

## Trabajo Fin de Grado

Desarrollo de un brazo telescópico de fibra de carbono para verificación volumétrica de máquina herramienta

Development of a carbon fiber telescopic arm for volumetric verification of machine tools

Autor

Juan Ignacio Bazán Pérez

Director

Juan José Aguilar Martín

Grado en Ingeniería Mecánica

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2020

# DESARROLLO DE UN BRAZO TELESCÓPICO DE FIBRA DE CARBONO PARA VERIFICACIÓN VOLUMÉTRICA DE MÁQUINA HERRAMIENTA

## RESUMEN

Este Trabajo Fin de Grado “DESARROLLO DE UN BRAZO TELESCÓPICO DE FIBRA DE CARBONO PARA VERIFICACIÓN VOLUMÉTRICA DE MÁQUINA HERRAMIENTA” se enmarca dentro del Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza.

Actualmente, debido a la demanda del sector productivo de mejorar la precisión de las piezas mecanizadas se está trabajando en optimizar las tareas involucradas en la verificación de las máquinas herramienta.

En este ámbito, en el Departamento de Diseño y Fabricación de la Universidad de Zaragoza, se está desarrollando el proyecto “DESARROLLO DE UN INSTRUMENTO TELESCÓPICO DE ALTA PRECISIÓN BASADO EN MULTILATERACIÓN LÁSER SIMULTÁNEA PARA VERIFICACIÓN DE SISTEMAS PRODUCTIVOS” del programa estatal de investigación, desarrollo e innovación orientada a los retos de la sociedad (Proyecto DPI2017-90106-R).

El equipo completo en el que se integra esta solución está formado por tres brazos que, de forma simultánea, miden los desplazamientos del cabezal de la máquina respecto de la mesa, lo que permite medir los errores de forma óptima, reducir el error volumétrico global y, finalmente, mejorar la precisión obtenida en los mecanizados.

Dentro de este TFG y partiendo de hipótesis y de sistemas planteados anteriormente, se realiza una continuación del estudio y se plantea definir el diseño de los componentes de un sistema de guiado telescópico con tubos de fibra de carbono para la verificación de máquina herramienta pequeña y mediana.

Para el diseño y simulación de los componentes y del sistema completo se ha utilizado la herramienta SolidEdge, y para la comprobación de los programas de control numérico necesarios para fabricar las piezas se ha usado el simulador Fagor CNC.

Posteriormente se han fabricado tres prototipos mediante mecanizado por torneado, fresado y electroerosión y, finalmente, se ha validado el cumplimiento de los requerimientos en laboratorio.

# ÍNDICE

1	OBJETO Y ALCANCE .....	7
2	ESTADO DEL ARTE .....	8
3	DISEÑO DE COMPONENTES .....	10
	3.1 Tubos.....	11
	3.2 Casquillos .....	12
	3.3 Adaptador Tridente – tubo pequeño .....	14
	3.4 Anillo Tridente.....	15
	3.5 Tridente.....	16
	3.6 Conector eje grande .....	17
	3.7 Conector eje pequeño.....	17
	3.8 BolaAgujero .....	18
4	FABRICACIÓN .....	20
	4.1 Conector B– Parte 1.....	21
	4.2 Conector B – Parte 2 .....	21
	4.3 Conector A .....	22
	4.4 Conector eje grande bueno aluminio flexural.....	23
	4.5 Conector eje grande bueno aluminio .....	23
	4.6 Anillo Tridente aluminio (metálico).....	24
	4.7 Adaptador Tridente-Tubo pequeño.....	25
	4.8 Anillo Tridente (metálico) .....	25
	4.9 Conector eje grande + ajustado REDISEÑADO .....	26
	4.10 Casquillo exterior tubo 1.....	27
	4.11 Casquillo interior tubo 2 .....	27
	4.12 Casquillo exterior tubo 2.....	28
	4.13 Casquillo interior tubo 3.....	28
	4.14 Casquillo exterior tubo 3.....	29
	4.15 Casquillo interior tubo 4 .....	29
	4.16 Casquillo exterior tubo 4 .....	30
	4.17 Casquillo interior tubo 5.....	30
	4.18 BolaAgujero .....	31
5	MONTAJE DEL PROTOTIPO .....	32
	5.1 Subconjunto BolaAgujero, Conector eje pequeño y Conector eje grande .....	33
	5.2 Subconjunto Casquillos, Tubos y Adaptador Tridente - tubo pequeño.....	35

5.3	Subconjunto Tridente y Anillo Tridente.....	36
5.4	Ensamblaje final.....	36
6	VALIDACIÓN .....	38
6.1	Validación CAE.....	38
6.2	Validación visual .....	40
7	CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO .....	41
8	BIBLIOGRAFÍA.....	42
	ANEXOS.....	43
	ANEXO I: MÁQUINAS EMPLEADAS EN EL TALLER DE MECÁNICA DE PRECISIÓN DE UNIZAR.....	44
	ANEXO II: PROGRAMAS CNC PARA LA FABRICACIÓN DE LAS PIEZAS Y TRAYECTORIAS .....	50
	ANEXO III: PLANOS.....	90

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1: Brazo telescópico "Etalon X-AX Láserbar"</i> .....	10
<i>Ilustración 2: Catálogo de las aleaciones de aluminio de la empresa Sanmetal</i> .....	11
<i>Ilustración 3: Tabla de propiedades mecánicas de la aleación Al6082</i> .....	11
<i>Ilustración 4: Tabla Excel para elección de los tubos de fibra de carbono</i> .....	12
<i>Ilustración 5: Corte de Tubos (azul), Casquillo exterior (verde) y Casquillo interior (rojo) para mostrar la cinemática del sistema</i> .....	13
<i>Ilustración 6: Corte del sistema telescópico recogido</i> .....	13
<i>Ilustración 7: Ejemplo de casquillo exterior</i> .....	13
<i>Ilustración 8: Ejemplo de casquillo interior</i> .....	13
<i>Ilustración 9: Casquillo con resalte en "U"</i> .....	14
<i>Ilustración 10: Casquillo con resalte en "L"</i> .....	14
<i>Ilustración 11: Tabla donde se muestra la metodología para obtener los diámetros teóricos de los casquillos</i> .....	14
<i>Ilustración 12: Adaptador Tridente - Tubo pequeño</i> .....	15
<i>Ilustración 13: Anillo Tridente (metálico)</i> .....	15
<i>Ilustración 14: Anillo Tridente aluminio (metálico)</i> .....	15
<i>Ilustración 15: Corte del subconjunto Adaptador Tridente - Tubo pequeño (azul), Tubo pequeño (rojo), Anillo Tridente (amarillo) y Tridente (verde)</i> .....	16
<i>Ilustración 16: Tridente aluminio</i> .....	16
<i>Ilustración 18: Conector eje grande + ajustado REDISEÑADO</i> .....	17
<i>Ilustración 17: Conector eje grande bueno aluminio flexural</i> .....	17
<i>Ilustración 19: Conector eje pequeño</i> .....	18
<i>Ilustración 20: Corte del subconjunto: Conector eje pequeño (azul), Conector eje grande (verde) y Tubo grande (rojo)</i> .....	18
<i>Ilustración 21: BolaAgujero</i> .....	19
<i>Ilustración 22: Tablas de las preformas a comprar, clasificadas por diámetro</i> .....	20
<i>Ilustración 23: Electrodo de limpieza por aspiracion utilizado en el primer proceso de mecanizado de BolaAgujero</i> .....	31
<i>Ilustración 24: BolaAgujero tras el primer proceso de mecanizado por electroerosión</i> ...	31
<i>Ilustración 25: Electrodo de limpieza por presión utilizado en el segundo proceso de mecanizado de BolaAgujero</i> .....	31
<i>Ilustración 26: Componentes necesarios para el montaje de un brazo telescópico</i> .....	32
<i>Ilustración 27: Montaje del subconjunto BolaAgujero, Conector eje pequeño y Conector eje grande</i> .....	33
<i>Ilustración 28: Montaje para la unión de BolaAgujero y Conector eje pequeño</i> .....	33
<i>Ilustración 29: Subconjunto BolaAgujero, Conector eje pequeño y Conector eje grande montado (1)</i> .....	34
<i>Ilustración 30: Subconjunto BolaAgujero, Conector eje pequeño y Conector eje grande montado (2)</i> .....	34
<i>Ilustración 31: Montaje del subconjunto Casquillos, Tubos y Adaptador Tridente-tubo pequeño</i> .....	35
<i>Ilustración 32: Preparación para el montaje del subconjunto Casquillos, Tubos y Adaptador Tridente-tubo pequeño</i> .....	35

<i>Ilustración 33: Subconjunto Casquillos, Tubos y Adaptador Tridente-tubo pequeño montado.....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 34: Montaje del subconjunto Tridente y Anillo Tridente .....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 35: Brazo telescópico montado, en posición extendido .....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 36: Brazo telescópico montado, en posición recogido .....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 37: Análisis CAE del desplazamiento en la posición del brazo extendido .....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 38: Análisis CAE del desplazamiento en la posición del brazo recogido .....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 39: Torno PINACHO RAYO 180 con Fagor CNC 8055.....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 40: Fresadora vertical ANAYAK con Fagor CNC 8025 – MS.....</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 41: Máquina EDM ONA COMPACT 2 .....</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 42: Máquina EDM hilo ONA PRIMA S250.....</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 43: Sierra de cinta sin – fin SAMUR.....</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 44: Sierra mecánica UNIZ .....</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 45: Taladro de columna IBARMIA AX-32.....</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 46: Roscadora neumática de cabezal vertical fijo .....</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 47: Captura de pantalla de FagorCnC.....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 48: Captura de pantalla de FagorCnC (1).....</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 49: Captura de pantalla de FagorCnC (2).....</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 50: Captura de pantalla de FagorCnC (3).....</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 51: Simulación de las trayectorias de la herramienta en el programa 785 .....</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 52: Simulación de las trayectorias de la herramienta en el programa 786.....</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 53: Simulación de las trayectorias de la herramienta en el programa 787 .....</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 54: Simulación de las trayectorias de la herramienta en el programa 788.....</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 55: Simulación de las trayectorias de la herramienta en el programa 789.....</i>	<i>74</i>

# 1 OBJETO Y ALCANCE

El objetivo es plantear el diseño y fabricación de un sistema de guiado telescópico basado en tubos de fibra de carbono para medición de distancias que pueda ser utilizado para la verificación volumétrica de máquinas herramienta pequeñas y medianas.

El sistema ha de trabajar de forma similar al Laser Tracer incorporando la mejora de que las mediciones se realizan de forma simultánea para reducir los tiempos de medición.

Se plantea definir el diseño de los componentes, que se realizarán en 3D mediante la herramienta Solid Edge, enfocado a la fabricación mediante torneado y electroerosión, actividad que se llevará a cabo en el Taller de Mecánica de Precisión.

Para el desarrollo del sistema se va a diseñar los componentes de guiado y se van a fabricar haciendo especial hincapié en tolerancias de ajuste para conseguir un guiado suave y preciso. También se integrará en el diseño los Tridentes, los conectores y los componentes del sistema láser de medida.

Después se llevará a cabo el desarrollo de los procesos de fabricación, mediante los cuales se obtendrán los tres prototipos que formarán el equipo completo.

Finalmente se realizará el montaje y se validará el funcionamiento del sistema del prototipo.

## 2 ESTADO DEL ARTE

Actualmente, en el sector de la producción el desafío se encuentra en mecanizar piezas de mayor precisión en el menor tiempo posible, las máquinas herramienta, encargadas de la fabricación, muestran inevitablemente desvíos intrínsecos que resultan de la fabricación inexacta de los componentes de la máquina, del desgaste de las piezas funcionales (holguras), del error de lectura de las reglas, así como de las deformaciones elásticas de la estructura, etc., factores que son tenidos en cuenta por las empresas [1].

Entre todos los errores que pueden afectar a la precisión de una máquina-herramienta, según estudios previos [2], son los errores geométricos aquellos que aparecen con mayor frecuencia.

Estas imprecisiones geométricas repercuten en la precisión de posicionamiento y orientación de la máquina, y consecuentemente en la precisión de uso de estas. Por lo tanto, es muy importante poder medir y corregir estas desviaciones geométricas para optimizar las capacidades (fabricación, medición) de este tipo de sistemas.

Históricamente, las empresas que operan en este sector han empleado técnicas de medición que permiten caracterizar los errores geométricos de la máquina en los distintos ejes de forma independiente. Estos métodos, además de prolongar los tiempos de verificación de la máquina, no siempre se adaptan de manera adecuada a las necesidades de verificación actuales y están limitadas para determinar los errores volumétricos de las máquinas, debido principalmente a las dimensiones de éstas [1].

Es dentro de este campo donde se sitúa nuestro proyecto, la verificación volumétrica es un proceso de identificación intensiva de parámetros a partir de un modelo de optimización no lineal mediante la medición indirecta de los errores de la máquina en su volumen de trabajo. Esta consiste en la minimización de la diferencia entre pares de puntos teóricos introducidos mediante control numérico (CN) y reales capturados por el sistema de medida, en función de las posibilidades y necesidad de la técnica a emplear.

Algunas de las múltiples ventajas de la verificación volumétrica, según conclusiones de ediciones previas del proyecto [3], son:

### **1. Mejorar la precisión de mecanizado.**

Analizando y corrigiendo la precisión, se pueden lograr unos mecanizados más precisos y con una mejor calidad global.

### **2. Minimizar el desperdicio de material.**

Al tener la máquina verificada se evitan rechazos, problemas de imagen y de plazos de entrega.



### **3. Conseguir pedidos de mecanizado.**

Los gráficos de calibración actualizados son pruebas fiables de que se pueden realizar trabajos de precisión y calidad.

### **4. Cumplir la norma ISO 9000.**

La norma de calidad ISO 9000 requiere que los equipos de fabricación e inspección sean calibrados, monitorizados y controlados.

### **5. Conocer el rendimiento real de máquina.**

Se podrán clasificar según sus capacidades de mecanizado. Esto ayudará a asignar trabajos con tolerancias específicas, a máquinas capaces de cumplir estas tolerancias.

### **6. Alargar la vida útil de máquina.**

Cierto tipo de errores de máquina pueden producir un excesivo desgaste en el sistema de transmisión y sistema de guías de la máquina. Al localizar y eliminar estos errores en una etapa temprana, puede alargar la vida útil de la máquina.

