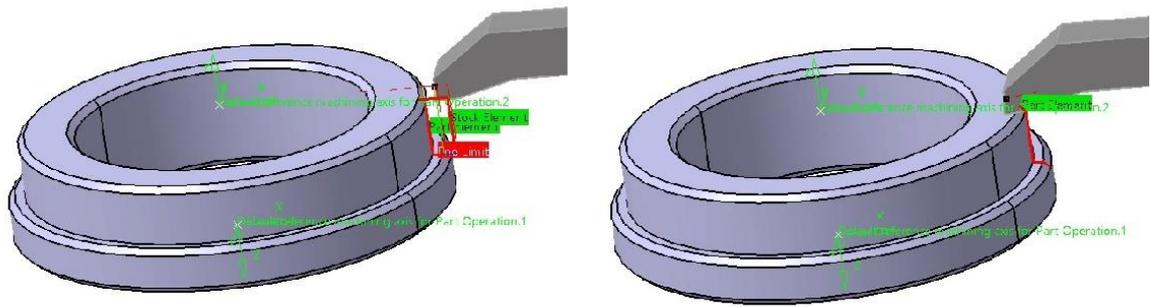


Figura 4.22 Segunda fase pieza 2: cilindrado exterior y biseles

El código APT para esta operación es el siguiente:

```

SPINDL/ 225.0000, SFM, CCLW
RAPID
GOTO / 47.50000, 0.00000, 0.50000
FEDRAT/ 0.3000, MMPR
GOTO / 47.50000, 0.00000, -2.50000
FEDRAT/ 0.2000, MMPR
GOTO / 47.50000, 0.00000, -16.50000
FEDRAT/ 0.3000, MMPR
GOTO / 50.50000, 0.00000, -16.50000
RAPID
GOTO / 50.50000, 0.00000, 0.50000
RAPID
GOTO / 45.00000, 0.00000, 0.50000
FEDRAT/ 0.3000, MMPR
GOTO / 45.00000, 0.00000, -2.50000
FEDRAT/ 0.2000, MMPR
GOTO / 45.00000, 0.00000, -16.50000
FEDRAT/ 0.3000, MMPR
GOTO / 48.00000, 0.00000, -16.50000
RAPID
GOTO / 48.00000, 0.00000, 0.50000

SPINDL/ 225.0000, SFM, CCLW
RAPID
GOTO / 41.14437, 0.00000, -0.61299
FEDRAT/ 0.3000, MMPR
GOTO / 43.26569, 0.00000, -2.73431
FEDRAT/ 0.2000, MMPR
GOTO / 44.76569, 0.00000, -4.23431
INTOL / 0.02500
OUTTOL/ 0.00000
AUTOPS
INDIRV/ 0.70711, 0.00000, -0.70711
TLON, GOFWD/ (CIRCLE/ 44.20000, 0.00000, -4.80000, $
              0.80000), ON, (LINE/ 44.20000, 0.00000, -4.80000, $
              45.00000, 0.00000, -4.80000)
GOTO / 45.00000, 0.00000, -16.50000
GOTO / 46.45000, 0.00000, -16.50000
AUTOPS
    
```

```

INDIRV/      1.00000,      0.00000,      0.00000
TLON,GOFWD/      (CIRCLE/ 46.45000,      0.00000,      -17.30000,$
      0.80000),ON,(LINE/ 46.45000,      0.00000,      -17.30000,$
      47.01569,      0.00000,      -16.73431)
GOTO /      48.51569,      0.00000,      -18.23431
FEDRAT/      0.3000,MMPR
GOTO /      50.63701,      0.00000,      -20.35563

```

Obteniéndose el correspondiente código ISO:

```

N0065 S225 M03
N0070 G00 X95.000 Z0.500
N0075 G01 X95.000 Z-2.500 F0.300
N0080 G01 X95.000 Z-16.500 F0.200
N0085 G01 X101.000 Z-16.500 F0.300
N0090 G00 X101.000 Z0.500
N0095 G00 X90.000 Z0.500
N0100 G01 X90.000 Z-2.500 F0.300
N0105 G01 X90.000 Z-16.500 F0.200
N0110 G01 X96.000 Z-16.500 F0.300
N0115 G00 X96.000 Z0.500

N0120 S225 M03
N0125 G00 X82.289 Z-0.613
N0130 G01 X86.531 Z-2.734 F0.300
N0135 G01 X89.531 Z-4.234 F0.200
N0140 G03 I-1.131 J0.000 X90.000 Y0.000
N0145 G01 X90.000 Z-16.500
N0150 G01 X92.900 Z-16.500
N0155 G03 I0.000 J0.000 X94.031 Y0.000
N0160 G01 X97.031 Z-18.234
N0165 G01 X101.274 Z-20.356 F0.300

```

En el primer bloque, se realizan las dos pasadas de cilindrado eliminando 6 mm de material en total. En el segundo bloque se realiza la pasada de acabado incluyendo los biseles, se forma que aparece en el código con funciones de corte circular G03, como se explicó anteriormente.

- Mecanizado interior. Por último, se realiza una pasada en el interior consistente en el mecanizado de un bisel de 45° junto con un cilindrado interior (véase la figura 4.23). La velocidad de avance queda fijada en 0.15 mm/rev y la velocidad de rotación del husillo en 140 rpm.

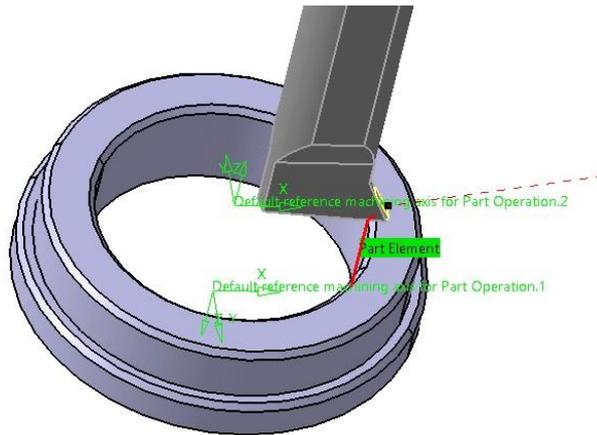


Figura 4.23 Segunda fase pieza 2: cilindrado interior y bisel

Para esta última operación se obtiene el siguiente código APT seguido del código ISO tras el postprocesado:

```

LOADTL/6,6,6
SWITCH/1
SPINDL/ 225.0000,SFM,CCLW
RAPID
GOTO / 36.36313, 0.00000, 0.98701
FEDRAT/ 0.3000,MMPR
GOTO / 34.24181, 0.00000, -1.13431
FEDRAT/ 0.2000,MMPR
GOTO / 32.74181, 0.00000, -2.63431
AUTOPS
INDIRV/ -0.70711, 0.00000, -0.70711
TLON,GOFWD/ (CIRCLE/ 33.30750, 0.00000, -3.20000,$
0.80000),ON,(LINE/ 33.30750, 0.00000, -3.20000,$
32.50750, 0.00000, -3.20000)
GOTO / 32.50750, 0.00000, -26.70000
FEDRAT/ 0.3000,MMPR
GOTO / 32.50750, 0.00000, -29.70000

```

```

N0170 T0600
N0175 S225 M03
N0180 G00 X72.726 Y0.000 Z0.987
N0185 G01 X68.484 Z-1.134 F0.300
N0190 G01 X65.484 Z-2.634 F0.200
N0195 G03 I1.131 J0.000 X65.015 Y0.000
N0200 G01 X65.015 Z-26.700
N0205 G01 X65.015 Z-29.700 F0.300
N0210 M30

```

Se observa que nuevamente aparece el mecanizado del bisel expresado con funciones de corte circular, pues el perfil definido en la operación de mecanizado incluye el cilindrado interior y el bisel.

Con esto se concluye el mecanizado de la segunda pieza estudiada en esta memoria. En la figura 4.24 se puede observar el árbol donde se muestra la secuencia completa de operaciones que han sido definidas para el mecanizado de la pieza.