### **7. Minimizar el tiempo muerto de las máquinas.**

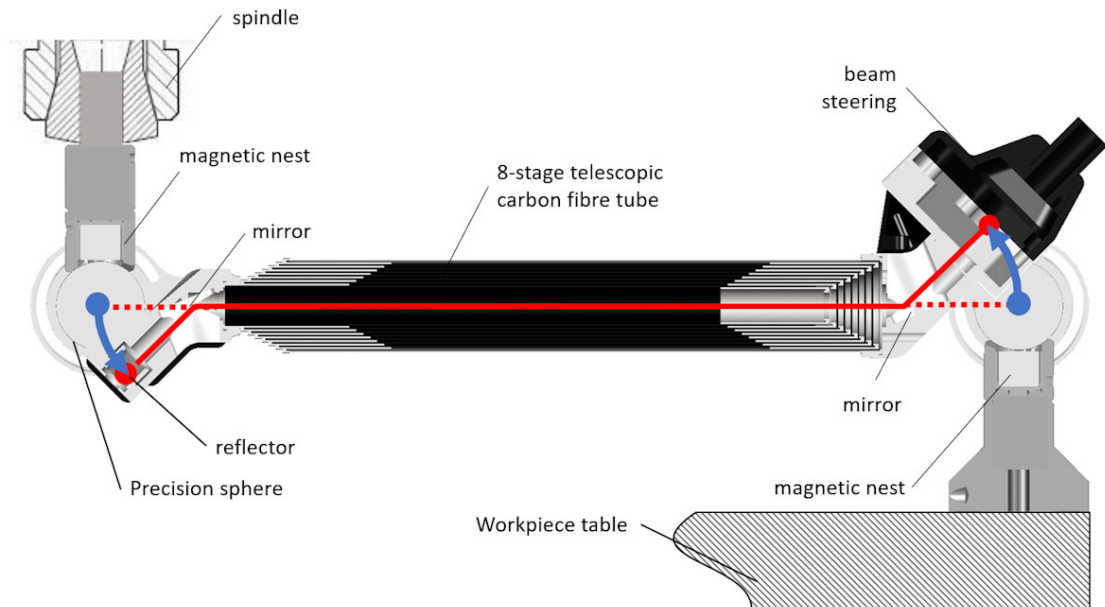
Obteniendo una visión detallada de como varía en el tiempo, cada característica del rendimiento de una máquina es posible prever los trabajos de mantenimiento.

### **8. Validar la calidad de una máquina nueva en el momento de la entrega.**

El transporte y la instalación pueden tener un efecto pernicioso sobre la precisión de una máquina. Una comprobación de rendimiento de la máquina inmediatamente después de su entrega confirma que está preparada para comenzar a trabajar.

### 3 DISEÑO DE COMPONENTES

Para comenzar a diseñar el brazo telescópico, se tomó como referencia el brazo "ETALON X-AX LÁSERBAR" de la empresa alemana Hexagon [4] debido a las similitudes geométricas y funcionales que buscábamos, sin embargo, se decidió reducir el brazo telescópico a 5 etapas en vez de 8.



*Ilustración 1: Brazo telescópico "Etalon X-AX Láserbar"*

Los principales requisitos de diseño del brazo son el de mínimo peso, ya que, al analizar la cinemática de este, en sus movimientos de extensión y contracción, las únicas fuerzas presentes son la de la gravedad y las ocasionadas por el movimiento relativo entre el cabezal y la mesa de la máquina, y la rigidez del mismo, necesaria para un correcto guiado, suave y preciso, del láser que fluirá interiormente y que definirá la capacidad del mismo para verificar volumétricamente máquinas herramienta.

Durante la fase de diseño se llevaron a cabo diferentes diseños de algunos componentes, con el fin de ver si alguna de dichas variaciones mejoraba el funcionamiento final de nuestro prototipo, los componentes principales se pueden clasificar en: Tubos, Casquillos, Adaptador Tridente - tubo pequeño, Anillo Tridente, Tridente, Conector eje grande, Conector eje pequeño y BolaAgujero.

Siguiendo la premisa de mínimo peso, los materiales que se barajaron para la fabricación de los componentes fueron aluminio o cobre, siendo el primero el seleccionado finalmente, tras consultar el catálogo de nuestro proveedor SanMetal [6]:

ALEACIONES DE ALUMINIO	
Aleaciones	Habituales
Aluminio puro	AL-1050
Aluminio - cobre	AL-2011, AL-2030
Aluminio - magnesio	AL-5083, AL-5754
Aluminio - magnesio - silicio	AL-6063, AL-6082
Aluminio - zinc	AL-7075
Aluminio - manganeso	

Ilustración 2: Catálogo de las aleaciones de aluminio de la empresa Sanmetal

Las posibilidades se centraron entre la serie 7000 y la 6000, siendo esta última la elegida ya que se necesitaba cierta ductilidad, y un exceso de dureza podría haber ocasionado el desgaste excesivo de otros componentes más blandos (ocasionando rayas, marcas...) durante el funcionamiento del brazo telescópico.

Finalmente, la aleación escogida fue Al6082- T<sub>4</sub>, una aleación de aluminio magnesio y silicio a la que se le aplica un tratamiento térmico de solución, temple y maduración natural para obtener estas propiedades:

Estado	Características a la tracción			Límite a la fatiga N/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cizalladura N/mm <sup>2</sup>	Dureza Brinell (HB)
	Carga de rotura R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	Límite elástico R <sub>p</sub> 0,2 N/mm <sup>2</sup>	Alargamiento A 5,65 %			
0	130	60	27	120	85	35
T1	260	170	24	200	155	70
T4	260	170	19	200	170	70
T5	325	275	11	210	195	90
T6	340	260	11	210	210	95

Ilustración 3: Tabla de propiedades mecánicas de la aleación Al6082

En el caso de los tubos y BolaAgujero se utilizaron otros materiales que se justificarán más adelante.

A continuación, se describe la función de cada componente y cómo se han diseñado geoméricamente para cumplir dichos requisitos funcionales.

### 3.1 Tubos

Se seleccionó la fibra de carbono como material para los tubos que integran el brazo telescópico, ya que es un material excelente tanto para el requisito de mínimo peso como para el de rigidez, pues es un material con una baja densidad en comparación con los altísimos valores de resistencia que soporta.

Tras contactar con el proveedor [5], se procedió a elegir los 5 tubos del catálogo que constituirían nuestro sistema telescópico, para ello, tras filtrar entre todos tubos de fibra de carbono, aquellos que fuesen "High modulus carbon" y para la aplicación:

“Telescoping”, se creó una tabla excell con las diferentes dimensiones que había de los mismos, y tomando como criterio, en primer lugar, las dimensiones del tubo más grande que formará parte de nuestro brazo y después, aplicando una reducción de diámetro constante entre las diferentes etapas, para lograr el guiado suave, se llevó a cabo la elección de los tubos .

INFINITubeV System - REV B						
SIZE	ID (inch)	OD (inch)		long min (inch)		long max (inch)
0	0,25	0,352		30		62
1	0,375	0,476		30		91
2	0,5	0,601		36		82
3	0,625	0,731	0,726	36	11,785	74
4	0,75	0,856		36		74
5	0,875	0,981	0,976	36	11,785	74
6	1	1,106		36		74
7	1,125	1,231	1,226	36	11,785	74
8	1,25	1,356		36		74
9	1,375	1,481	1,476	36	11,785	74
10	1,5	1,606		36		74
11	1,625	1,731	1,726	36	11,785	74
12	1,75	1,856		36		74
13	1,875	1,981		36		74
14	2	2,106		36		74
15	2,125	2,231		36		74
16	2,25	2,356		36		74
17	2,375	2,481		36		74
18	2,5	2,606		36		74

*Ilustración 4: Tabla Excel para elección de los tubos de fibra de carbono*

Además, en los detalles del pedido se pidió aplicar un tratamiento de pulido al diámetro exterior (OD) para mejorar las tolerancias hasta las indicadas en la 4ª columna, y se pidió también, el corte de los tubos en 4 partes iguales y cada uno de longitud la representada en la 6ª columna.

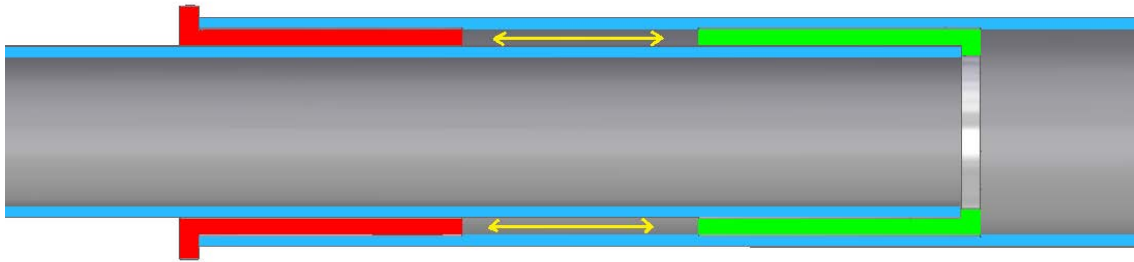
### 3.2 Casquillos

Una vez definidos los tubos del sistema telescópico, de este solo faltaba definir geoméricamente los casquillos, sabiendo ya, los diámetros de los tubos a los que se acoplarían, y el material de los mismos.

La funcionalidad de los casquillos es crucial ya que permiten una correcta transición entre las diferentes etapas de nuestro sistema telescópico, además de, gracias a su diseño, permitir el correcto funcionamiento del brazo en sus movimientos de extensión y contracción.

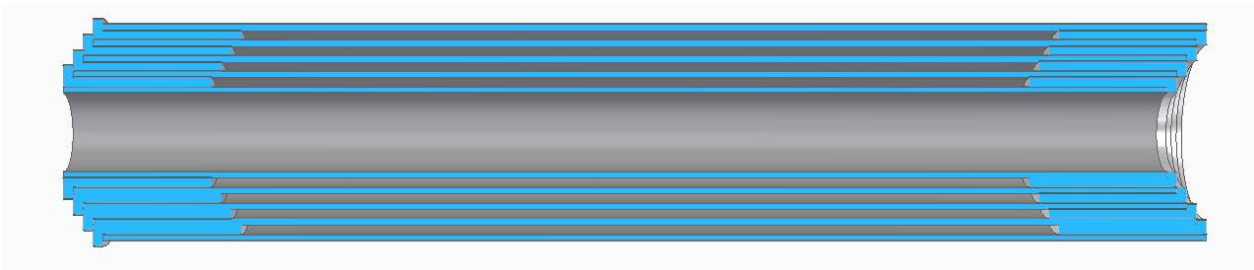
Geoméricamente se garantizó la continuidad de los movimientos de extensión y contracción, impidiendo que el sistema colapse durante su funcionamiento, gracias a los resaltes interiores y exteriores en los casquillos exteriores e interiores respectivamente.

En el movimiento de extensión, se garantiza la continuidad durante su funcionamiento gracias al contacto entre el casquillo exterior de un tubo y el casquillo interior del siguiente tubo, como se muestra en la figura.



*Ilustración 5: Corte de Tubos (azul), Casquillo exterior (verde) y Casquillo interior (rojo) para mostrar la cinemática del sistema*

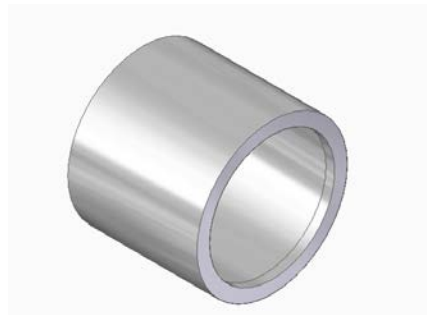
Mientras que, en el movimiento de contracción la continuidad se garantiza gracias al contacto de los resaltes exteriores de los casquillos interiores de los diferentes tubos.



*Ilustración 6: Corte del sistema telescópico recogido*



*Ilustración 8: Ejemplo de casquillo interior*



*Ilustración 7: Ejemplo de casquillo exterior*

En primer lugar, el diseño que se planteó fue el de unos casquillos con resalte en "U", sin embargo, rápidamente se sustituyó este diseño por otro donde el resalte es en "L", más sencillo a la hora de fabricarlo e igual de efectivo.



Ilustración 9: Casquillo con resalte en "U"



Ilustración 10: Casquillo con resalte en "L"

También se aumentó la longitud efectiva total del brazo en sus movimientos mediante la reducción de la longitud de los casquillos, del valor inicial fijado de 50 mm a 30 mm.

Los diámetros de cada casquillo se diseñaron paramétricamente, mediante una tabla Excel, a partir los diámetros teóricos de los tubos donde acoplasen cada uno y se aplicó a estos valores gaps de apriete o juego (teóricos) según conviniese, tras realizar unas pruebas de fabricación para definir los gaps óptimos para cada situación, se llegó a la conclusión que estos gaps habría que variarlos entre 1 y 4 décimas de milímetro según conviniese la situación.

Tubos			Casquillo interior		Casquillo exterior	
$\varnothing$ interior	$\varnothing$ exterior	gap radial juego	$\varnothing$ interior	$\varnothing$ exterior	$\varnothing$ interior	$\varnothing$ exterior
15,875	18,440			Tridente		18,435
22,225	24,790	0,0025	18,445	22,23	24,785	28,570
28,575	31,140	gap radial apriete	24,795	28,58	31,135	34,920
34,925	37,490		31,145	34,93	37,485	41,270
41,275	43,840	0,0025	37,495	41,28	Conectores	

Ilustración 11: Tabla donde se muestra la metodología para obtener los diámetros teóricos de los casquillos

### 3.3 Adaptador Tridente – tubo pequeño

Debido a que en el tubo más pequeño no era necesario su correspondiente casquillo interior (ya que la función de este la realiza el Anillo Tridente), se diseñó este componente con el fin de registrar el Tridente y mejorar la rigidez entre los elementos que dan lugar al nombre de este componente, ya que acopla en los diámetros interiores del Tridente y del tubo más pequeño.



*Ilustración 12: Adaptador Tridente - Tubo pequeño*

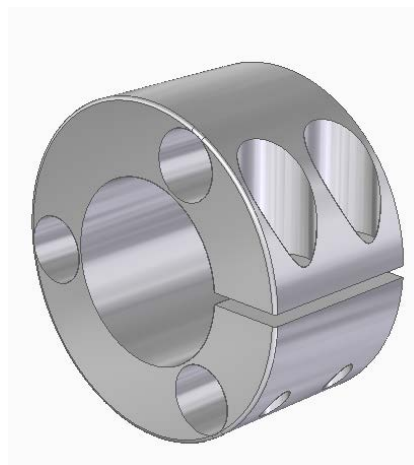
### **3.4 Anillo Tridente**

Siguiendo la premisa del componente anterior de tener una rigidez adecuada en nuestro conjunto, se diseñó esta pieza, la cual a través de unos agujeros axiales se obtiene un buen ajuste con el Tridente, mediante atornillado.