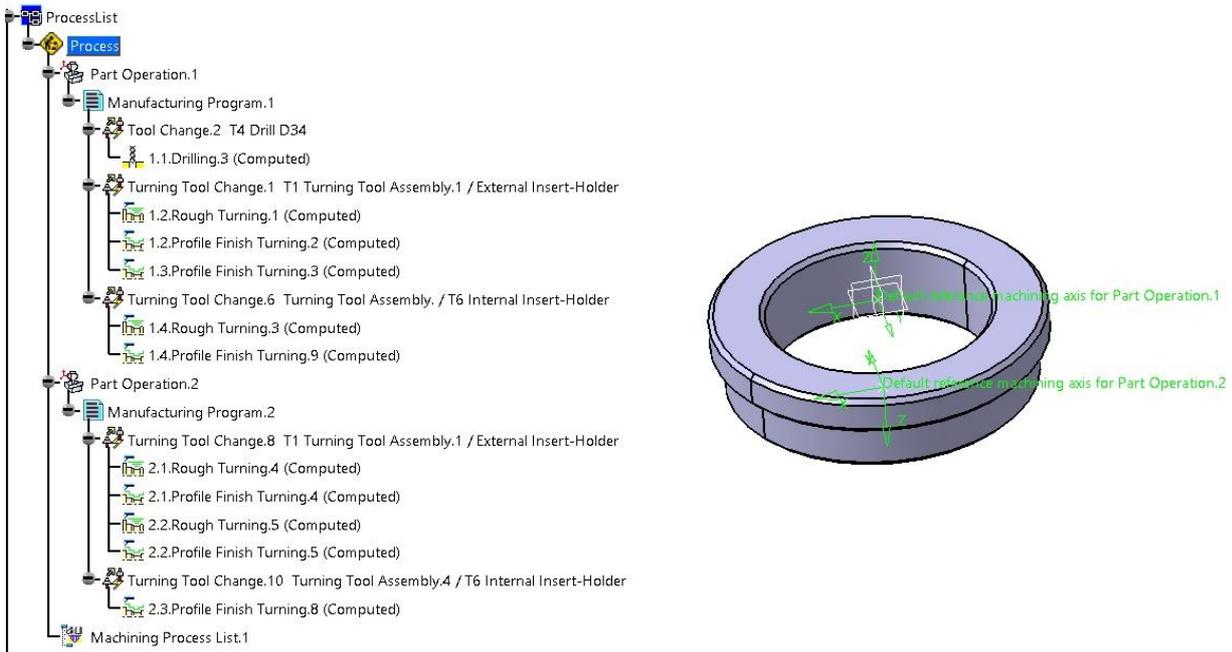


Figura 4.24 Resumen operaciones pieza 2

4.4 Pieza 3: tapa de cierre con rosca interior

Para el tercer ejemplo, se siguen las mismas pautas que en la pieza anterior. En este caso, la geometría que presenta la pieza resulta algo más compleja, al incluir un roscado interior. Igualmente, se extrae del documento el plano a partir del que se realizará el modelado de la pieza (figura 4.25).

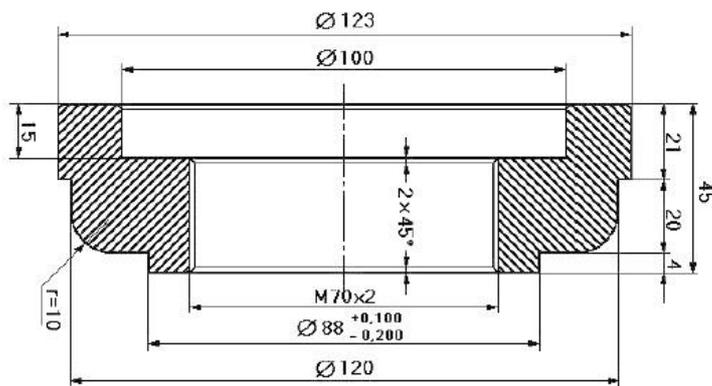


Figura 4.25 Plano pieza 2

Analizando los códigos se deduce la secuencia de operaciones de mecanizado que se quiere simular, distinguiendo de nuevo dos fases, para cada cara de la pieza. Se presenta en la siguiente tabla las operaciones de

mecanizado agrupadas por fases, junto con la herramienta empleada en cada una de ellas así como las condiciones de corte.

Primera fase de mecanizado					
Operación	Herramienta	F (mm/rev)	S (rpm)	Pasadas	Penetración (mm)
Taladro	T4	0.15	850	1	50
Refrentado	T1	0.25	220	1	2.5
Cilindrado exterior + Bisel	T1	0.1 (bisel) y 0.25(cilindrado)	220	1	1
Cilindrado interior (1) + Bisel	T6	0.2 (desbaste) y 0.15 (acabado)	140	11 (desbaste) y 1 (acabado)	33
Cilindrado interior (2) + Bisel	T6	0.2 (desbaste) y 0.15 (acabado)	140	5 (desbaste) y 1 (acabado)	16
Segunda fase de mecanizado					
Operación	Herramienta	F (mm/rev)	S (rpm)	Pasadas	Penetración (mm)
Refrentado	T1	0.25	220	1	2.5
Mecanizado exterior	T1	0.2	220	10 (desbaste) y 1 (acabado)	-
Cilindrado interior + Bisel	T6	0.15	140	1	0.75
Roscado	Herramienta	Paso de rosca (mm)		Diámetro (mm)	Longitud (mm)
	T7	2		70	25

Tabla 4.2 Operaciones de mecanizado pieza 3

4.4.1 Modelado de la pieza y preforma

La pieza de partida es un cilindro de 125 mm de diámetro y 50 mm de alto. Se realizan las operaciones de eliminación de material necesarias, según indique la secuencia de mecanizado extraída del código, realizando previamente los *Sketch* necesarios para cada paso.

Se definen los orígenes que serán punto de referencia para situar los ejes de mecanizado en cada fase. En el ejemplo anterior, estos ejes estaban situados sobre la preforma, por lo que en todos los puntos de la preforma

tenían coordenada Z negativa. En este caso, el código indica que el origen está situado sobre la pieza, por lo que los 2.5 mm de material sobrante que quedan por encima de este, tendrán coordenada Z positiva.

La complejidad que añade este ejemplo reside en el roscado. Para modelar esto, es necesario crear un perfil en el módulo *Wireframe and Surface Design*, donde con la opción *Helix* se creará la curva que seguirá el perfil para el roscado. En esta se indica la altura y el paso de la hélice, siendo de 1.4, según indica el código. En un *Sketch* perteneciente a un plano normal a la curva se dibuja el perfil que tendrá la rosca. Por último, con la opción *Slot*, se crea el roscado indicando la curva que debe seguir y el perfil, así como el eje Z.

Finalmente, se obtiene en CATIA la pieza del ejemplo 2 que se quiere modelar, mostrada en la siguiente figura:

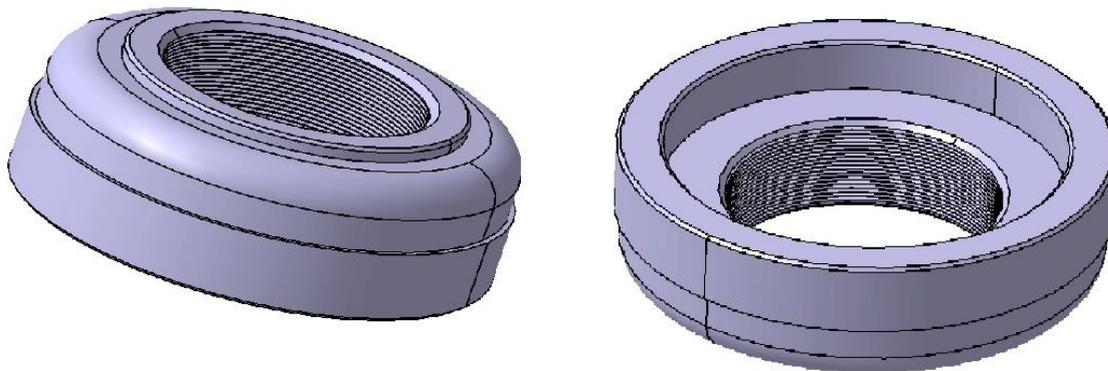


Figura 4.26 Modelo pieza 3

4.4.2 Herramientas empleadas

Las herramientas para taladrado, mecanizado exterior y mecanizado interior serán las mismas que para el ejemplo uno, siendo T4, T1 y T6 respectivamente. Como se pudo observar en la tabla resumen con las operaciones de mecanizado, este ejemplo incluye una nueva herramienta para el roscado.

Esta herramienta T8, mostrada en la figura 4.27, se define para la última operación de mecanizado, apareciendo en el *Resource List*, así como en el árbol PPR como un cambio de herramienta.

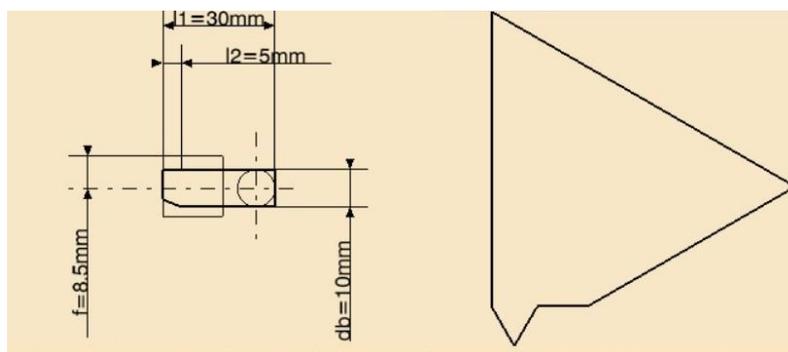


Figura 4.27 Porta-herramientas horizontal y herramienta de roscado ISO

4.4.3 Mecanizado

El mecanizado de la pieza se realiza en dos fases, de la misma forma que se explicó en el ejemplo anterior. Se exponen a continuación las dos fases con las operaciones que incluyen. En este caso no se van a presentar los códigos para cada operación pues ya se ha comprobado que el método empleado para el postprocesado de la información es válido y proporciona unas instrucciones correctas para la fabricación de la pieza.

4.4.3.1 Primera fase

Se modifican las propiedades del *Part Operation* definiendo el tipo de torno, el origen de mecanizado de esta fase, punto de cambio de herramienta, la pieza y la preforma.

- Taladro. Se realiza para facilitar las operaciones posteriores de mecanizado interior. Es un taladro pasante de diámetro 17 mm realizado con la herramienta T4 en el centro de la pieza. Para simular los movimientos de la herramientas que indica el código, se modifican los parámetros de *Approach clearance* y *Breakthrough*, dándole a ambos un valor de 2.5 mm. De esta forma, la herramienta debe recorrer un total de 30 mm. Se define también en esta operación un *Approach* de valor 5 mm.

La velocidad de rotación del husillo se supone constante y de valor 850 rpm y la velocidad de avance será de 0.15 mm/rev. En la siguiente figura puede observarse la trayectoria que sigue la herramienta.

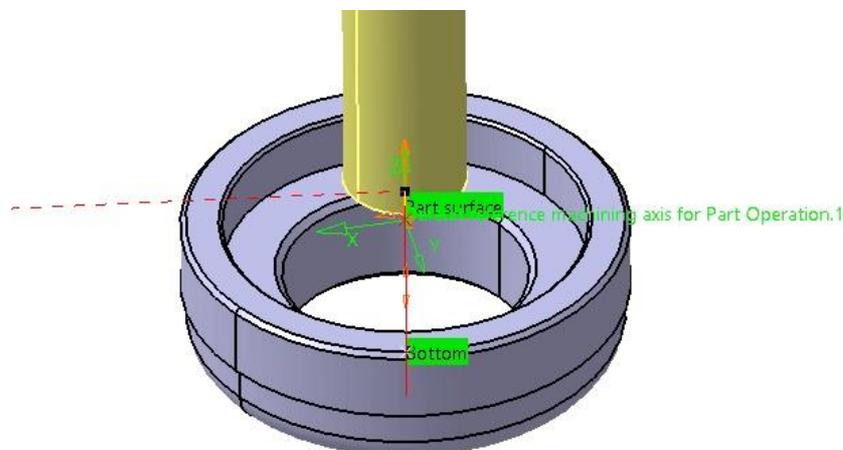


Figura 4.28 Primera fase pieza 2: taladro

- Refrentado. Se crea un cambio de herramienta para el mecanizado exterior, siendo esta la misma que se definió en el ejemplo 1 (T1). En esta operación se lleva a cabo el mecanizado de la cara $Z=0$ de la preforma eliminando 2.5 mm de material en una sola pasada. No es necesario que la herramienta llegue al centro pues se ha realizado previamente un taladrado. El perfil a mecanizar puede observarse en la figura 6.20. Las velocidades serán de 220 rpm para la velocidad del husillo y 0.25 mm/rev para la velocidad de avance.

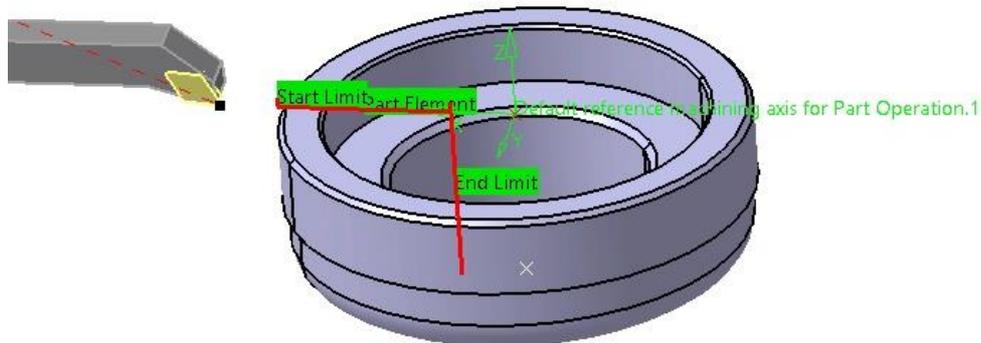


Figura 4.29 Primera fase pieza 3: refrentado.

- Cilindrado exterior + Bisel. Se realiza en una única pasada de acabado donde el perfil a mecanizar (figura 4.30) incluye el bisel de $1 \times 45^\circ$ y el cilindrado exterior de 1 mm de profundidad paralelo al eje de revolución. Se define una distancia de entrada de la herramienta (*Lead-in distance*) de 16 mm. La velocidad de rotación del husillo toma un valor de 220 rpm y la velocidad de avance de 0.25 mm/rev.

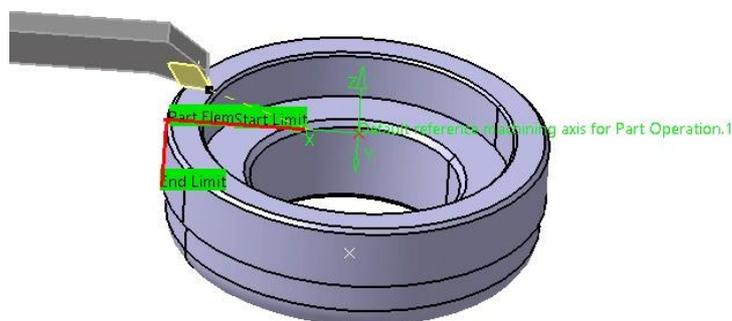


Figura 4.30 Primera fase pieza 3: Cilindrado exterior y bisel.

- Cilindrado interior (1) + Bisel. Se realiza un cambio de herramienta para poder llevar a cabo el mecanizado interior, definiendo en este caso la misma herramienta T6 que en el ejemplo 1. Se procede primero con el cilindrado de mayor diámetro, donde se mecanizan 33 mm paralelos al eje de revolución en diferentes pasadas, cada una de ellas con un recorrido de 15 mm (véase la figura 4.31). En esta fase de desbaste se ha definido un *Radial Part Offset* de 1 mm que serán eliminados en la última pasada. Finalmente se realiza una pasada de acabado donde se mecaniza el bisel y el material sobrante de la fase anterior. En ambas operaciones se tiene una velocidad de rotación del husillo de 140 rpm y una velocidad de avance de 0.2 mm/rev en el caso de desbaste y 0.15 mm/rev para el acabado.

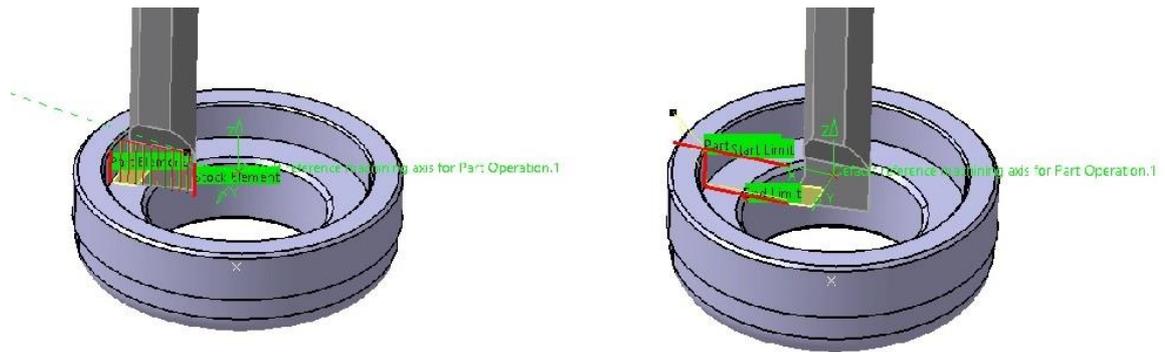


Figura 4.31 Primera fase pieza 3: Cilindrado interior (1) y bisel

- Cilindrado interior (2) + Bisel. A continuación se realiza el cilindrado de menor diámetro, eliminando 16 mm de material en varias pasadas. Se realiza una última pasada de desbaste donde se incluye el bisel en la zona a mecanizar. Las condiciones de corte son las mismas que en la operación anterior. En la figura mostrada a continuación puede observarse la trayectoria de la herramienta seguida en esta operación.