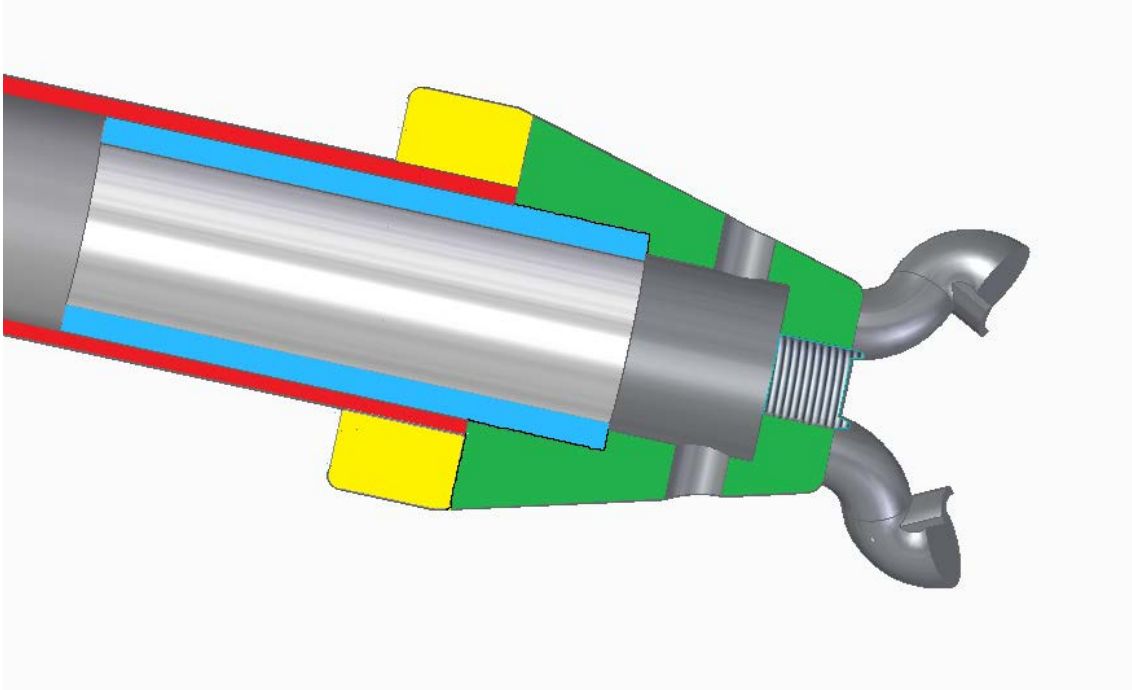
Por otro lado, se pensó en dotar al componente de un ranurado y un agujero de apriete en dirección transversal para mejorar el ajuste con el tubo pequeño con el que también acopla a través de su diámetro interior.



*Ilustración 13: Anillo Tridente (metálico)*



*Ilustración 14: Anillo Tridente aluminio (metálico)*



*Ilustración 15: Corte del subconjunto Adaptador Tridente - Tubo pequeño (azul), Tubo pequeño (rojo), Anillo Tridente (amarillo) y Tridente (verde)*

### **3.5 Tridente**

La finalidad de este componente es, además de registrarse la bola que irá acoplada a la cabeza de la máquina herramienta a verificar, con los imanes de los extremos de sus brazos, poseer un alojamiento interior para el reflector del sistema de guiado láser, de ahí su geometría interior.



*Ilustración 16: Tridente aluminio*

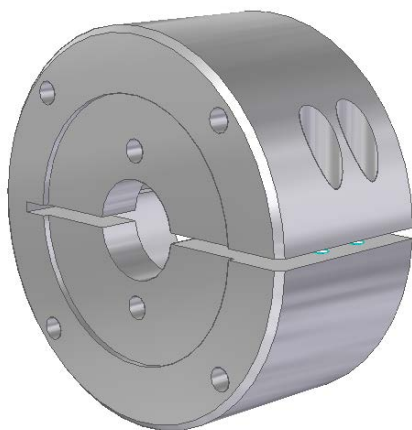


### 3.6 Conector eje grande

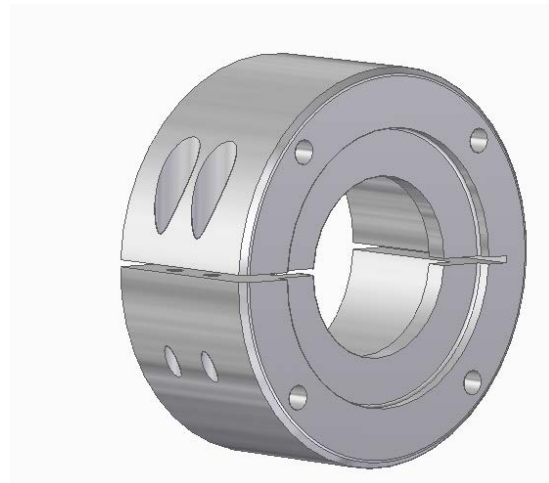
La función de este componente es la de elemento de unión entre el tubo más grande y Conector eje pequeño, por lo tanto, la geometría interior de este componente esta acotada al diámetro externo del tubo más grande, donde acopla, además, al igual que en la pieza Anillo Tridente, se dispuso de un ranurado y de un par de agujeros de apriete en dirección transversal con el fin de mejorar este ajuste, y con ello la rigidez del conjunto.

Por otro lado, se buscó continuidad dotando a este componente del mismo diámetro exterior que al Conector eje pequeño y asegurando la concentricidad de estos con un chaflán circular. La unión de estos dos componentes se pensó mediante la técnica de atornillado a través de unos agujeros axiales.

Además, en la cara de este componente que une con el Conector eje pequeño se incluyó un rebaje circular para asegurar la concentricidad del flexural, el cual va insertado entre estos dos componentes.



*Ilustración 18: Conector eje grande + ajustado REDISEÑADO*



*Ilustración 17: Conector eje grande bueno aluminio flexural*

### 3.7 Conector eje pequeño

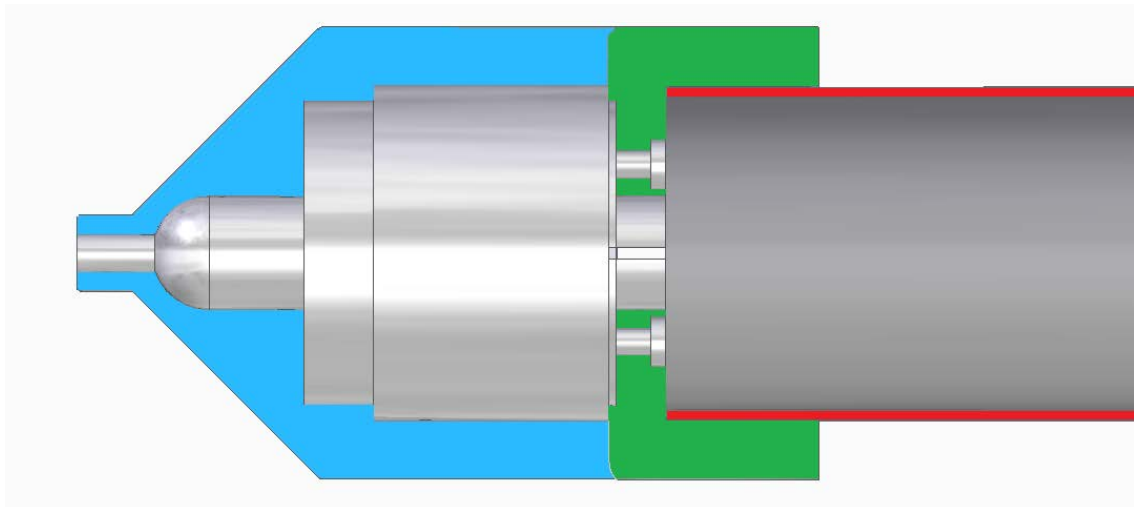
La función de este componente es la de elemento de unión entre BolaAgujero y Conector eje grande, por un lado, como se acaba de comentar, el diámetro exterior de esta pieza es el mismo que el Conector eje grande y se asegura la concentricidad con un chaflán circular, la unión de estos dos elementos se realiza a través de atornillado mediante agujeros axiales.

Por otro lado, para unirse correctamente con BolaAgujero precisa de un cilindro, el cual va roscado interiormente, es por ello por lo que la transición entre estos dos diámetros exteriores diferentes se realiza con una superficie cónica. Además, a esta superficie se le practicaron unos agujeros necesarios para el correcto cableado del sistema de guiado y para ajustar el sistema flexible con el que se orienta el láser de medida.

La geometría interior de este componente está condicionada a la geometría del flexural, el cual va insertado en su interior, este elemento es parte imprescindible para el correcto funcionamiento del sistema de guiado láser y es por ello por lo que se asegura la concentricidad del mismo a través del rebaje circular del Conector eje grande comentado anteriormente.



*Ilustración 19: Conector eje pequeño*

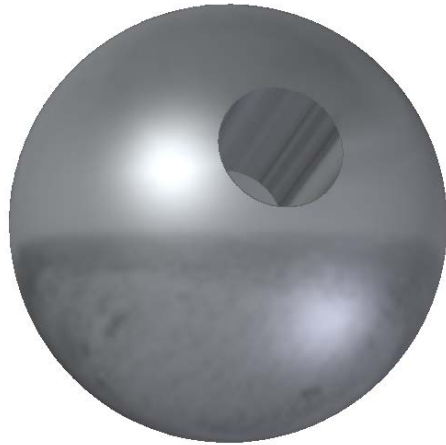


*Ilustración 20: Corte del subconjunto: Conector eje pequeño (azul), Conector eje grande (verde) y Tubo grande (rojo)*

### **3.8 BolaAgujero**

La geometría de esta pieza se trata de una esfera, y es el único componente de nuestro proyecto el cual será necesario reproducir dos veces para obtener nuestro brazo completo, ambas precisan de un agujero, una para unirse con el Conector eje pequeño y la otra para la unión con el cabezal de la máquina herramienta a verificar.

Debido al constante desgaste al que se iba a someter esta pieza (forma parte de uno de los apoyos del brazo), tras contactar con el proveedor [7], se diseñó en acero inoxidable, material muy duro capaz de soportar las duras condiciones de uso, sin embargo, tanta dureza nos condicionaría posteriormente a tener que usar la tecnología de electroerosión para poder mecanizar estas piezas.



*Ilustración 21: BolaAgujero*

## 4 FABRICACIÓN

Una vez se validó el diseño de los componentes, los esfuerzos se centraron en las dimensiones de las preformas a solicitar para poder llevar a cabo la fabricación de estos, teniendo en cuenta: el número de veces que hay que fabricar cada componente (3 brazos telescópicos en total) y limitaciones existentes en los procesos de fabricación seleccionados (amarre en las máquinas, pérdida de material al refrentar y tronzar...).

	Casquillo ext 1	Casquillo int 2	Casquillo ext 2	Adaptador Anillo-Tridente
Øext	22,23	26,99	28,575	16
Øint	16,44	18,44	22,79	12
Longitud/pieza (mm)	30	30	30	40
Longitud total (mm)	160	160	160	185

	Casquillo int 3	Casquillo ext 3	Casquillo int 4	Anillo Tridente
Øext	33,34	34,93	39,69	29
Øint	24,79	29,14	31,14	18,3
Longitud/pieza (mm)	30	30	30	9
Longitud total (mm)	160	160	160	95

	Casquillo ext 4	Casquillo int 5	Conector grande	Conector pequeño
Øext	41,28	46,04	59,18	59,18
Øint	33,49	37,49	15	-
Longitud/pieza (mm)	30	30	27,5	70,57
Longitud total (mm)	160	160	150	275

*Ilustración 22: Tablas de las preformas a comprar, clasificadas por diámetro*

Debido a las condiciones del proveedor, no se pudo solicitar tubos como preformas y se tuvo que elegir en cuenta barras macizas.

Se llevó a cabo la clasificación de las piezas en función de su diámetro exterior, dando lugar a la elección de una barra de Ø30 mm, una de Ø40 mm y otra de Ø60 mm como preformas para llevar a cabo la fabricación de los componentes en aluminio.

Tanto el conector B como el A, los cuales se explicará su fabricación a continuación, no forman parte como tal del brazo telescópico, sin embargo, son dos piezas fabricadas para la realización de ensayos del láser de medida que incorporará nuestro brazo y que es fundamental un correcto funcionamiento del mismo.

## 4.1 Conector B– Parte 1

En el torno se realizan las siguientes operaciones:

1. Se parte de un redondo de  $\varnothing 30$  mm y longitud 40 mm. Se amarra a un plato de garras dejando que la preforma vuele como mínimo 18.1 mm (dimensión de la longitud final de la pieza) y tras tomar el decalaje se le practica un taladrado con una broca  $\varnothing 13$  mm y hasta una profundidad de 10.6 mm (el avance del carro auxiliar donde se coloca la broca para generar el taladro tiene una manivela con 50 divisiones, la cual tras una vuelta entera avanza 5 mm, 0.1 mm/división, por lo que se tiene que dar 2 vueltas y 6 divisiones a la manivela) para generar el alojamiento donde se colocará el reflector de nuestro sistema de guiado láser.
2. Se realiza un refrentado para limpiar la cara y a continuación, se realiza el cilindrado de desbaste de la preforma [Véase Anexo II: Programa 710].
3. Se realiza un cilindrado de acabado, mediante el cual queda definida la geometría exterior cilíndrica con el resalte [Véase Anexo II: Programa 711].
4. Se realiza un tronzado de la preforma obteniendo la longitud final de pieza deseada [Véase Anexo II: Programa 712].

Posteriormente, en la fresadora vertical se llevan a cabo las siguientes operaciones:

5. Se amarra con una mordaza de forma que el eje de revolución de la pieza este perpendicular a la mesa, se toma el decalaje y se le practica un taladrado de los agujeros axiales con una broca de  $\varnothing 3.2$  mm, donde se alojarán los tornillos de M3 que unirán las partes 1 y 2 del Conector B.
6. Se le practica un abocardado con una fresa plana para el alojamiento de la cabeza del tornillo de apriete de M3 y tras puntear se le practica un taladrado del agujero de apriete con una broca de  $\varnothing 2.5$  mm.
7. Con el macho de roscar, se realiza el roscado de M3 del agujero de apriete.

Finalmente, en la sierra de cinta sin-fin se realiza el ranurado de la pieza.

## 4.2 Conector B – Parte 2

En el torno se realizan las siguientes operaciones:

1. Se parte de un redondo de  $\varnothing 30$  mm y longitud 20 mm. Se amarra a un plato de garras dejando que la preforma vuele como mínimo 5 mm (dimensión de la longitud final de la pieza) y tras tomar el decalaje se le practica un taladrado con una broca  $\varnothing 12$  mm.
2. Se realiza un refrentado para limpiar la cara y a continuación, se realiza el cilindrado de la preforma [Véase Anexo II: Programa 730].
3. Se realiza un tronzado de la preforma obteniendo la longitud final de pieza deseada [Véase Anexo II: Programa 731].

Posteriormente, en la fresadora vertical se llevan a cabo las siguientes operaciones:

4. Se amarra con una mordaza de forma que el eje de revolución de la pieza este perpendicular a la mesa, se toma el decalaje y se le practica un fresado para el alojamiento del Anillo elástico.
5. Se le practica un taladrado de los agujeros axiales con una broca de  $\varnothing 2.5$  mm.
6. Con el macho de roscar, se realiza el roscado de M3 de los agujeros axiales.