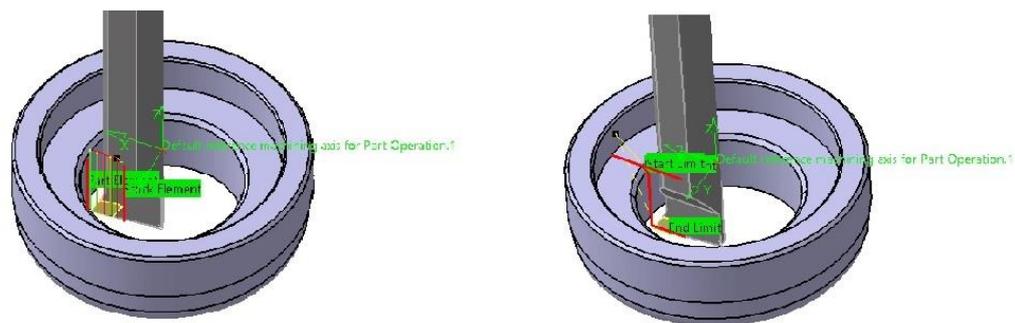


Figura 4.32 Primera fase pieza 3: Cilindrado interior (2) y bisel

4.4.3.2 Segunda fase

Se coloca la pieza al revés en la mordaza para continuar con el mecanizado de la zona restante.

- Refrentado. Se eliminan 2.5 mm de material de esta cara. Tanto las condiciones de corte como la herramienta empleada es igual a lo definido en el refrentado de la fase 1.
- Mecanizado exterior. En este caso, no es un cilindrado paralelo al eje Z como se ha tratado hasta el momento. La zona a mecanizar es circular y presenta un bisel. Se realizan varias pasadas de desbaste eliminando la mayor parte del material y por último una pasada de acabado donde el perfil a mecanizar incluye todo el contorno circular y el bisel. La velocidad de rotación del husillo se mantiene en 220 rpm y el avance se considera de 0.15 mm/rev.
- Cilindrado interior + Bisel. Antes de realizar el roscado, es necesario eliminar una última capa de material con un cilindrado interior. Se realiza en una pasada de acabado donde se aprovecha para realizar

el mecanizado del bisel. La velocidad de giro del husillo sera de rpm y la velocidad de avance 0.15 mm/rev.

- Roscado. Como última operación para finalizar el mecanizado de esta pieza, se lleva a cabo un roscado interior de la zona que ha sido mecanizada previamente. Para ello, es necesario realizar un nuevo *Tool Change* definiendo la herramienta T8 mostrada anteriormente. Se elige un perfil tipo ISO con una longitud de la zona roscada de 25 mm y un paso de 2 mm. Para esta operación se define una velocidad de giro del husillo de 520 rpm.

Como resumen de los procesos que componen el mecanizado de la pieza 2 se muestran a continuación varias capturas con la evolución de la pieza para las dos fases del mecanizado:



Figura 4.33 Resumen fase 1 de mecanizado de la pieza 3.



Figura 4.34 Resumen fase 2 de mecanizado de la pieza 3.

4.5 Pieza 4: conector de geometría compleja

La pieza que se estudia en este ejemplo presenta una geometría más compleja que en los casos anteriores, pues además de incluir un roscado exterior, requiere de una operación de ranurado.

En la siguiente figura se muestra el plano que servirá para el modelado de la pieza y que ha sido extraído de los documentos de partida.

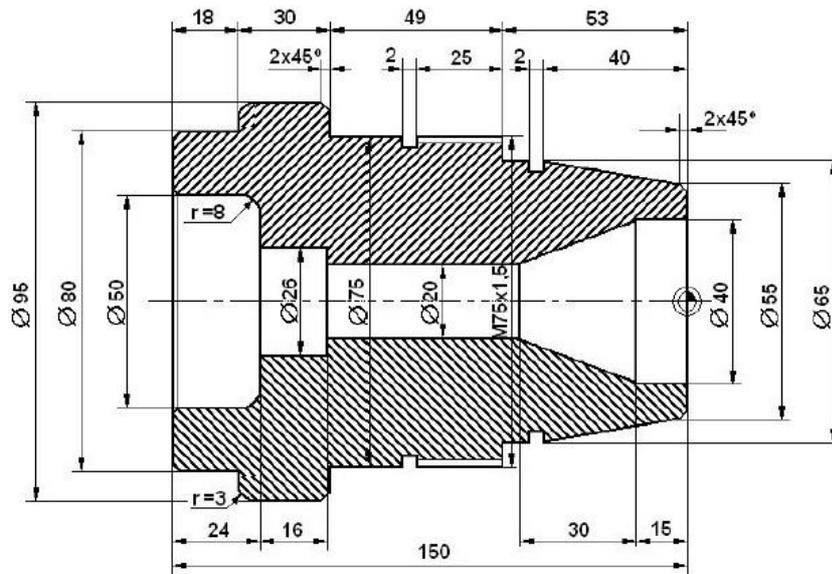


Figura 4.35 Plano pieza 3

Se presenta a continuación una tabla resumen cuyo contenido ha sido extraído de los códigos de mecanizado. Se distinguen las dos fases de mecanizado con las respectivas operaciones y condiciones de corte.

Primera fase de mecanizado					
Operación	Herramienta	F (mm/rev)	S (rpm)	Pasadas	Penetración (mm)
Taladro	T2	0.2	400	1	87.5
Refrentado	T1	0.2	225	1	2.5
Cilindrado exterior (1)	T1	0.1	225	2	2.5
Cilindrado exterior (2)	T1	0.1	225	3	7.5
Cilindrado exterior bisel y curva	T6	0.1	225	1	-
Cilindrado interior (1)	T6	0.1	225	1	3
Cilindrado interior (2)	T6	0.1	225	2	4
Cilindrado interior (3)	T6	0.1	225	3	8
Cilindrado interior bisel y curva	T6	0.2	225	1	-

Segunda fase de mecanizado					
Operación	Herramienta	F (mm/rev)	S (rpm)	Pasadas	Penetración (mm)
Taladro	T2	0.2	400	1	87.5
Refrentado	T1	0.2	225	1	2.5
Cilindrado exterior (1)	T1	0.1	225	4	12.5
Bisel	T1	0.1	225	1	-
Cilindrado exterior (2)	T1	0.1	225	2	5
Cilindrado exterior (3) + Bisel	T1	0.1	225	1	-
Ranurado	T3	0.1	100	1	2
Mecanizado interior	T5	0.1	125	1	-
Roscado	Herramienta	Paso de rosca (mm)		Diámetro (mm)	Longitud (mm)
	T7	2		70	25

Tabla 4.3 Operaciones de mecanizado pieza 4

4.5.1 Modelado de la pieza y preforma

La metodología empleada para el modelado de piezas que se ha seguido hasta el momento, partía de la preforma creada por revolución y a partir de esta, se iban realizando operaciones de vaciado de material, siguiendo la misma secuencia de operaciones que posteriormente se programarían en el mecanizado.

En la práctica, se recibe ya la pieza modelada para programar a partir de ahí la secuencia de operaciones de mecanizado. Es por esta razón, que en este último ejemplo no se sigue la misma metodología empleada en las piezas anteriores. Se modela la pieza por revolución y se trabaja a partir de esta, creando en un *Sketch* las líneas que sean necesarias para definir la geometría en las operaciones de mecanizado. Se crea la preforma por revolución, siendo esta un cilindro de 100 mm de diámetro y 155 mm de alto.

En la siguiente figura se muestra el modelo de la pieza final obtenida en CATIA.

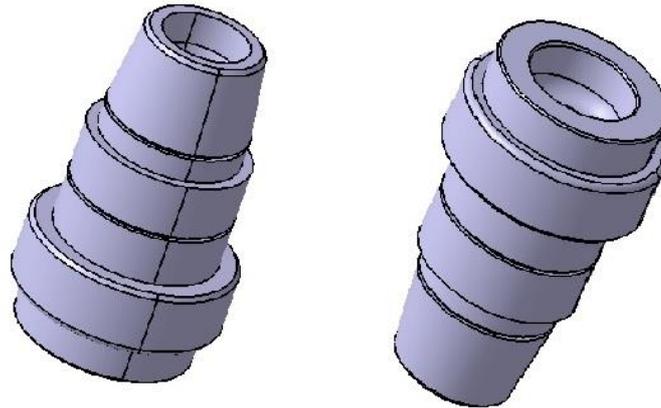


Figura 4.36 Modelo pieza 4.

4.5.2 Herramientas empleadas

En el mecanizado de la pieza se emplean operaciones de roscado, mecanizado exterior e interior, donde se utilizan las herramientas definidas hasta el momento. En este caso, el taladrado (T2) es de un diámetro menor, por lo que resulta necesario crear una nueva broca.

La peculiaridad de esta pieza es que incluye una operación de ranurado que requiere la definición de una nueva herramienta (T8). Esta tiene una parte alargada y estrecha para acceder a la zona a ranurar.