### 4.3 Conector A

En el torno se realizan las siguientes operaciones:

1. Se parte de un redondo de  $\varnothing 30$  mm y longitud 40 mm. Se amarra a un plato de garras dejando que la preforma vuele como mínimo 20.7 mm (dimensión de la longitud final de la pieza) y tras tomar el decalaje se le practica un taladrado con una broca  $\varnothing 15$  mm para generar el agujero pasante, el cual atravesará nuestro sistema de guiado láser.
2. Se realiza un refrentado para limpiar la cara y a continuación, se realiza el cilindrado de desbaste de la preforma [Véase Anexo II: Programa 720].
3. Se realiza un cilindrado de acabado, mediante el cual queda definida la geometría exterior cilíndrica con el resalte [Véase Anexo II: Programa 721].
4. Se realiza un tronzado de la preforma obteniendo la longitud final de pieza deseada [Véase Anexo II: Programa 722].

Posteriormente, en la fresadora vertical se llevan a cabo las siguientes operaciones:

5. Se amarra con una mordaza de forma que el eje de revolución de la pieza este perpendicular a la mesa, se toma el decalaje y se le practica un taladrado de los agujeros axiales con una broca de  $\varnothing 2.5$  mm, donde se alojarán los tornillos de M3 que unirán el flexural de nuestro sistema de guiado láser y el Conector B.
6. Se le practica un abocardado con una fresa plana para el alojamiento de la cabeza del tornillo de apriete de M3 y tras puntear se le practica un taladrado del agujero de apriete con una broca de  $\varnothing 2.5$  mm.
7. Con el macho de roscar, se realiza el roscado de M3 del agujero de apriete y de los agujeros axiales.

Finalmente, en la sierra de cinta sin-fin se realiza el ranurado de la pieza.

A continuación, se expone brevemente la descripción del proceso de fabricación de los diferentes componentes del brazo telescópico, incluyendo versiones de algunos componentes que no han sido objeto de diseño de este trabajo (aquellas con "aluminio" en su denominación):

#### 4.4 Conector eje grande bueno aluminio flexural

En el torno se realizan las siguientes operaciones:

1. Se parte de un redondo de  $\varnothing 60$  mm y longitud 45 mm. Se amarra a un plato de garras dejando que la preforma vuele como mínimo 25 mm (dimensión de la longitud final de la pieza) y tras tomar el decalaje se le practica un taladrado con una broca  $\varnothing 30$  mm.
2. Se realiza un refrentado para limpiar la cara y a continuación, se realiza el cilindrado de la preforma quedando definido el chaflán circular de la geometría exterior [Véase Anexo II: Programa 740].
3. Se realiza un mandrinado hasta  $\varnothing 40$  mm, mediante el cual queda definido el rebaje circular [Véase Anexo II: Programa 741].
4. Se voltea la pieza y se amarra a un plato de garras blandas, se vuelve a tomar el decalaje y se realiza un cilindrado de desbaste para tronzar ya que la geometría de nuestra loma de tronzar tiene una longitud máxima de penetración de 15 mm [Véase Anexo II: Programa 743].
5. Se realiza un tronzado y se vuelve a colocar la pieza en el plato de garras blandas [Véase Anexo II: Programa 744].
6. Se realiza un mandrinado para obtener la geometría interior de la pieza deseada [Véase Anexo II: Programa 745].

Posteriormente, en la fresadora vertical se llevan a cabo las siguientes operaciones:

7. Se amarra con una mordaza de forma que el eje de revolución de la pieza este perpendicular a la mesa, se toma el decalaje y se le practica un abocardado con una fresa plana [Véase Anexo II: Programa 714], se realiza el punteado y un taladrado de los agujeros axiales con una broca de  $\varnothing 3.2$  mm [Véase Anexo II: Programa 715].
8. Se le practica un abocardado con una fresa plana para el alojamiento de la cabeza del tornillo de apriete de M3 y tras puntear se le practica un taladrado del agujero de apriete con una broca de  $\varnothing 2.5$  mm.
9. Con el macho de roscar, se realiza el roscado de M3 del agujero de apriete.

Finalmente, en la sierra de cinta sin-fin se realiza el ranurado de la pieza.

#### 4.5 Conector eje grande bueno aluminio

En el torno se realizan las siguientes operaciones:

1. Se parte de un redondo de  $\varnothing 60$  mm y longitud 45 mm. Se amarra a un plato de garras dejando que la preforma vuele como mínimo 25 mm (dimensión de la longitud final de la pieza) y tras tomar el decalaje se le practica un taladrado con una broca  $\varnothing 15$  mm.

2. Se realiza un refrentado para limpiar la cara y a continuación, se realiza el cilindrado de la preforma quedando definido el chaflán circular de la geometría exterior [Véase Anexo II: Programa 750].
3. Se realiza un mandrinado hasta  $\varnothing 40$  mm, mediante el cual queda definido el rebaje circular [Véase Anexo II: Programa 751].
4. Se voltea la pieza y se amarra a un plato de garras blandas, se vuelve a tomar el decalaje y se le practica un taladrado con una broca de  $\varnothing 30$  mm hasta una profundidad de 20 mm (el avance del carro auxiliar donde se coloca la broca para generar el taladro tiene una manivela con 50 divisiones, la cual tras una vuelta entera avanza 5 mm, 0.1 mm/división, por lo que se tiene que dar 4 vueltas a la manivela).
5. Se realiza un cilindrado de desbaste para tronzar ya que la geometría de nuestra loma de tronzar tiene una longitud máxima de penetración de 15 mm [Véase Anexo II: Programa 752].
6. Se realiza un tronzado y se vuelve a colocar la pieza en el plato de garras blandas [Véase Anexo II: Programa 753].
7. Se realiza un mandrinado para obtener la geometría interior de la pieza deseada [Véase Anexo II: Programa 754].

Posteriormente, en la fresadora vertical se llevan a cabo las siguientes operaciones:

8. Se amarra con una mordaza de forma que el eje de revolución de la pieza este perpendicular a la mesa, se toma el decalaje y se le practica un abocardado con una fresa plana [Véase Anexo III: Programa 714], se realiza el punteado y un taladrado de los agujeros axiales con una broca de  $\varnothing 3.2$  mm [Véase Anexo II: Programa 715].
9. Se le practica un abocardado con una fresa plana para el alojamiento de la cabeza del tornillo de apriete de M3 y tras puntear se le practica un taladrado del agujero de apriete con una broca de  $\varnothing 2.5$  mm.
10. Con el macho de roscar, se realiza el roscado de M3 del agujero de apriete.

Finalmente, en la sierra de cinta sin-fin se realiza el ranurado de la pieza.

#### **4.6 Anillo Tridente aluminio (metálico)**

En el torno se realizan las siguientes operaciones:

1. Se parte de un redondo de  $\varnothing 30$  mm y longitud 27.5 mm. Se amarra a un plato de garras dejando que la preforma vuele como mínimo 7.5 mm (dimensión de la longitud final de la pieza) y tras tomar el decalaje se le practica un taladrado con una broca  $\varnothing 16$  mm para generar el agujero pasante.
2. Se realiza un refrentado para limpiar la cara y a continuación, se realiza el cilindrado de la preforma [Véase Anexo II: Programa 760].
3. Se realiza un tronzado de la preforma obteniendo la longitud final de pieza deseada [Véase Anexo II: Programa 762].



Posteriormente, en la fresadora vertical se llevan a cabo las siguientes operaciones:

4. Se amarra con una mordaza de forma que el eje de revolución de la pieza este perpendicular a la mesa, se toma el decalaje y se le practica un abocardado con una fresa plana [Véase Anexo II: Programa 719], se realiza el punteado [Véase Anexo II: Programa 718] y un taladrado de los agujeros axiales con una broca de  $\varnothing 3.2$  mm, donde se alojarán los tornillos de M<sub>3</sub> que unirán el Tridente y el Anillo Tridente [Véase Anexo II: Programa 720].
5. Se le practica un abocardado con una fresa plana para el alojamiento de la cabeza del tornillo de apriete de M<sub>3</sub> y tras puntear se le practica un taladrado del agujero de apriete con una broca de  $\varnothing 2.5$  mm.
6. Con el macho de roscar, se realiza el roscado de M<sub>3</sub> del agujero de apriete.

Finalmente, en la sierra de cinta sin-fin se realiza el ranurado de la pieza.

#### **4.7 Adaptador Tridente-Tubo pequeño**

En el torno se realizan las siguientes operaciones:

1. Se parte de un redondo de  $\varnothing 30$  mm y longitud 60 mm. Se amarra a un plato de garras dejando que la preforma vuele como mínimo 40 mm (dimensión de la longitud final de la pieza) y tras tomar el decalaje se le practica un taladrado con una broca  $\varnothing 12$  mm para generar el agujero pasante por donde irá el láser de medida.
2. Se realiza un refrentado para limpiar la cara y a continuación, se realiza el cilindrado de desbaste de la preforma [Véase Anexo II: Programa 770].
3. Se realiza un cilindrado de acabado, mediante el cual queda definida la geometría exterior cilíndrica con el resalte [Véase Anexo II: Programa 771].
4. Se realiza un tronzado de la preforma obteniendo la longitud final de pieza deseada [Véase Anexo II: Programa 772].

#### **4.8 Anillo Tridente (metálico)**

En el torno se realizan las siguientes operaciones:

1. Se parte de un redondo de  $\varnothing 30$  mm y longitud 29 mm. Se amarra a un plato de garras dejando que la preforma vuele como mínimo 9 mm (dimensión de la longitud final de la pieza) y tras tomar el decalaje se le practica un taladrado con una broca  $\varnothing 18$  mm para generar el agujero pasante.
2. Se realiza un refrentado para limpiar la cara y a continuación, se realiza el cilindrado de la preforma [Véase Anexo II: Programa 775].
3. Se realiza el mandrinado de la superficie interior hasta alcanzar tolerancias [Véase Anexo II: Programa 776].
4. Se realiza un tronzado de la preforma obteniendo la longitud final de pieza deseada [Véase Anexo II: Programa 777].

Posteriormente, en la fresadora vertical se llevan a cabo las siguientes operaciones:

5. Se amarra con una mordaza de forma que el eje de revolución de la pieza este perpendicular a la mesa, se toma el decalaje, se puntea [Véase Anexo II: Programa 718] y se le practica un taladrado de los agujeros axiales con una broca de  $\varnothing 3.2\text{mm}$ , donde se alojarán los tornillos de M3 que unirán el Tridente y el Anillo Tridente [Véase Anexo II: Programa 720].
6. Se le practica un abocardado con una fresa plana para el alojamiento de la cabeza del tornillo de apriete de M3 y tras puntear se le practica un taladrado del agujero de apriete con una broca de  $\varnothing 2.5\text{ mm}$ .
7. Con el macho de roscar, se realiza el roscado de M3 del agujero de apriete.

Finalmente, en la sierra de cinta sin-fin se realiza el ranurado de la pieza.

#### **4.9 Conector eje grande + ajustado REDISEÑADO**

En el torno se realizan las siguientes operaciones:

1. Se parte de un redondo de  $\varnothing 60\text{ mm}$  y longitud  $47.5\text{ mm}$ . Se amarra a un plato de garras dejando que la preforma vuele como mínimo  $27.5\text{ mm}$  (dimensión de la longitud final de la pieza) y tras tomar el decalaje se le practica un taladrado con una broca  $\varnothing 15\text{ mm}$ .
2. Se realiza un refrentado para limpiar la cara y a continuación, se realiza el cilindrado de la preforma quedando definido el chaflán circular de la geometría exterior [Véase Anexo II: Programa 785].
3. Se realiza un mandrinado hasta  $\varnothing 40\text{ mm}$ , mediante el cual queda definido el rebaje circular [Véase Anexo II: Programa 786].
4. Se voltea la pieza y se amarra a un plato de garras blandas, se vuelve a tomar el decalaje y se le practica un taladrado con una broca de  $\varnothing 30\text{ mm}$  hasta una profundidad de  $20\text{ mm}$  (el avance del carro auxiliar donde se coloca la broca para generar el taladro tiene una manivela con 50 divisiones, la cual tras una vuelta entera avanza  $5\text{ mm}$ ,  $0.1\text{ mm/división}$ , por lo que se tiene que dar 4 vueltas a la manivela).
5. Se realiza un cilindrado de desbaste para tronzar ya que la geometría de nuestra loma de tronzar tiene una longitud máxima de penetración de  $15\text{ mm}$  [Véase Anexo II: Programa 788].
6. Se realiza un tronzado y se vuelve a colocar la pieza en el plato de garras blandas [Véase Anexo II: Programa 789].
7. Se realiza un mandrinado para obtener la geometría interior de la pieza deseada [Véase Anexo II: Programa 787].

Posteriormente, en la fresadora vertical se llevan a cabo las siguientes operaciones:

8. Se amarra con una mordaza de forma que el eje de revolución de la pieza este perpendicular a la mesa, se toma el decalaje y se le practica un abocardado

con una fresa plana [Véase Anexo II: Programa 724], se realiza el punteado y un taladrado de los agujeros axiales con una broca de  $\text{Ø}3.2$  mm [Véase Anexo II: Programa 725].

9. Se le practica un abocardado con una fresa plana para el alojamiento de la cabeza del tornillo de apriete de M3 y tras puntear se le practica un taladrado del agujero de apriete con una broca de  $\text{Ø}2.75$  mm.
10. Con el macho de roscar, se realiza el roscado de M3 del agujero de apriete.

Finalmente, en la sierra de cinta sin-fin se realiza el ranurado de la pieza.

#### **4.10 Casquillo exterior tubo 1**

En el torno se realizan las siguientes operaciones:

1. Se parte de un redondo de  $\text{Ø}30$  mm y longitud 50 mm. Se amarra a un plato de garras dejando que la preforma vuele como mínimo 30 mm (dimensión de la longitud final de la pieza) y tras tomar el decalaje se le practica un taladrado con una broca  $\text{Ø}16$  mm para generar el agujero pasante, el cual atravesará nuestro sistema de guiado láser.
2. Después, se le practica un mandrinado de desbaste [Véase Anexo II: Programa 815].
3. Se realiza un refrentado para limpiar la cara y a continuación, se realiza el cilindrado de desbaste de la preforma [Véase Anexo II: Programa 817].
4. Se realiza un mandrinado de acabado, mediante el cual queda definida la geometría interior con el resalte [Véase Anexo II: Programa 816].
5. Se realiza un cilindrado de acabado, mediante el cual queda definida la geometría exterior cilíndrica [Véase Anexo II: Programa 818].
6. Se realiza un tronzado de la preforma obteniendo la longitud final de pieza deseada [Véase Anexo II: Programa 819].

#### **4.11 Casquillo interior tubo 2**

En el torno se realizan las siguientes operaciones:

1. Se parte de un redondo de  $\text{Ø}30$  mm y longitud 50 mm. Se amarra a un plato de garras dejando que la preforma vuele como mínimo 30 mm (dimensión de la longitud final de la pieza) y tras tomar el decalaje se le practica un taladrado con una broca  $\text{Ø}17$  mm para generar el agujero pasante, el cual atravesará nuestro sistema de guiado láser.
2. Después, se le practica un mandrinado de desbaste [Véase Anexo II: Programa 820].
3. Se realiza un refrentado para limpiar la cara y a continuación, se realiza el cilindrado de desbaste de la preforma [Véase Anexo II: Programa 822].
4. Se realiza un mandrinado de acabado, mediante el cual queda definida la geometría interior cilíndrica [Véase Anexo II: Programa 821].