Se muestran en las siguientes figuras las herramientas nuevas definidas para este ejemplo:

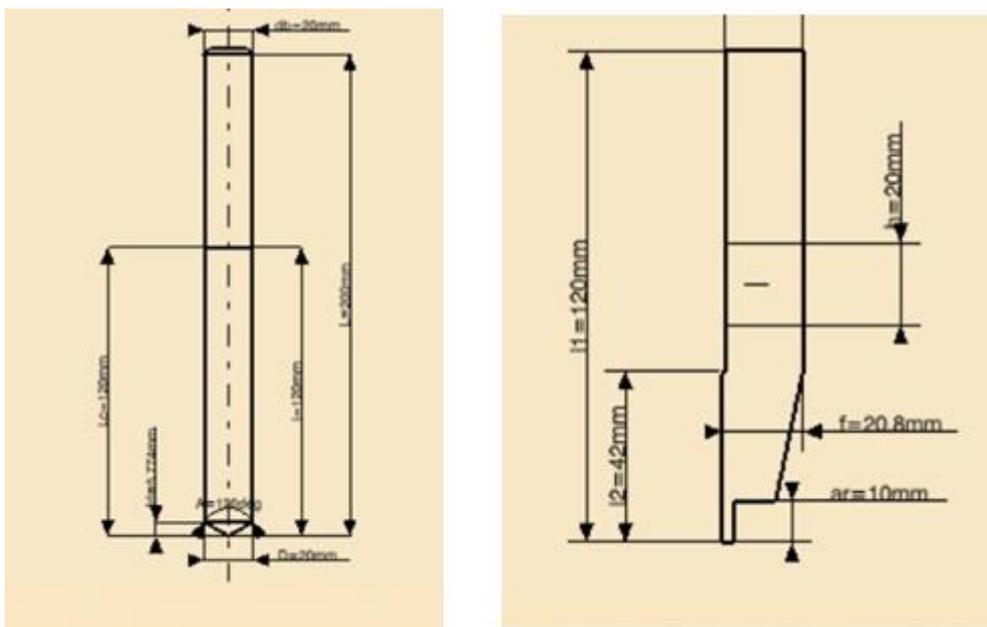


Figura 4.37 Broca de diámetro 20 mm y herramienta para ranurar

4.5.3 Mecanizado

Siguiendo el mismo procedimiento que en los ejemplos anteriores, se divide el mecanizado de esta última pieza en dos fases, dividiendo así las operaciones de mecanizado.

4.5.3.1 Primera fase

En la primera fase se mecaniza la parte más ancha de la pieza, dejando así las operaciones más novedosas para la siguiente fase.

Como en los casos anteriores, la primera operación que se realiza es el taladrado. En este caso no será pasante, definiendo una profundidad de 87.5 mm. La velocidad de rotación del husillo se fija en 400 rpm y el avance en 0.2 mm/rev.

A esto le sigue el refrentado, que se hará en una sola pasada de acabado eliminando 2.5 mm de material. Las condiciones de corte la componen una velocidad de giro del husillo de 225 rpm y un avance de 0.2 mm/rev.

El mecanizado exterior está formado por varias operaciones, siendo las condiciones de corte las mismas para todas ellas. Se indica una velocidad de rotación del husillo de 225 rpm y una velocidad de avance de la herramienta de 0.1 mm/rev.

Comienza con un cilindrado exterior que elimina, en 2 pasadas de desbaste, 2.5 mm de material paralelos al eje de revolución avanzando 48 mm en el eje Z desde la superficie de la pieza que ha sido refrentada. Después de esto se define otro cilindrado, que elimina en este caso 7.5 mm con una altura de 18 mm en 3 pasadas de desbaste.

Como última operación del mecanizado exterior se realiza una última pasada de acabado donde se especifica en el perfil a mecanizar tanto los cilindrados realizados como el chaflán y redondeado de las esquinas. Este perfil puede verse en la siguiente figura, así como la trayectoria que sigue la herramienta.

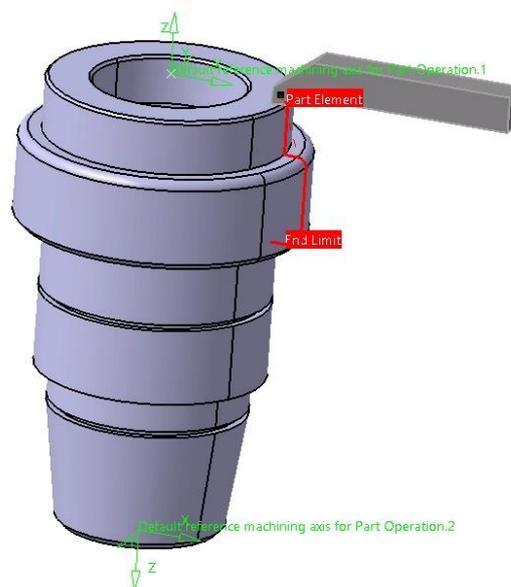


Figura 4.38 Primera fase pieza 4: mecanizado exterior

El siguiente grupo de operaciones a definir se corresponde con el mecanizado interior, por lo que es necesario especificar un cambio de herramienta. De la misma forma, se harán varios cilindrados interiores seguidos de una pasada de acabado. La velocidad de giro del husillo se fija en 225 rpm, mientras que el avance en 0.1 mm/rev.

El primer cilindrado interior tendrá un diámetro de 26 mm, mecanizando hasta una profundidad de 42.5 mm en el eje Z medidos desde el origen. Se eliminan 3 mm de material en una sola pasada.

La siguiente zona a mecanizar es algo más compleja pues presenta una zona redondeada. Se procede con un cilindrado que elimina 4 mm avanzando 26.5 mm en Z, de esta forma no se ha eliminado todavía el material correspondiente a la zona de la curva. En el siguiente cilindrado, se eliminan 8 mm de material avanzando en Z hasta 18.5. Se deja sin mecanizar la parte correspondiente a la parte curva, reservando esto para una operación de acabado junto con el chafán interior.

Se muestra en la siguiente imagen el perfil seleccionado para la pasada de acabado que mecaniza la cara interior, incluyendo el chaflán y la parte curva. Con el mecanizado interior, se daría por finalizada esta primera fase.

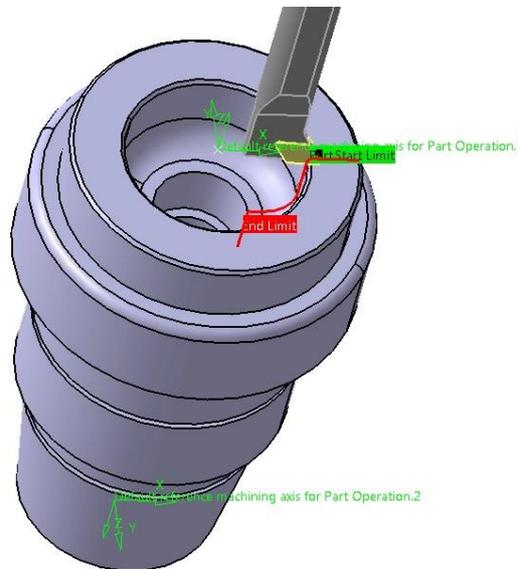


Figura 4.39 Primera fase pieza 4: mecanizado interior

4.5.3.2 Segunda fase

Se crea un nuevo *Part Operation* para realizar las operaciones que componen la segunda fase del mecanizado. Al igual que en los ejemplos anteriores, se deben elegir correctamente los ejes de mecanizado cuyo origen se ha creado al modelar la pieza.

La primera operación será un taladrado para terminar de realizar el agujero que se empezó en la fase 1 ya que, al ser la pieza tan larga, no pudo hacerse pasante. De la misma forma, le sigue una pasada de refrentado que elimina 2.5 mm de material con las mismas condiciones de operación que en la fase anterior.

A continuación se realiza un cilindrado que elimina 12.5 mm de material en 4 pasadas de desbaste. La herramienta avanza en la coordenada Z hasta 104.5 mm. Se define una quinta pasada de acabado que elimina también el material correspondiente al bisel.

Para todas las operaciones de mecanizado exterior, la velocidad de rotación del husillo toma un valor de 225 rpm y velocidad de avance de 0.2 mm/rev para operaciones de desbaste y 0.1 mm/rev en operaciones de acabado.

El siguiente cilindrado elimina 5 mm de material en una pasada de desbaste y otra de acabado. La punta de la herramienta avanza hasta una coordenada Z de 55.5 mm. Tras esto, se define una operación de acabado que mecaniza la zona superior, que presenta una disminución del diámetro. En las propiedades de la operación se indica como perfil a mecanizar la línea inclinada dibujada en el *Sketch* así como la correspondiente al bisel.

Para concluir el mecanizado exterior, faltarían por realizar el roscado exterior y los dos ranurados. Se realiza un nuevo cambio de herramienta para realizar el roscado exterior. Este tiene una longitud de 25 mm y un paso de 1.5 mm. Se define una velocidad de giro del husillo de 600 rpm.

Para el ranurado, se hace uso de la opción *Groove Finish Turning*, explicada en apartados anteriores. Se define el cambio de herramienta correspondiente y se define la zona a mecanizar. La velocidad de rotación del husillo queda establecida en 100 rpm.

Como última operación del mecanizado de la pieza 4, se define un cilindrado interior. Este se hará en una sola pasada. La velocidad de giro del husillo se fija en 225 rpm y la velocidad de avance de la herramienta en 0.15 mm/rev para operaciones de acabado.

Como resumen, se muestra a continuación la evolución del proceso desde la preforma hasta el fin de la fase (figura 4.40 y figura 4.41). De la fase 2, no se incluye la operación de ranurado pues CATIA no permite su simulación.

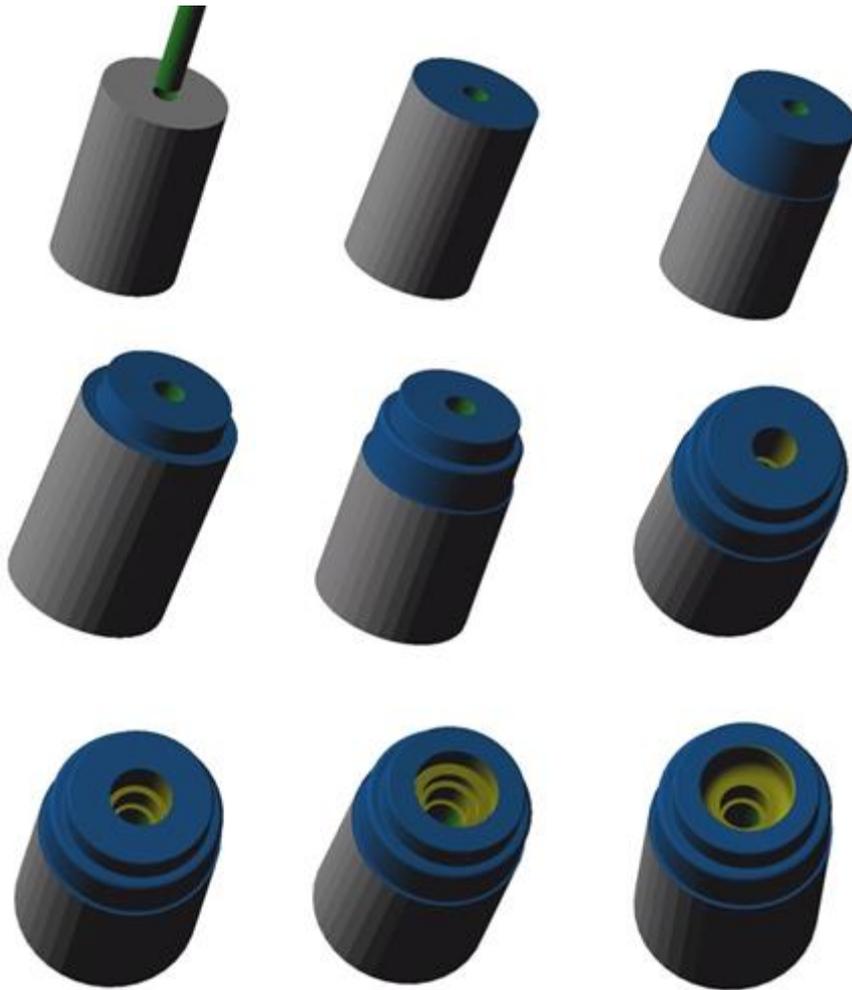


Figura 4.40 Resumen fase 1 de mecanizado de la pieza 4.



Figura 4.41 Resumen fase 2 de mecanizado de la pieza 4.

Conclusiones y líneas futuras

En este trabajo se ha desarrollado una metodología para poder fabricar piezas en el torno EMCOTURN 220 sin necesidad de programar a mano el código que controla la secuencia de operaciones. A partir del módulo *Lathe Machining* de CATIA, se diseña la secuencia de operaciones que conforman el mecanizado de la pieza y se obtiene el código en lenguaje APT.

En cuanto al modelado de la pieza, se han seguido dos metodologías diferentes, concluyendo que la más práctica es la de crear el sólido por revolución y dibujar en un *Sketch* diferente las líneas que vayan siendo necesarias para especificar la geometría en las operaciones de mecanizado.

La principal dificultad de este proyecto residía en encontrar la forma de postprocesar el código APT generado en CATIA al lenguaje ISO de la máquina. Se decidió emplear WinPost, un postprocesador gratuito que ya se había utilizado en trabajos anteriores y que ofrece la posibilidad de crear un postprocesador propio a partir de unos archivos de configuración. Se optó por empezar usando el mismo que para el centro de mecanizado EMCO VMC-200, ya que el controlador es el mismo, y adaptarlo al torno. Se ha comprobado que las funciones más comunes se postprocesan correctamente. No obstante, se han encontrado algunos errores a la hora de postprocesar las interpolaciones circulares. Se ha obviado en los códigos el uso de ciclos, presentando en lugar de éstos las líneas correspondientes a distintas pasadas.

Para salvar el inconveniente encontrado con la interpolación circular se propone corregir a mano los errores del código a la espera que WinPost publique una nueva versión con este problema solventado. A pesar de todo, WinPost puede ser de gran utilidad para usar el torno del departamento para fabricar piezas complejas a partir del modelado de los procesos de mecanizado con CATIA V5.

Como línea futura para este proyecto, se propone la creación de un postprocesador propio para esta máquina-herramienta, evitando así la dependencia de terceros. Otro posible trabajo sería llevar a la práctica el estudio realizado en este proyecto para torneear piezas. En tal caso, resultaría necesario modelar correctamente las herramientas de corte para las distintas operaciones.

Bibliografía

1. Documentación del torno: “Manual de programación EMCOTRONIC TM02 – Torneado”.
2. Documentación del torno: “Manual de operación EMCOTRONIC TM02 – Torneado”.
3. Documentación del torno: “Modo de empleo EMCOTURN 220”.
4. Manual de usuario de WinPost 0.5.X, http://5axes.free.fr/devel_WinPost.htm (último acceso: 6/11/2016).
5. Manual online “CATIA Versión 5 Release 19 User's Documentation Home Page” (CATIADOC), http://catiadoc.free.fr/CATIA_P3_homepage.htm (último acceso: 6/11/2016).
6. Manual online “CATIA Versión 5 Release 19 User's Documentation Home Page” (Maruf), http://www.maruf.ca/files/catiahelp/CATIA_P3_default.htm (último acceso: 6/11/2016).
7. Manual online “CATIA Versión 5 Release 19 User's Documentation Home Page” (CAD Family), http://www.cadfamily.com/online-help/CATIA/B20doc/English/online/CATIA_P3_default.htm (último acceso: 6/11/2016).
8. Material de clase de la asignatura “Ingeniería de Fabricación” de 4º curso del Grado de Ingeniería de las Tecnologías Industriales. Capítulo “Control Numérico por Computador”.
9. Pablo García Ortega (2015): “Modelado y simulación con CATIA V5 de operaciones de mecanizado en un torno CNC”. Proyecto fin de carrera. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla.

Anexos

Se muestran en los anexos del documento el listado completo de las funciones G y funciones M extraídas del manual de programación de la máquina.

Por otro lado, se presentan los códigos de partida así como los planos de las piezas realizadas en la sección 6. Cabe destacar que existían dos documentos donde aparecían códigos de mecanizado para una misma pieza y que, siendo diferentes, realizaban las mismas operaciones de mecanizado. Se ha elegido el que llevaba a cabo la secuencia de la forma más óptima posible.

Por último, se incluyen unas tablas comparativas de los códigos ISO y APT. Donde para una misma operación, como por ejemplo movimiento rápido, contiene el código correspondiente en ambos lenguajes.

Anexo 1: Listado de funciones G y M

Distribución en grupos y estados de puesta en marcha de las funciones G

Grupo 0	*	G00: Marcha rápida G01: Interpolación lineal G02: Interpolación circular en el sentido horario G03: Interpolación circular en el sentido antihorario G04: Tiempo de espera G33: Roscado en el registro G84: Ciclo de cilindrado / Ciclo de refrentado G85: Ciclo de roscado G86: Ciclo de ranurado G87: Ciclo de taladrado con rotura de virutas G88: Ciclo de taladrado con evacuación
Grupo 1	**	G96: Velocidad de corte constante G97: Programación directa de la velocidad de giro
Grupo 2	**	G94: Indicación del avance en mm/min (1/100 inch/min) G95: Indicación del avance en $\mu\text{m}/\text{rev}$ (1/10000 inch/rev)
Grupo 3	**	G53: Desactivación de desplazamiento 1 y 2 G54: Llamada de desplazamiento 1 G55: Llamada de desplazamiento 2
Grupo 4	*	G92: 1. Limitación de la velocidad de giro 2. Aplicar desplazamiento 5
Grupo 5	**	G56: Desactivación de desplazamiento 3, 4, 5 G57: Llamada de desplazamiento 3 G58: Llamada de desplazamiento 4 G59: Llamada de desplazamiento 5
Grupo 6	*	G25: Llamada de subprograma G26: Llamada de programas de polígonos G27: Salto incondicionado
Grupo 7	<input type="checkbox"/>	G70: Indicaciones de medidas en pulgadas G71: Indicaciones de medidas en mm
Grupo 8	**	G40: Supresión de la corrección de la trayectoria de la herramienta G41: Corrección de la trayectoria de la herramienta a la izquierda G42: Corrección de la trayectoria de la herramienta a la derecha

* Activo por registros

** Estado de puesta en marche

Estado de puesta en marcha ajustable en el modo de funcionamiento de monitor del operador (MON).