5. Se realiza un cilindrado de acabado, mediante el cual queda definida la geometría exterior con el resalte [Véase Anexo II: Programa 823].
6. Se realiza un tronzado de la preforma obteniendo la longitud final de pieza deseada [Véase Anexo II: Programa 824].

#### **4.12 Casquillo exterior tubo 2**

En el torno se realizan las siguientes operaciones:

1. Se parte de un redondo de  $\varnothing 30$  mm y longitud 50 mm. Se amarra a un plato de garras dejando que la preforma vuele como mínimo 30 mm (dimensión de la longitud final de la pieza) y tras tomar el decalaje se le practica un taladrado con una broca  $\varnothing 22$  mm para generar el agujero pasante, el cual atravesará nuestro sistema de guiado láser.
2. Después, se le practica un mandrinado de desbaste [Véase Anexo II: Programa 825].
3. Se realiza un refrentado para limpiar la cara y a continuación, se realiza el cilindrado de desbaste de la preforma [Véase Anexo II: Programa 827].
4. Se realiza un mandrinado de acabado, mediante el cual queda definida la geometría interior con el resalte [Véase Anexo II: Programa 826].
5. Se realiza un cilindrado de acabado, mediante el cual queda definida la geometría exterior cilíndrica [Véase Anexo II: Programa 828].
6. Se realiza un tronzado de la preforma obteniendo la longitud final de pieza deseada [Véase Anexo II: Programa 829].

#### **4.13 Casquillo interior tubo 3**

En el torno se realizan las siguientes operaciones:

1. Se parte de un redondo de  $\varnothing 40$  mm y longitud 50 mm. Se amarra a un plato de garras dejando que la preforma vuele como mínimo 30 mm (dimensión de la longitud final de la pieza) y tras tomar el decalaje se le practica un taladrado con una broca  $\varnothing 22$  mm para generar el agujero pasante, el cual atravesará nuestro sistema de guiado láser.
2. Después, se le practica un mandrinado de desbaste [Véase Anexo II: Programa 830].
3. Se realiza un refrentado para limpiar la cara y a continuación, se realiza el cilindrado de desbaste de la preforma [Véase Anexo II: Programa 832].
4. Se realiza un mandrinado de acabado, mediante el cual queda definida la geometría interior cilíndrica [Véase Anexo II: Programa 831].
5. Se realiza un cilindrado de acabado, mediante el cual queda definida la geometría exterior con el resalte [Véase Anexo II: Programa 833].
6. Se realiza un tronzado de la preforma obteniendo la longitud final de pieza deseada [Véase Anexo II: Programa 834].

#### **4.14 Casquillo exterior tubo 3**

En el torno se realizan las siguientes operaciones:

1. Se parte de un redondo de  $\varnothing 40$  mm y longitud 50 mm. Se amarra a un plato de garras dejando que la preforma vuele como mínimo 30 mm (dimensión de la longitud final de la pieza) y tras tomar el decalaje se le practica un taladrado con una broca  $\varnothing 28$  mm para generar el agujero pasante, el cual atravesará nuestro sistema de guiado láser.
2. Después, se le practica un mandrinado de desbaste [Véase Anexo II: Programa 835].
3. Se realiza un refrentado para limpiar la cara y a continuación, se realiza el cilindrado de desbaste de la preforma [Véase Anexo II: Programa 837].
4. Se realiza un mandrinado de acabado, mediante el cual queda definida la geometría interior con el resalte [Véase Anexo II: Programa 836].
5. Se realiza un cilindrado de acabado, mediante el cual queda definida la geometría exterior cilíndrica [Véase Anexo II: Programa 838].
6. Se realiza un tronzado de la preforma obteniendo la longitud final de pieza deseada [Véase Anexo II: Programa 839].

#### **4.15 Casquillo interior tubo 4**

En el torno se realizan las siguientes operaciones:

1. Se parte de un redondo de  $\varnothing 40$  mm y longitud 50 mm. Se amarra a un plato de garras dejando que la preforma vuele como mínimo 30 mm (dimensión de la longitud final de la pieza) y tras tomar el decalaje se le practica un taladrado con una broca  $\varnothing 30$  mm para generar el agujero pasante, el cual atravesará nuestro sistema de guiado láser.
2. Después, se le practica un mandrinado de desbaste [Véase Anexo II: Programa 840].
3. Se realiza un refrentado para limpiar la cara y a continuación, se realiza el cilindrado de desbaste de la preforma [Véase Anexo II: Programa 842].
4. Se realiza un mandrinado de acabado, mediante el cual queda definida la geometría interior cilíndrica [Véase Anexo II: Programa 841].
5. Se realiza un cilindrado de acabado, mediante el cual queda definida la geometría exterior con el resalte [Véase Anexo II: Programa 843].
6. Se realiza un tronzado de la preforma obteniendo la longitud final de pieza deseada [Véase Anexo II: Programa 844].

#### **4.16 Casquillo exterior tubo 4**

En el torno se realizan las siguientes operaciones:

1. Se parte de un redondo de  $\varnothing 60$  mm y longitud 50 mm. Se amarra a un plato de garras dejando que la preforma vuele como mínimo 30 mm (dimensión de la longitud final de la pieza) y tras tomar el decalaje se le practica un taladrado con una broca  $\varnothing 30$  mm para generar el agujero pasante, el cual atravesará nuestro sistema de guiado láser.
2. Después, se le practica un mandrinado de desbaste [Véase Anexo II: Programa 845].
3. Se realiza un refrentado para limpiar la cara y a continuación, se realiza el cilindrado de desbaste de la preforma [Véase Anexo II: Programa 847].
4. Se realiza un mandrinado de acabado, mediante el cual queda definida la geometría interior con el resalte [Véase Anexo II: Programa 846].
5. Se realiza un cilindrado de acabado, mediante el cual queda definida la geometría exterior cilíndrica [Véase Anexo II: Programa 848].
6. Se realiza un tronzado de la preforma obteniendo la longitud final de pieza deseada [Véase Anexo II: Programa 849].

#### **4.17 Casquillo interior tubo 5**

En el torno se realizan las siguientes operaciones:

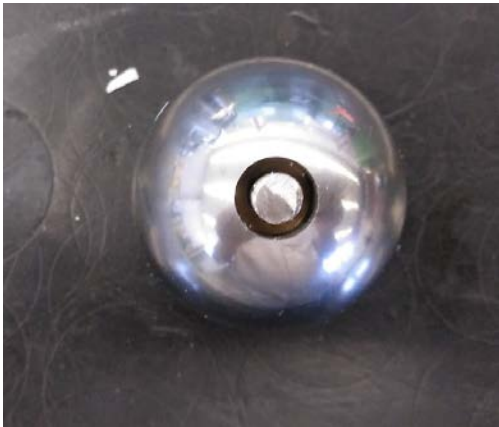
1. Se parte de un redondo de  $\varnothing 60$  mm y longitud 50 mm. Se amarra a un plato de garras dejando que la preforma vuele como mínimo 30 mm (dimensión de la longitud final de la pieza) y tras tomar el decalaje se le practica un taladrado con una broca  $\varnothing 30$  mm para generar el agujero pasante, el cual atravesará nuestro sistema de guiado láser.
2. Después, se le practica un mandrinado de desbaste [Véase Anexo II: Programa 850].
3. Se realiza un refrentado para limpiar la cara y a continuación, se realiza el cilindrado de desbaste de la preforma [Véase Anexo II: Programa 852].
4. Se realiza un mandrinado de acabado, mediante el cual queda definida la geometría interior cilíndrica [Véase Anexo II: Programa 851].
5. Se realiza un cilindrado de acabado, mediante el cual queda definida la geometría exterior con el resalte [Véase Anexo II: Programa 853].
6. Se realiza un tronzado de la preforma obteniendo la longitud final de pieza deseada [Véase Anexo II: Programa 854].

## 4.18 BolaAgujero

Como se comentó previamente el material de este componente nos condicionó a la utilización de la tecnología de electroerosión para poder ser mecanizado.

En la máquina de electroerosión por penetración, una vez amarrada correctamente con mordazas (eje Z de la máquina perpendicular a la esfera) se realizan las siguientes operaciones:

1. Con el electrodo de limpieza por aspiración se realiza el primer vaciado hasta una profundidad de 14.5 mm, ilustrado en la imagen.



*Ilustración 24: BolaAgujero tras el primer proceso de mecanizado por electroerosión*



*Ilustración 23: Electrodo de limpieza por aspiración utilizado en el primer proceso de mecanizado de BolaAgujero*

2. Con el electrodo de limpieza por presión se realiza el vaciado del cilindro restante de la operación anterior, de nuevo hasta una profundidad de 14.5 mm.



*Ilustración 25: Electrodo de limpieza por presión utilizado en el segundo proceso de mecanizado de BolaAgujero*

## 5 MONTAJE DEL PROTOTIPO

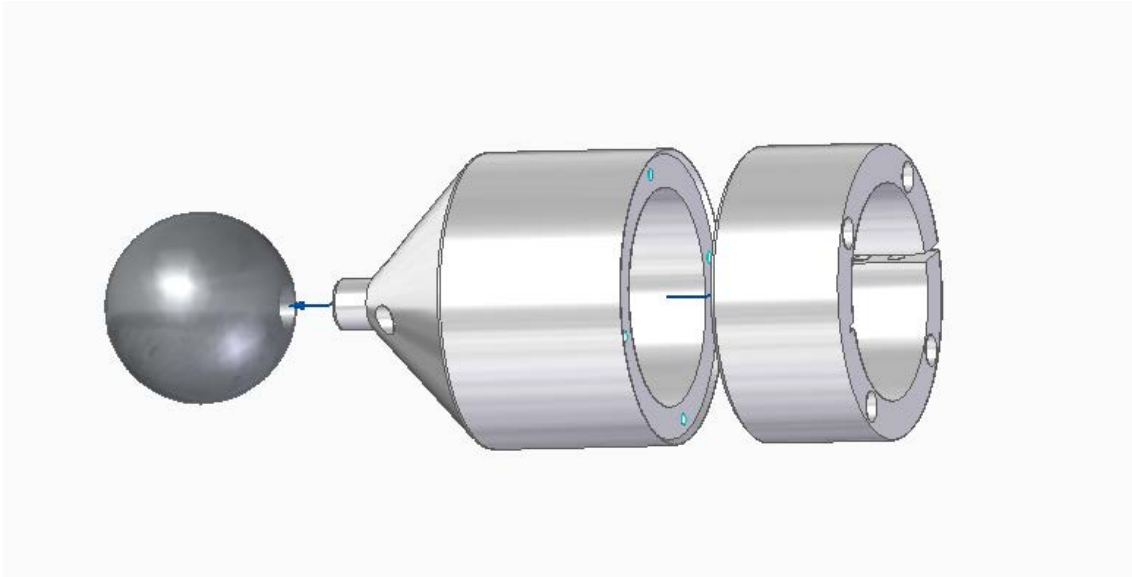
Una vez se fabricaron todos los componentes, se comenzó con el ensamblaje de estos con el fin de obtener nuestro brazo telescópico, para ello se dividió en 3 subconjuntos:



*Ilustración 26: Componentes necesarios para el montaje de un brazo telescópico*



## 5.1 Subconjunto BolaAgujero, Conector eje pequeño y Conector eje grande



*Ilustración 27: Montaje del subconjunto BolaAgujero, Conector eje pequeño y Conector eje grande*

La unión de los 2 primeros componentes de este subconjunto se realizó mediante la fabricación de dos componentes auxiliares, en primer lugar, se fabricó una arandela de latón de 5 mm de espesor, la cual se roscó su interior (Métrica Whitworth 1/16) y se introdujo en el alojamiento cilíndrico de BolaAgujero hasta hacer tope con ayuda de una prensa, se añadió una gota de adhesivo para no se produjese movimientos relativos entre BolaAgujero y esta arandela.

El segundo componente fabricado fue un esparrago de longitud 13.3 mm.

De esta forma se resolvió el ensamblaje de los componentes BolaAgujero y Conector eje pequeño.



*Ilustración 28: Montaje para la unión de BolaAgujero y Conector eje pequeño*

El montaje final de este subconjunto se realizó gracias a los tornillos M3 axiales que permiten la unión de las piezas Conector eje pequeño y Conector eje grande.



*Ilustración 29: Subconjunto BolaAgujero, Conector eje pequeño y Conector eje grande montado (1)*



*Ilustración 30: Subconjunto BolaAgujero, Conector eje pequeño y Conector eje grande montado (2)*

## 5.2 Subconjunto Casquillos, Tubos y Adaptador Tridente - tubo pequeño



*Ilustración 31: Montaje del subconjunto Casquillos, Tubos y Adaptador Tridente-tubo pequeño*

Antes de comenzar con el ensamblaje de este subconjunto, se procedió a unir los casquillos exteriores con sus respectivos tubos con la ayuda de un adhesivo, ya que tras unas pruebas que se realizaron previas a la fabricación, al aplicar los gaps de apriete en los casquillos exteriores, si dicho gap era muy grande, llegaba a deformar las dimensiones del tubo al que iba acoplado, generando problemas en el guiado suave del brazo telescópico en sus movimientos de estirado y recogida.

Para solucionarlo se escogió el gap de apriete más pequeño posible (asegurando que no tuviera nada de juego para que esto no afectase a la rigidez del brazo y a las mediciones futuras del mismo) y se aplicó unas gotas de un adhesivo para evitar el movimiento relativo entre el casquillo en cuestión y el tubo al que va acoplado.

Se procedió a la unión por apriete del componente Adaptador Tridente-tubo pequeño con el tubo pequeño con la ayuda de una prensa.

Una vez realizadas estas operaciones ya se podía proceder al ensamblaje final de este subconjunto introduciendo los tubos concéntricamente desde el tubo más grande hasta el más pequeño o viceversa.