Distribución en grupos y estados de puesta en marcha de las funciones M

Grupo 0	*	M03: Husillo CONECTADO en sentido horario M04: Husillo CONECTADO en el sentido antihorario M05: PARO del husillo M19: PARO exacto del husillo
Grupo 1	**	M38: Paro exacto CONECTADO M39: Paro exacto DESCONECTADO
Grupo 2	*	M00: Paro programado M17: Final de subprograma M30: Final del programa con regreso al principio del programa
Grupo 3	**	M08: Refrigerante CONECTADO M09: Refrigerante DESCONECTADO
Grupo 5		M25: Abrir el elemento de sujeción M26: Cerrar el elemento de sujeción
Grupo 6		M20: Pinola de contrapunto retrasado M21: Pinola de contrapunto adelantado
Grupo 7	**	M23: Cubeta de recogida retrasada M24: Cubeta de recogida adelantada
Grupo 8	<input type="checkbox"/>	M50: Desactivación de la lógica de dirección en caso de tambor de herramientas bidireccional
	<input type="checkbox"/>	M51: Activación de la lógica de dirección en caso de tambor de herramientas bidireccional
Grupo 9	<input type="checkbox"/>	M52: Desactivación del automatismo de la puerta
	<input type="checkbox"/>	M53: Activación del automatismo de la puerta

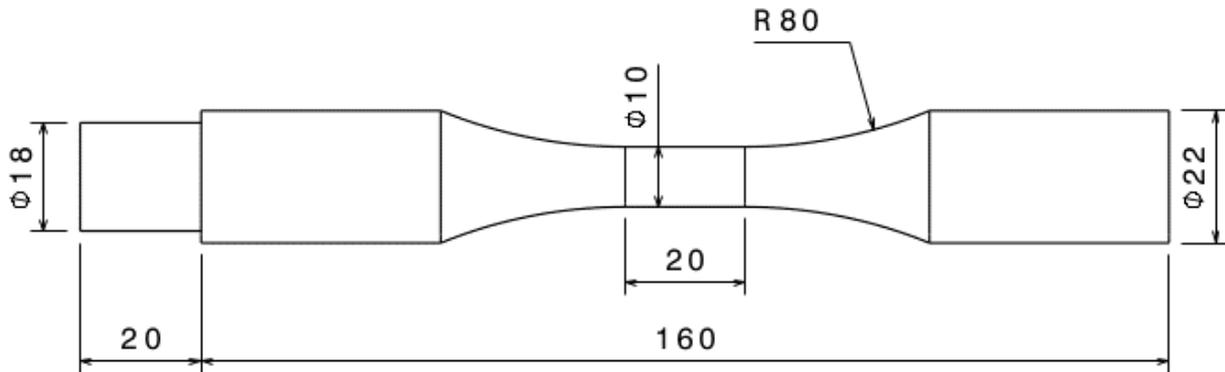
* Activo por registros

** Estado de puesta en marcha

Estado de puesta en marcha ajustable en el modo de funcionamiento de monitor del operador (MON)

Advertencia: La realización de las diferentes funciones M queda determinada por el equipamiento de Hardware de la máquina respectiva.

Anexo 2: Código ISO original para el torneado de la probeta de tracción



```

%0010
N0000 G54
N0010 G92 S2500 M08
N0015 / G27 L240
N0020 T0202
N0030 G96 G00 X25.000 Z41.000 S110 M04
N0040 G01 X23.000 F260
N0050 X19.500 Z30.000 F260
N0060 Z-30.000
N0070 X23.000 Z-41.000
N0080 Z41.000 F1000
N0090 X17.000 Z25.000 F260
N0100 Z-25.000
N0110 X23.000 Z-41.000
N0120 Z41.000 F1000
N0130 X14.500 Z23.000 F260
N0140 Z-23.000
N0150 X23.000 Z-41.000
N0152 Z41.000 F1000
N0154 X12.000 Z20.000 F260
N0156 Z-20.000
N0158 X23.000 Z-41.000
N0160 G00 X25.000 Z45.000
N0170 G01 G42 X23.755 Z41.882 F260
N0180 G02 X10.500 Z10.000 I73.372 K-31.882
N0190 G01 Z-10.000
N0200 G02 X23.755 Z-41.882 I80.000 K0.000
N0210 G01 G40 X25.000 Z-45.000
N0220 G00 X75.000 Z45.000
N0220 T0200
N0240 T0303 M08
N0245 G92 S2600
N0250 G96 G00 X25.000 Y0.000 Z44.000 S130 M04
N0260 G01 G42 X23.800 Z42.500 F15
N0270 G02 X10.000 Z10.000 I73.100 K-32.500
N0280 G01 Z-10.000
N0290 G02 X23.800 Z-42.500 I80.000 K0.000
N0300 G01 G40 X25.000 Z-45.000
N0310 G00 X75.000 Z45.000 M09
N0320 T0300
N0325 M30
  
```

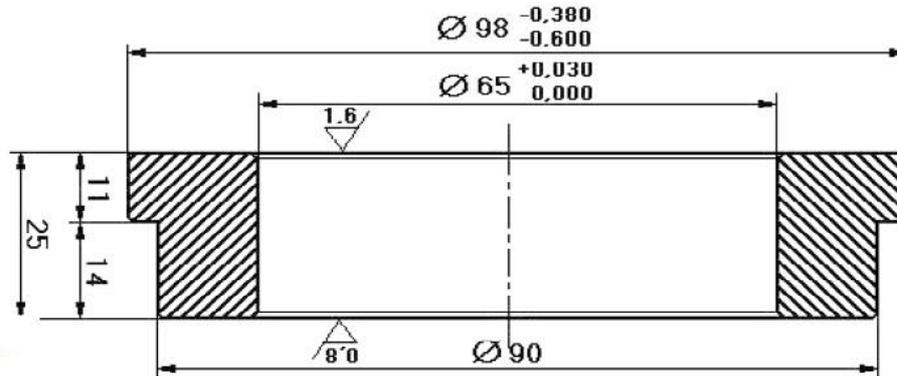
Anexo 3: Código ISO original para el torneado del buje simple

Material F114

Dureza HB 181 ÷ 207

Pieza bruta: diámetro 100 x 30mm

Biseles 1 x 45°



Fase 1

O010

N010 G54 G90 X270 Z25 T0400

N020 G97 S850 M04 M08

N030 G00 X0 Z10 T0404

N040 G95 G01 Z7 F5

N050 Z-35 F1

N060 G00 Z7

N070 G00 X270 Z25 T0400 M05

N080 X270 Z150 T0100

N090 G96 S225 M03

N100 G00 X102 Z-1.5 T0101

N110 G95 G01 X30 F0.2

N120 G00 Z2

N130 G00 X102 Z-2.5

N140 G01 X30 F0.15

N150 G00 Z2

N160 G00 X97.5

N170 G01 Z-15.5 F0.15

N175 G01 X102

N180 G00 X270 Z150 T0100

N190 X288 Z90 T0600

N200 G96 S140 M03

N210 G00 X40 Z4 T0606

N220 G95 G01 Z-32 F1.5

N230 G00 X38 Z1.5

N240 X46

N250 G01 Z-32

N260 G00 X44 Z1.5

N270 X52

N280 G01 Z-32

N290 G00 X50 Z1.5

N300 X58
N310 G01 Z-32
N320 G00 X56 Z1.5
N330 X64
N340 G01 Z-32
N350 G00 X62 Z1.5
N360 X75
N370 G01 X62 Z-5 F0.15
N380 G00 Z5 M09
N390 G00 X288 Z90 T0600 M05
N400 M00 G53

Fase 2

N410 G55 X270 Z150 T0100
N420 G96 S225 M03 M08
N430 G00 X102 Z-1.5 T0101
N440 G95 G01 X58 F0.25
N450 G00 Z2
N460 G00 X102 Z-2.5
N470 G01 X58 F0.2
N480 G00 X98 Z2
N490 G01 Z-16.5 F0.25
N495 G01 X100
N500 G00 X96 Z2
N510 G01 Z-16.5 F0.25
N515 G01 X100
N520 G00 X90 Z1.5
N530 G01 Z-16.5 F0.2
N540 G01 X100