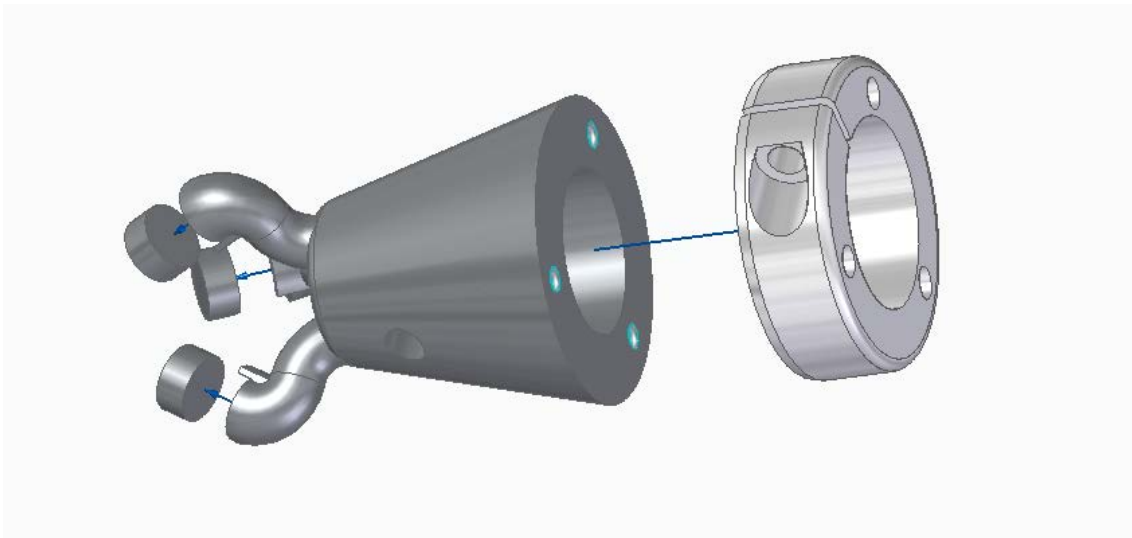


*Ilustración 32: Preparación para el montaje del subconjunto Casquillos, Tubos y Adaptador Tridente-tubo pequeño*



*Ilustración 33: Subconjunto Casquillos, Tubos y Adaptador Tridente-tubo pequeño montado*

### **5.3 Subconjunto Tridente y Anillo Tridente**



*Ilustración 34: Montaje del subconjunto Tridente y Anillo Tridente*

En este subconjunto, además de la unión del Tridente con una BolaAgujero a través de los imanes, se realiza la unión mediante tornillos M3 axiales del Tridente y Anillo Tridente.

### **5.4 Ensamblaje final**

Una vez ensamblados estos subconjuntos la unión entre ellos se realiza mediante, los tornillos de apriete M3 de Conector eje pequeño con el tubo más grande para unir los dos primeros subconjuntos y mediante los tornillos de apriete M3 de Anillo Tridente con el tubo más pequeño.



*Ilustración 35: Brazo telescópico montado, en posición extendido*



*Ilustración 36: Brazo telescópico montado, en posición recogido*

## 6 VALIDACIÓN

### 6.1 Validación CAE

Una vez finalizado el diseño completo de nuestro sistema, el cual, se iba comprobando mediante la creación de todos los componentes con la herramienta de software SolidEdge, se procedió al ensamblaje de los mismos, y se sometió al análisis CAE (Computer Aided Engineering) en las diferentes condiciones a las que se iba a someter durante su uso normal, con el fin de comprobar que se había hecho un diseño correcto de los componentes.

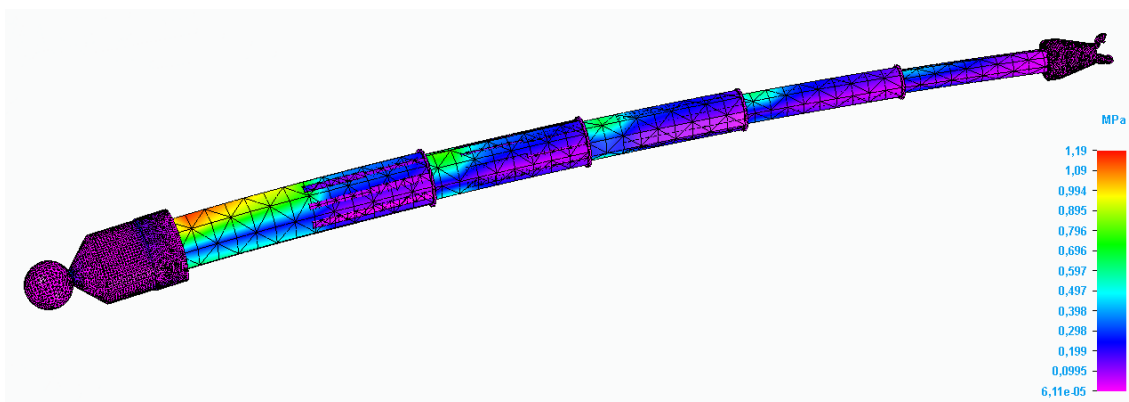


Ilustración 35: Análisis CAE de las tensiones en la posición del brazo extendido

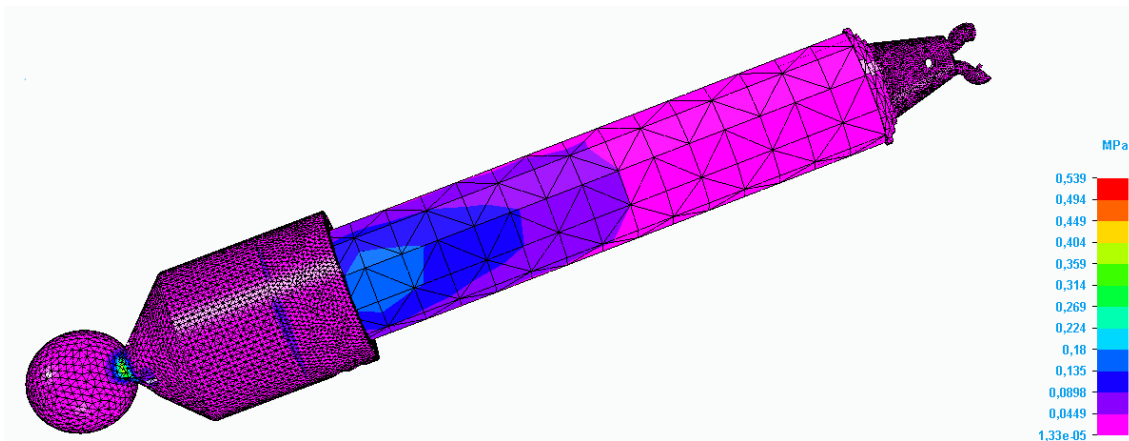
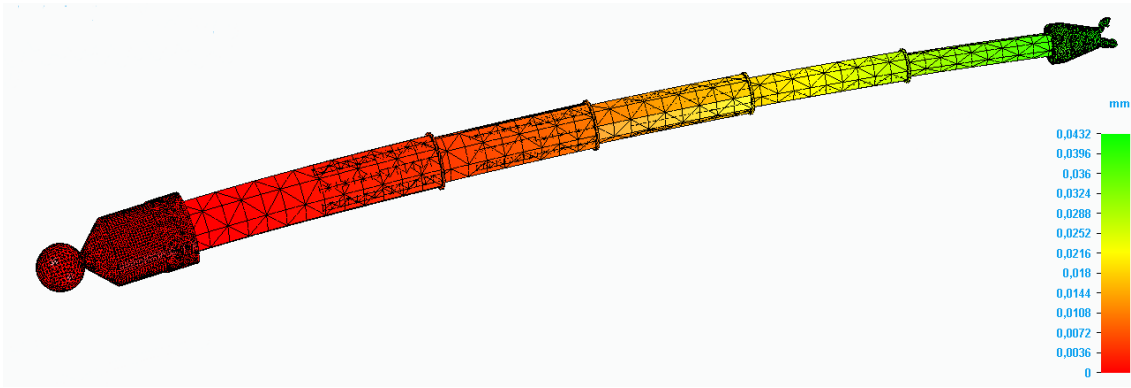
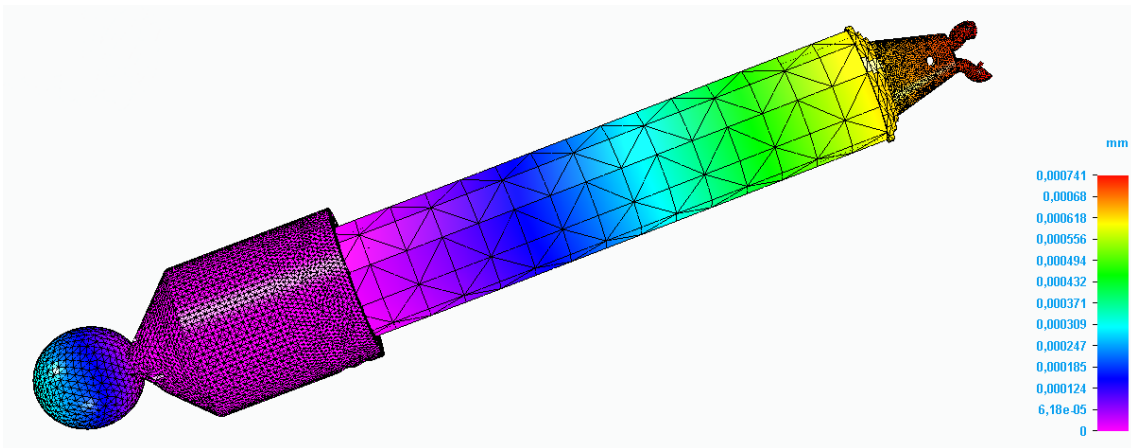


Ilustración 36: Análisis CAE de las tensiones en la posición del brazo recogido



*Ilustración 37: Análisis CAE del desplazamiento en la posición del brazo extendido*



*Ilustración 38: Análisis CAE del desplazamiento en la posición del brazo recogido*

Como se ha ido comentando, al actuar únicamente la fuerza de gravedad las tensiones a soportar son mínimas, siendo las más significativas en la posición del brazo extendido en las zonas superior e inferior del tubo grande ya que es ahí donde la flexión actúa en mayor medida.

De todos modos, se puede observar en dicha situación que el mayor desplazamiento se producirá en el extremo del Tridente, siendo inferior a 5 centésimas de milímetro, valor, a priori, insignificante pero que es de ayuda conocerlo de cara a posibles desviaciones que surjan en el sistema de guiado láser.

## 6.2 Validación visual

Después del montaje del prototipo se comprobó que el movimiento de las diferentes etapas es suave, sin excesiva fuerza y sin mucho juego, factor que podría afectar a las mediciones futuras del sistema de verificación volumétrica.

Además, al haber sido reproducido 3 veces el prototipo, los gaps que se han tomado para la fabricación de los casquillos difieren entre ellos, quedando en algún caso un juego tan ajustado que al realizar movimientos se producían efectos de vacío debido a estanqueidad entre etapas a causa de la precisión del ajuste. En otros casos no se ajustó tanto el gap, quedando algo de holgura entre las diferentes etapas, cabe destacar que este juego es mínimo de todas formas.

De esta forma es posible, gracias a lo que difieren los diferentes proyectos entre sí, que se pueda llevar a cabo en el futuro el estudio del gap más óptimo de cara a obtener las mínimas desviaciones en nuestro sistema de medición.



## 7 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Resumiendo, se ha llevado a cabo el diseño y fabricación completo de un brazo telescópico, obteniendo unos resultados favorables, tanto en el diseño geométrico y dimensional, obteniendo un brazo cuyos movimientos son suaves y sin holguras, como en el diseño estructural, ya que tras haber simulado nuestro proyecto con ayuda de SolidEdge se ha obtenido un desplazamiento mínimo en las situaciones más favorables y además, la elección de estos materiales asegurará una vida útil larga de los componentes.

Las variaciones dimensionales que difieren entre las diferentes reproducciones del proyecto se deben sobre todo a la variación de tolerancias dimensionales de fabricación de los tubos de fibra de carbono escogidos como preformas.

En este punto el proyecto se encuentra con el sistema de guiado telescópico y el resto de los componentes estructurales completamente diseñados, fabricados y listos para su posterior montaje con el sistema de guiado láser.

Como trabajo futuro, una vez disponga del sistema de guiado, habría que comenzar con los ensayos, una vez ambos estén ensamblados correctamente, y comprobar que el proyecto funciona y cumple con su función o, en su defecto, que medidas o análisis son necesarios para conseguirlo.

Con todos estos pasos, se busca el ir perfeccionando y afinando el prototipo hasta que posea la exactitud necesaria para realizar las mediciones y calibraciones de máquina con el sistema creado, ya que la metodología empleada para llevar a cabo el proyecto permite que tras futuras investigaciones se pueda volver a reproducir con ligeras modificaciones.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Tekniker.es. 2020. Metrología Avanzada Para Máquina Herramienta - Caso De Éxito De IK4-TEKNIKER. [online] Available at: <<https://www.tekniker.es/es/metrologia-avanzada-para-maquina-herramienta>> [Accessed 25 August 2020].
- [2]. Interempresas. 2020. Verificación Volumétrica: Verificación De Máquina-Herramienta De Grandes Dimensiones. [online] Available at: <<https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/62739-Verificacion-volumetrica-solucion-verificacion-maquina-herramienta-grandes-dimensiones.html>> [Accessed 19 August 2020].
- [3]. Fernández Manero, C., 2018. Optimización De Un Brazo Telescópico Para Verificación Volumétrica De Máquina Herramienta. Unizar. Zaragoza.
- [4]. Etalon-gmbh.com. 2020. ETALON X-AX LÁSERBAR – Etalon Part Of Hexagon. [online] Available at: <[https://www.etalon-gmbh.com/en/products/x-ax\\_laserbar/](https://www.etalon-gmbh.com/en/products/x-ax_laserbar/)> [Accessed 24 February 2020].
- [5]. Rockwestcomposites.com. 2020. Buy Round Carbon Fiber Tubes & Tubing | Rock West Composites. [online] Available at: <[https://www.rockwestcomposites.com/shop/round-tubing/round-carbon-fiber-tubing?materials=954&product\\_list\\_dir=asc&product\\_list\\_mode=table&product\\_list\\_order=outside\\_diameter&p=3](https://www.rockwestcomposites.com/shop/round-tubing/round-carbon-fiber-tubing?materials=954&product_list_dir=asc&product_list_mode=table&product_list_order=outside_diameter&p=3)> [Accessed 10 March 2020].
- [6]. Sanmetal.es. 2020. SANMETAL, S.A. - Division Metales: Aluminio. [online] Available at: <<http://www.sanmetal.es/productos/metales/aluminio/2>> [Accessed 8 April 2020].
- [7]. Trans-gmc-rod.com. 2020. GMC - - Transmisiones Y Rodamientos. [online] Available at: <<http://www.trans-gmc-rod.com/>> [Accessed 15 June 2020].
- [8]. Fagorautomation.com. 2020. Descargas – Fagor Automation. [online] Available at: <<https://www.fagorautomation.com/descargas/>> [Accessed 17 June 2020].

## **ANEXOS**

# ANEXO I: MÁQUINAS EMPLEADAS EN EL TALLER DE MECÁNICA DE PRECISIÓN DE UNIZAR

En este anexo se pone de manifiesto las máquinas del Taller de Mecánica de Precisión de la Universidad de Zaragoza, utilizadas en los procesos de fabricación de los diferentes componentes de nuestro proyecto y algunas de sus funciones principales:

## Torno PINACHO RAYO 180 con Fagor CNC 8055

Torno paralelo de estructura tipo C de la marca vasca, Pinacho, cuyas principales funciones se explican a continuación:



*Ilustración 39: Torno PINACHO RAYO 180 con Fagor CNC 8055*

Para escribir un programa: Main Menu + Editar P(XXX) + Lenguaje CNC.

Para simular un programa: Main Menu + Simular + Seleccionamos P(XXX) + Recorrido + Marcha (Botón Verde).

Para reglaje de herramientas: Main Menu + Manual + MDI (meter velocidad de rotación y sentido de giro) + Rozar pieza con la herramienta + Preselección Z=X.

Para ejecutar un programa: Main Menu + Ejecutar P(XXX) + Marcha (Botón Verde).

## Fresadora vertical ANAYAK con Fagor CNC 8025 – MS

Fresadora vertical de 3 ejes de estructura tipo caña de columna fija



*Ilustración 40: Fresadora vertical ANAYAK con Fagor CNC 8025 – MS*

Para escribir un programa: Operate Mode: 6 "Editor" + Seleccionar P(XXX) + Continuar.

Para simular un programa: Operate Mode: 4 "En Vacío" + o "Funciones en G" + ENTER + Gráfico + Marcha (Botón Verde).

Para reglaje de herramientas: Operate Mode: 3 "Teach In" + Seleccionar P(XXX) + Continuar + Escribir y ejecutar G54 debajo de la última línea de nuestro programa (Le asigna el valor X = 0 y Y = 0 a la esquina de la mordaza).

Para ejecutar un programa: Operate Mode: 0 "Automático" + Escribir No + RECALL (Para ir a la primera línea de nuestro programa) + Marcha (Botón Verde).

## EDM ONA COMPACT 2

Máquina de electroerosión por penetración ONA COMPACT 2



*Ilustración 41: Máquina EDM ONA COMPACT 2*

Parámetros: - Intensidad: (1A + 2A) x3.


- Tiempo de impulso: 149

-Tiempo de pausa: 15

Limpieza por Aspiración para el punzón de la primera operación.

Limpieza por Presión para el punzón de la segunda operación.

Para reglaje en Z de la herramienta: Botón ON + Botón  + Z=X + ENTER.

Para llenado con líquido dieléctrico: Botón  + Abrir la llave para que entre líquido dieléctrico hasta el nivel deseado.

Para realizar la operación: Botón ON (Una vez lleno el recipiente y habiendo realizado el reglaje).

## EDM hilo ONA PRIMA S250

Máquina de electroerosión por hilo ONA PRIMA S250



*Ilustración 42: Máquina EDM hilo ONA PRIMA S250*

## Sierra de cinta sin – fin SAMUR



*Ilustración 43: Sierra de cinta sin – fin SAMUR*

## Sierra mecánica UNIZ



*Ilustración 44: Sierra mecánica UNIZ*

## Taladro de columna



*Ilustración 45: Taladro de columna IBARMIA AX-32*



## Roscadora neumática



*Ilustración 46: Roscadora neumática de cabezal vertical fijo*

## ANEXO II: PROGRAMAS CNC PARA LA FABRICACIÓN DE LAS PIEZAS Y TRAYECTORIAS

En este anexo se pone de manifiesto los programas CNC que han sido creados y verificados para poder realizar la fabricación de nuestros componentes, simulados a través de la herramienta gratuita de FAGOR CNC [8], para ver si hay errores tanto de programación, como de las trayectorias que va a describir la herramienta.

Para simular el programa en este software, una vez hemos creado y guardado en un documento de texto nuestros códigos de programa, se selecciona entre torno y fresadora según la finalidad de nuestro programa y:

1. Una vez estamos en la pantalla principal del programa, le damos a "Execute".

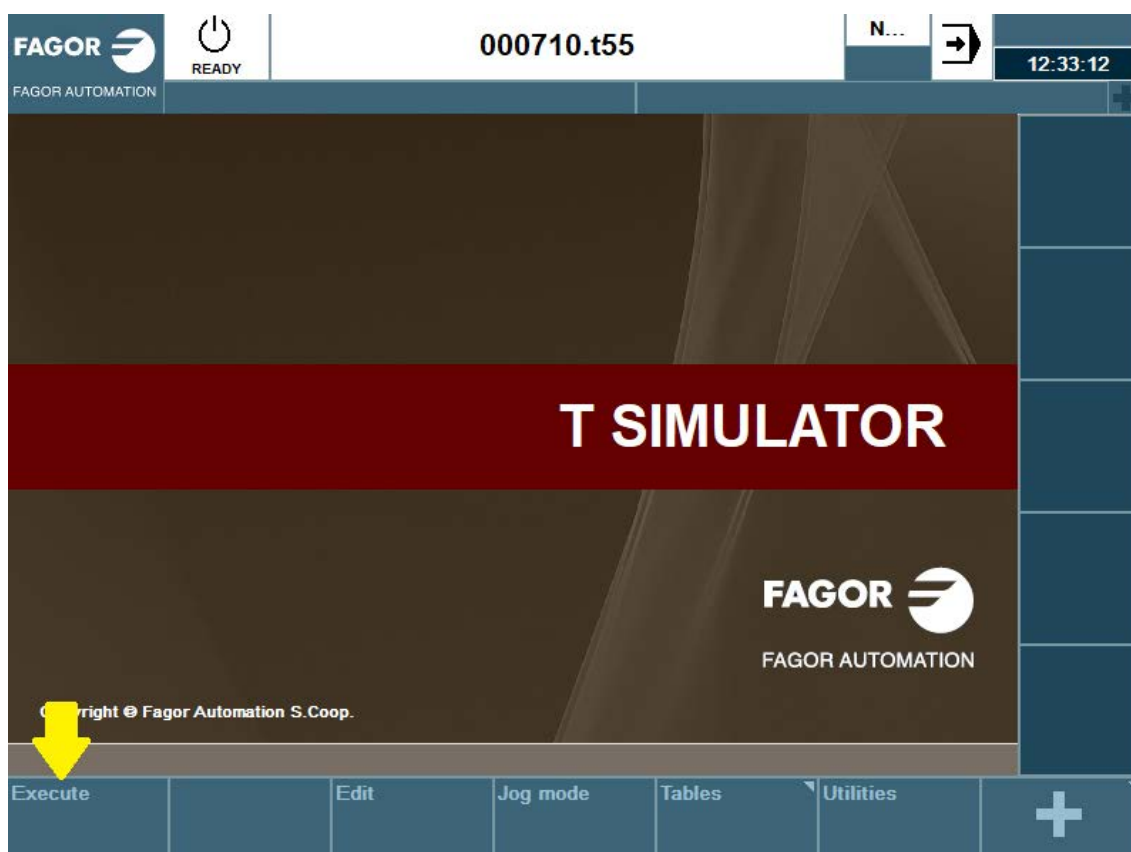


Ilustración 47: Captura de pantalla de FagorCnC

- Una vez allí, vamos a "Select program" y cargamos el programa deseado.

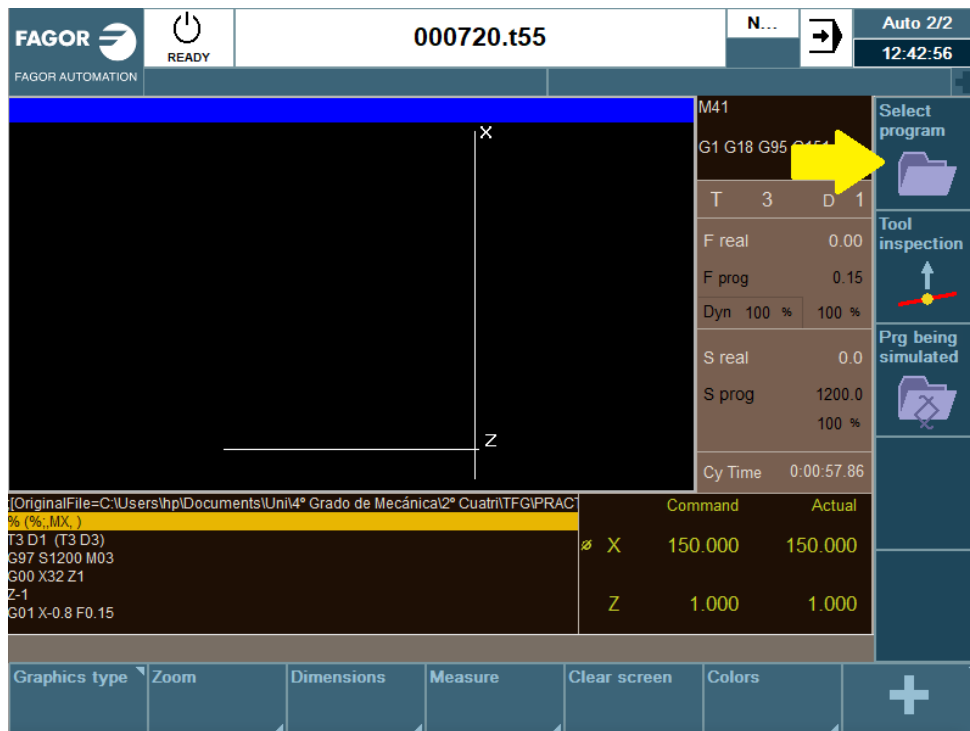


Ilustración 48: Captura de pantalla de FagorCnC (1)

- Posteriormente seleccionamos "Simulated execution", vamos a "Graphics" y tras seleccionar el tipo de gráfico deseado le damos al botón Verde (Marcha) para ver las trayectorias.

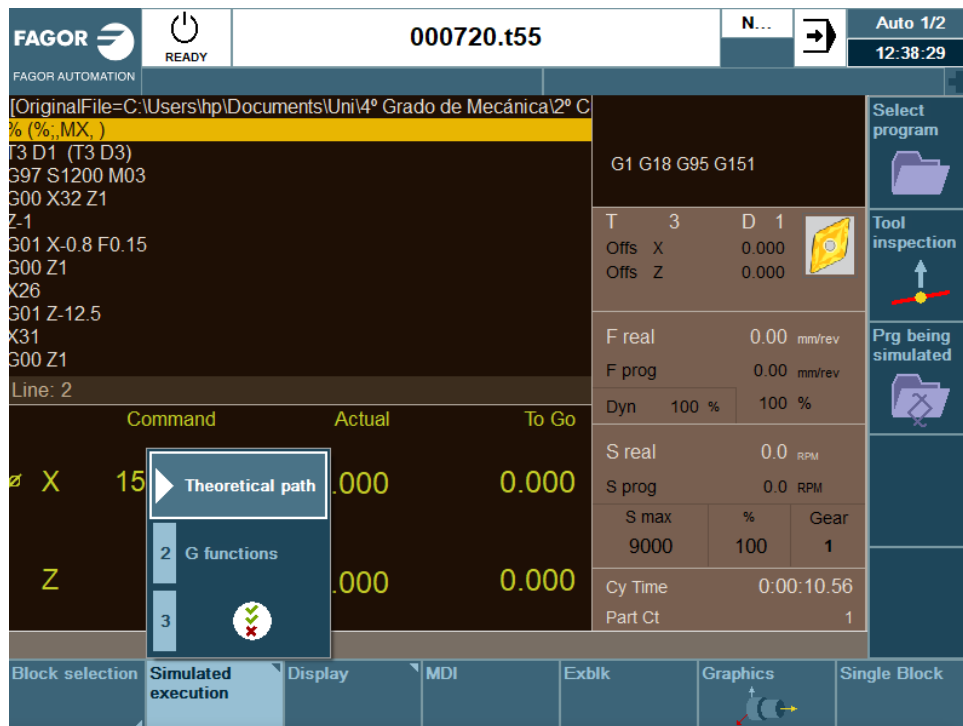


Ilustración 49: Captura de pantalla de FagorCnC (2)

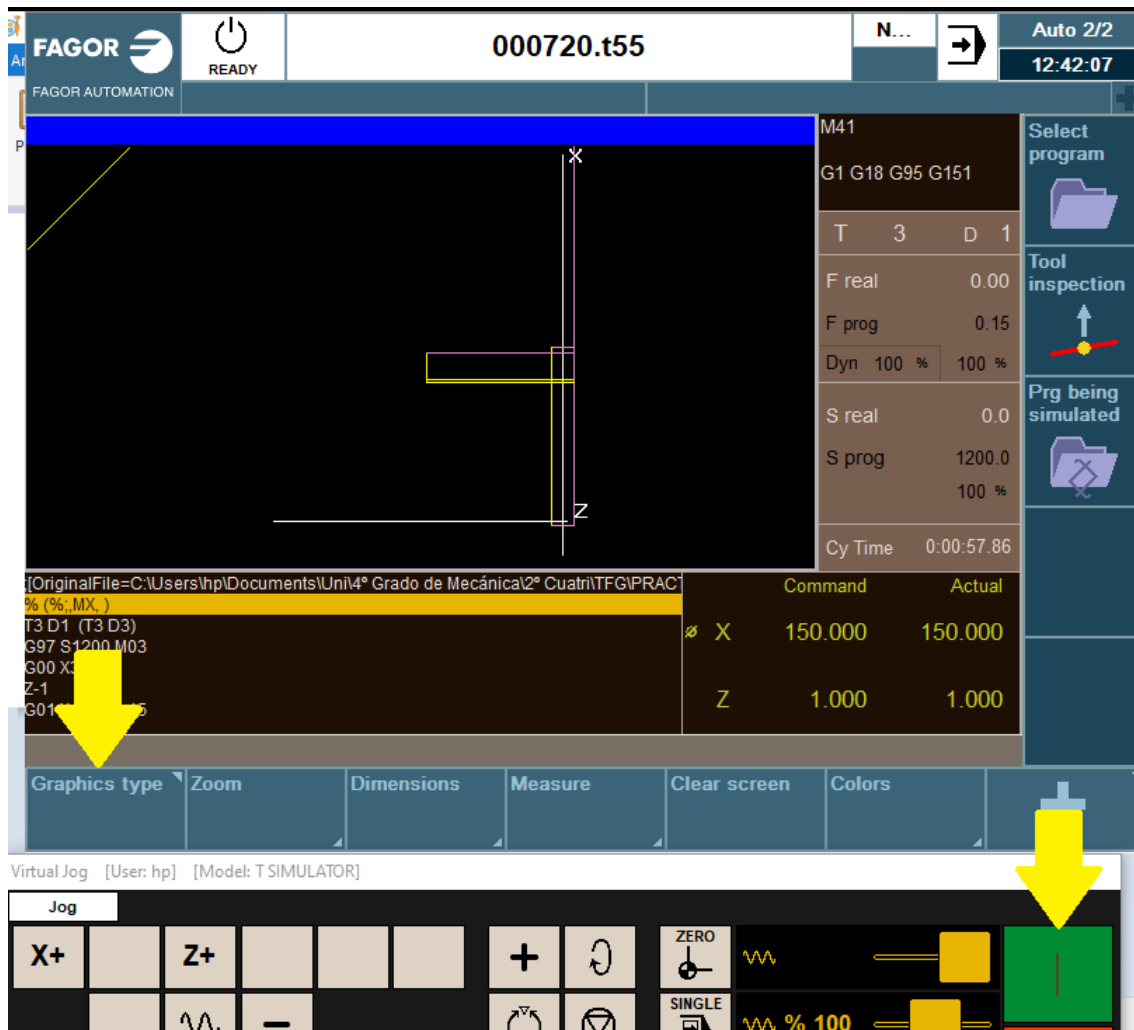


Ilustración 50: Captura de pantalla de FagorCnC (3)