N550 G00 X80 Z1.5

N560 G01 X92 Z-4.5
N570 G00 X96 Z-15.5
N580 G01 X100 Z-18.5
N590 G00 X270 Z150 T0100

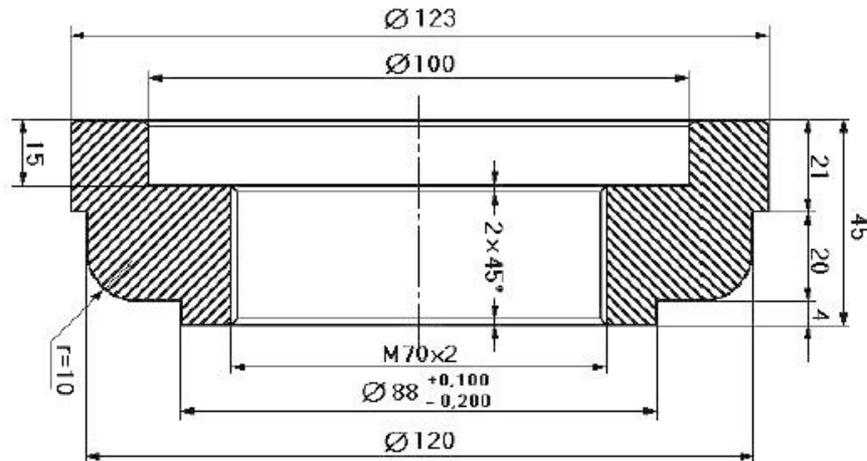
N600 X288 Z90 T0600
N610 G96 S140 M03
N620 G00 X75.015 Z1.5 T0606
N630 G95 G01 X65.015 Z-3.5 F0.15
N640 Z-32 F0.15
N650 G00 X63 Z5 M09
N660 G00 X288 Z90 T0600 M05 G53
N670 M30

Anexo 4: Código ISO original para el torneado de la tapa de cierre con rosca interior

Material F114

Dureza HB 181 ÷ 207

Material de partida: diámetro 125 x 50mm



Fase 1

N010 G54 G90 X270 Z25 T0400

N020 G97 S850 M04 M08

N030 G00 X0 Z10 T0404

N040 G95 G01 Z5 F1

N050 Z-50 F0.15

N060 G00 Z10

N070 G00 X270 Z25 T0400 M05

N080 X270 Z150 T0100

N090 G96 S220 M03

N100 G00 G42 X132 Z0 T0101

N110 G95 G01 X30 F0.25

N120 G00 X117 Z1.5

N130 G01 X123 Z-1.5 F0.1

N140 Z-25 F0.25

N145 X127

N150 G00 G40 X270 Z150 T0100

N160 X288 Z90 T0600

N170 G96 S140 M03

N180 G00 G41 X32 Z10 T0606

N190 G01 Z2 F1

N200 G71 P21 Q27 U.5 W.1 D3. F.2

N210 G00 X106

N220 G01 X100 Z-1 F0.15

N230 Z-15

N240 X71.5

N250 X66 Z-17.75

N260 Z-50

N270 X32

N280 G70 P21 Q27

N290 G00 G40 X288 Z93 T0600
N44 M00

Fase 2

N300 G55 X270 Z150 T0100
N310 G96 S220 M03 M08
N320 G00 G42 X128 Z0 T0103
N330 G95 G01 X44 F0.25
N340 G00 X128 Z2
N350 G71 P51 Q57 U.5 W.1 D3 F.2
N355 G00 X83.85
N360 G01 X87.85 Z-1 F.15
N370 Z-4
N380 X100
N390 G03 X120 Z-14 R10
N400 G01 Z-24
N410 X128 Z-28
N420 G70 P51 Q57
N430 G00 G40 X270 Z150 T0100

N440 G50 X288 Z90 S1000 M41 T0600
N450 G96 S140 M03
N460 G00 G41 X74.5 Z5 T0605
N470 G01 Z1.5 F1
N480 X67.5 Z-2 F0.15
N490 Z-47
N500 G00 X66 Z5
N510 G40 X288 Z90 T0600

N520 G50 X304 Z97 S650 M40 T0800
N530 G97 S520 M04
N540 G00 X64 Z12 T0808
N550 G76 X70 Z-35 K1.3 G400 F2 A60
N560 G00 X304 Z97 T0800 M14
N570 M30

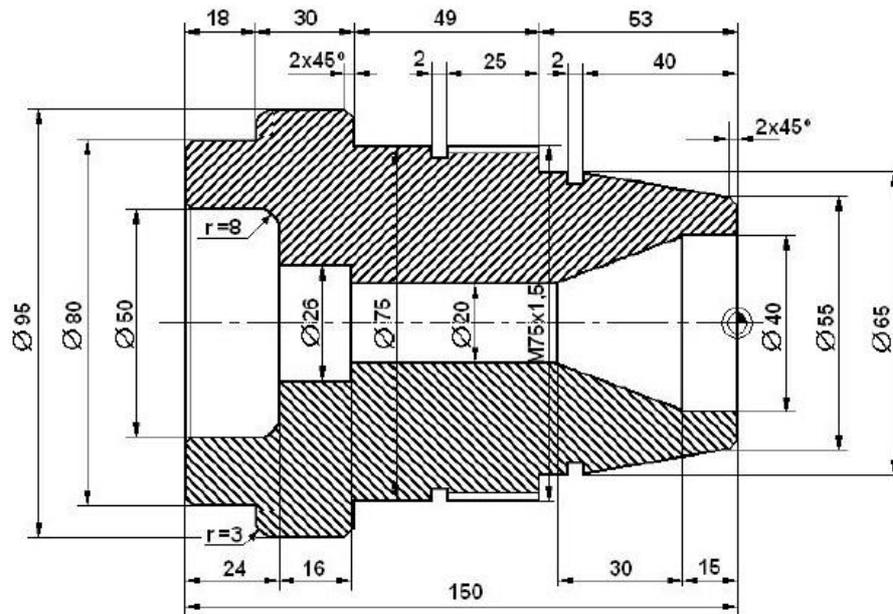
Anexo 5: Código ISO original para el torneado del conector de geometría compleja

Material F114

Dureza HB 181 ÷ 207

Pieza bruta: diámetro 100 x 155mm

Bisels 1 x 45°



Fase 1

N010 G54 G90 X270 Z56 T0200
 N015 G97 S400 M04 M08
 N020 G00 X0 Z10 T0202
 N030 G01 G95 Z2 F1
 N040 Z-87.5 F0.2
 N050 Z5 F2
 N060 G00 X270 Z56 T0200 M05

N070 X270 Z219 T0100
 N080 G96 S225 M03
 N090 G00 X102 Z-2.5 T0101
 N100 G01 X17 F0.2

N110 G00 X96 Z0
 N120 G84 X95 Z-50.5 D33000 F0.1
 N130 G00 X96 Z0
 N140 G84 X80 Z-20..5 D32000 F0.1

N150 G00 X76 Z-1.5
 N160 G01 X82 Z-4.5 F0.1
 N170 G00 X91 Z-20.5
 N175 G03 X95 Z-23 I0 K-3 F0.15
 N180 G00 X270 Z219 T0100
 N190 X288 Z171 T0500

N200 G96 S225
N210 G00 X18 Z0 T0505
N220 G84 X26 Z-42.5 D32000 F0.1
N230 G00 X24 Z0
N240 G84 X34 Z-26.5 D32000 F0.1
N250 G00 X32 Z0
N260 G84 X50 Z-18.5 D33000 F0.1
N270 G00 X54 Z-1.5
N275 G01 X48 Z-4.5 F0.1
N280 G00 X50 Z-18.5
N285 G02 X34 Z-26.5 I-8 K0 F0.2
N290 G00 X282 Z171 T0500 M09
N295 G53 M05

Fase 2

N300 G55 G90 X270 Z56 T0200
N310 G97 S400 M04 M08
N320 G00 X0 Z10 T0202
N330 G01 G95 Z2 F1
N340 Z-87.5 F0.2
N350 Z5 F2
N360 G00 X270 Z56 T0200 M05

N370 X270 Z219 T0100
N380 G96 S225 M03
N390 G00 X102 Z-2.5 T0101
N400 G01 X17 F0.2
N410 G00 X102 Z0
N420 G84 X75 Z-104.5 D33000 F0.1

N430 G00 X77 Z0
N440 G84 X65 Z-55.5 D33000 F0.1
N450 G00 X67 Z0
N460 G84 X65 Z-42.5 P0-5 D33000 F0.1
N470 G00 X43 Z1.5
N480 G01 X57 Z-6.5 F0.1
N485 G00 X87 Z-102.5
N490 G01 X99 Z- 106.5 F0.1
N500 G00 X270 Z219 T0100

N510 X270 Z226 T0300
N520 G96 G00 X66 Z-42.5 S100 T0303
N530 G01 X61 F0.1
N540 X66 F0.5
N550 G00 X76
N560 Z-80.5
N570 G01 X71 F0.1
N580 X76 F0.5
N590 G00 X270 Z226 T0300

N600 X270 Z226 T0700
N610 G97 S600 M03
N620 G00 X76 Z-54 T0707
N630 G85 X72.402 Z-82 D3500 D61299 D71 F1500
N640 G00 X270 Z226 T0700

N650 G00 X282 Z171 T0500

N660 G96 S125 M03

N670 G00 X20 Z0 T0505

N680 G84 X40 Z-17.5 P2-30 D33000 F0.1

N690 G00 X282 Z171 T0500 M09

N700 M05

N710 M30