A continuación, se muestran todos los programas creados y únicamente, a modo de ilustración, se pone también las trayectorias de los programas necesarios para la fabricación de la pieza "Conector eje grande + ajustado REDISEÑADO":

### Programa 700 Torno – Ejemplo de mandrinado interior de acabado

```
T8 D8
G97 S1200 M4
G0 X24.8 Z1
G1 Z-32 F0.15
G0 X23
Z5
X150
M30
```

### **Programa 701 Torno – Ejemplo de mandrinado interior de desbaste**

T8 D8  
G97 S1200 M4  
Go X17 Z1  
G1 Z-32 F0.15  
X16  
Go Z1  
X18  
G1 Z-32  
X17  
Go Z1  
X18.15  
G1 Z-32  
X17  
Go Z1  
X150  
M30

### **Programa 704 Torno – Ejemplo de cilindrado exterior**

T3 D3  
G97 S1200 M3  
Go X36 Z1  
G1 Z-54 F0.15  
Go X40 Z1  
X32  
G1 Z-48  
Go X40 Z1  
X29  
G1 Z-48  
Go X40 Z1  
X28.6  
G1 Z-48  
X36  
Z-54  
X40  
Go X150 Z5  
M30

### **Programa 708 Torno – Ejemplo 1 de tronzado**

T5 D5  
S800 M3  
Go X40 Z1

Z-53  
G1 X23 Fo.07  
Go X60  
X150 Z5  
M30

**Programa 709 Torno – Ejemplo 2 de tronzado**

T5 D5  
S800 M3  
Go X40 Z1  
Z-53  
G1 X23 Fo.07  
Go X60  
X150 Z5  
M30

**Programa 710 Torno – Refrentado + Cilindrado de desbaste en Conector B – Parte 1**

T3D3  
G97 S1200 M3  
Go X32 Z1  
Z-1  
G1 X-0.8  
Go Z1  
X26  
G1 Z-10.6  
X31  
Go Z1  
X25.5  
G1 Z-10.6  
X31  
Go Z1  
X150  
M30

**Programa 711 Torno – Cilindrado de acabado en Conector B – Parte 1**

T3 D3  
G97 S1200 M3  
Go Z1  
X25.2  
G1 Z-10.6 Fo.15  
X31  
Go Z1

X150  
M30

### **Programa 712 Torno – Tronzado en Conector B – Parte 1**

T5D5  
G97 S800 M3  
Go Z-20.5  
X31  
G1 X-0.8 Fo.07  
Z-20  
Go X150  
M30

### **Programa 714 Fresadora – Abocardado agujeros axiales Conectores eje grande**

No S800 M3  
N10 Go Z10  
N20 X16 Y18.55 Z2  
N30 G1 Z-4 F100  
N40 G2 X18.55 Y16 R24.5  
N50 G1 Z-7  
N60 G3 X16 Y18.55 R24.5  
N70 G1 Z-10  
N80 G2 X18.55 Y16 R24.5  
N90 G1 Z-13  
N100 G3 X16 Y18.55 R24.5  
N110 Go Z10  
N120 X16 Y-18.55 Z2  
N130 G1 Z-4  
N140 G3 X18.55 Y-16 R24.5  
N150 G1 Z-7  
N160 G2 X16 Y-18.55 R24.5  
N170 G1 Z-10  
N180 G3 X18.55 Y-16 R24.5  
N190 G1 Z-13  
N200 G2 X16 Y-18.55 R24.5  
N210 Go Z10  
N220 X-16 Y-18.55 Z2  
N230 G1 Z-4  
N240 G2 X-18.55 Y-16 R24.5  
N250 G1 Z-7  
N260 G3 X-16 Y-18.55 R24.5  
N270 G1 Z-10  
N280 G2 X-18.55 Y-16 R24.5  
N290 G1 Z-13

N300 G3 X-16 Y-18.55 R24.5  
N310 Go Z10  
N320 X-16 Y18.55 Z2  
N330 G1 Z-4  
N340 G3 X-18.55 Y16 R24.5  
N350 G1 Z-7  
N360 G2 X-16 Y18.55 R24.5  
N370 G1 Z-10  
N380 G3 X-18.55 Y16 R24.5  
N390 G1 Z-13  
N400 G2 X-16 Y18.55 R24.5  
N410 Go Z10  
N420 Z150  
N430 M30  
N440 G54

### **Programa 715 Fresadora – Taladro agujeros axiales en Conectores eje grande**

No S800 M3  
N10 Go Z20  
N20 X17.32 Y17.32  
N25 Z2  
N30 G1 Z-1 F100  
N40 Go Z20  
N50 X17.32 Y-17.32  
N55 Z2  
N60 G1 Z-1  
N70 Go Z20  
N80 X-17.32 Y-17.32  
N85 Z2  
N90 G1 Z-1  
N100 Go Z20  
N110 X-17.32 Y17.32  
N115 Z2  
N120 G1 Z-1  
N130 Go Z20  
N140 Z150  
N150 M30  
N160 G54

### **Programa 718 Fresadora - Punteado agujeros axiales en Anillo Tridente**

No S800M3  
N10 Go Z20  
N20 X-11.25  
N30 Yo



N40 Z2  
N50 G1 Z-1.0 F100  
N60 Go Z5  
N70 X5.625 Y-9.743  
N80 Z2  
N90 G1 Z-1.0  
N100 Go Z5  
N110 Y9.743  
N120 Z2  
N130 G1 Z-1.0  
N140 Go Z5  
N150 Z150  
N160 M30  
N170 G54

**Programa 719 Fresadora – Abocardado agujeros axiales en Anillo Tridente  
(metálico)(3)**

No S800 M3  
N10 Go Z20  
N20 X-11.25  
N30 Yo  
N40 Z2  
N50 G1 Z-5.5 F100  
N60 Go Z5  
N70 X5.625 Y-9.743  
N80 Z2  
N90 G1 Z-5.5  
N100 Go Z5  
N110 Y9.743  
N120 Z2  
N130 G1 Z-5.5  
N140 Go Z5  
N150 Z150  
N160 M30  
N170 G54

**Programa 720 Fresadora - Taladro agujeros axiales en Anillo Tridente**

No S800 M3  
N10 Go Z20  
N20 X-11.25  
N30 Yo  
N40 Z2  
N50 G1 Z-11 F100

N60 G0 Z5  
N70 X5.625 Y-9.743  
N80 Z2  
N90 G1 Z-11  
N100 G0 Z5  
N110 Y9.743  
N120 Z2  
N130 G1 Z-11  
N140 G0 Z5  
N150 Z150  
N160 M30  
N170 G54

**Programa 720 Torno – Refrentado + Cilindrado de desbaste en Conector A**

T3 D3  
G97 S1200 M3  
G0 X32 Z1  
Z-1  
G1 X-0.8 F0.15  
G0 Z1  
X26  
G1 Z-12.5  
X31  
G0 Z1  
X25.5  
G1 Z-12.5  
X31  
G0 Z1  
X150  
M30

**Programa 721 Torno – Cilindrado de acabado en Conector A**

T3 D3  
G97 S1200 M3  
G0 Z1  
X25.2  
G1 Z-12.5 F0.15  
X31  
G0 Z1  
X150  
M30

## **Programa 722 Torno – Tronzado en Conector A**

T5D5  
G97 S800 M3  
Go Z-22.5  
X31  
G1 X14 Fo.07  
Z-20  
Go X150  
M30

## **Programa 724 Fresadora – Abocardado agujeros axiales en Conector eje grande + ajustado REDISEÑADO**

No S800 M3  
N10 Go Z10  
N20 X16 Y20.17 Z2  
N30 G1 Z-4 F100  
N40 G2 X20.17 Y16 R25.74  
N50 G1 Z-7  
N60 G3 X16 Y20.17 R25.74  
N70 G1 Z-10  
N80 G2 X20.17 Y16 R25.74  
N90 G1 Z-13  
N100 G3 X16 Y20.17 R25.74  
N110 Go Z10  
N120 X16 Y-20.17 Z2  
N130 G1 Z-4  
N140 G3 X20.17 Y-16 R25.74  
N150 G1 Z-7  
N160 G2 X16 Y-20.17 R25.74  
N170 G1 Z-10  
N180 G3 X20.17 Y-16 R25.74  
N190 G1 Z-13  
N200 G2 X16 Y-20.17 R25.74  
N210 Go Z10  
N220 X-16 Y-20.17 Z2  
N230 G1 Z-4  
N240 G2 X-20.17 Y-16 R25.74  
N250 G1 Z-7  
N260 G3 X-16 Y-20.17 R25.74  
N270 G1 Z-10  
N280 G2 X-20.17 Y-16 R25.74  
N290 G1 Z-13  
N300 G3 X-16 Y-20.17 R25.74  
N310 Go Z10

N320 X-16 Y20.17 Z2  
N330 G1 Z-4  
N340 G3 X-20.17 Y16 R25.74  
N350 G1 Z-7  
N360 G2 X-16 Y20.17 R25.74  
N370 G1 Z-10  
N380 G3 X-20.17 Y16 R25.74  
N390 G1 Z-13  
N400 G2 X-16 Y20.17 R25.74  
N410 Go Z10  
N420 Z150  
N430 M30  
N440 G54

**Programa 725 Fresadora - Taladrado agujeros axiales en Conector eje grande +  
ajustado REDISEÑADO**

No S800 M3  
N10 Go Z20  
N20 X18.20 Y18.20  
N25 Z2  
N30 G1 Z-1 F100  
N40 Go Z20  
N50 X18.20 Y-18.20  
N55 Z2  
N60 G1 Z-1  
N70 Go Z20  
N80 X-18.20 Y-18.20  
N85 Z2  
N90 G1 Z-1  
N100 Go Z20  
N110 X-18.20 Y18.20  
N115 Z2  
N120 G1 Z-1  
N130 Go Z20  
N140 Z150  
N150 M30  
N160 G54

**Programa 730 Torno – Cilindrado en Conector B – Parte 2**

T3D3  
G97 S1000 M3  
Go Z1  
X26  
G1 Z-5 F0.15

X31  
Go Z1  
X25  
G1 Z-5  
X31  
Go Z1  
X150  
M30

**Programa 731 Torno – Tronzado en Conector B – Parte 2**

T5D5  
G97S800M3  
GoZ-7.5  
X31  
G1X11.5Fo.07  
Zo  
GoX150  
M30

**Programa 740 Torno – Refrentado + Cilindrado en Conector eje grande bueno  
aluminio flexural**

T3 D3  
G97 S1000 M3  
Go X61 Z1  
Z-1  
G1 X28 Fo.15  
Zo  
Go X52  
G1 G42 X53  
G1 X55 Z-1  
X59 Z-3  
G40 Zo  
X57.15  
Z-27  
X61  
Go Z2  
X150  
M30

**Programa 741 Torno – Mandrinado para rebaje circular en Conector eje grande  
bueno aluminio flexural**

T8D8  
G97 S1000 M4  
Go X28 Z1  
G1 Z-3 F0.1  
X40  
Z1  
Go X28 Z1  
G1 Z-5  
X40  
Z1  
Go X150  
M30

**Programa 743 Torno – Cilindrado de desbaste para tronzar en Conector eje grande  
bueno aluminio flexural**

T3 D3  
G97 S1000 M3  
Go X56.5 Z21  
G1 Z2 F0.15  
X60  
Go Z21  
X53  
G1 Z2  
X60  
Go Z21  
X50  
G1 Z2  
X60  
Go Z21  
X150  
M30

**Programa 744 Torno – Tronzado en Conector eje grande bueno aluminio flexural**

T5 D5  
S800 M3  
Go X60 Z1  
Z0  
G1 X28 F0.07  
Go X60

X150 Z5  
M30

**Programa 745 Torno – Mandrinado de acabado en Conector eje grande bueno  
aluminio flexural**

T8 D8  
G97 S1000 M4  
Go X31 Z1  
G1 Z-22 Fo.15  
X30  
Go Z1  
X32  
G1 Z-22  
X30  
Go Z1  
X33  
G1 Z-22  
X30  
Go Z1  
X34  
G1 Z-23  
X30  
Go Z1  
X35.3  
G1 Z-20  
X34  
Z-23  
X30  
Go Z1  
X150  
M30

**Programa 750 Torno – Refrentado + Cilindrado en Conector eje grande bueno  
aluminio**

T3 D3  
G97 S1000 M3  
Go X61 Z1  
Z-1  
G1 X13 Fo.15  
Zo  
Go X52  
G1 G42 X53  
G1 X55 Z-1

X59 Z-3  
G40 Z0  
X57.15  
Z-27  
X61  
Go Z2  
X150  
M30

**Programa 751 Torno – Mandrinado para rebaje circular en Conector eje grande  
bueno aluminio**

T8D8  
G97 S1000 M4  
Go X13 Z1  
G1 Z-1.5 F0.1  
X40  
Z1  
Go X14  
G1 Z-2  
X40  
Z1  
Go X60  
Z-1  
G1 X40  
Z-2.2  
X14  
Z1  
Go X150  
M30

**Programa 752 Torno – Cilindrado de desbaste para tronzar en Conector eje grande  
bueno aluminio**

T3 D3  
G97 S1000 M3  
Go X56.5 Z21  
G1 Z2 F0.15  
X60  
Go Z21  
X53  
G1 Z2  
X60  
Go Z21  
X50



G1 Z2  
X60  
G0 Z21  
X150  
M30

**Programa 753 Torno – Tronzado en Conector eje grande bueno aluminio**

T5 D5  
G97 S800 M3  
G0 X62 Z1  
Z0  
G1 X28 F0.07  
Z1  
G0 X60  
X150 Z5  
M30

**Programa 754 Torno – Mandrinado de acabado en Conector eje grande bueno aluminio**

T8 D8  
G97 S1000 M4  
G0 X14 Z1  
G1 Z-20 F0.15  
X14  
G0 Z1  
X15  
G1 Z-20  
X15  
G0 Z1  
X16  
G1 Z-20  
X15  
G0 Z1  
X17  
G1 Z-20  
X15  
G0 Z1  
X18  
G1 Z-20  
X15  
G0 Z1  
X19  
G1 Z-20

X15  
Go Z1  
X20  
G1 Z-20  
X15  
Go Z1  
X21  
G1 Z-20  
X15  
Go Z1  
X22  
G1 Z-20  
X15  
Go Z1  
X23  
G1 Z-20  
X15  
Go Z1  
X24  
G1 Z-20  
X15  
Go Z1  
X25  
G1 Z-20  
X15  
Go Z1  
X26  
G1 Z-20  
X15  
Go Z1  
X27  
G1 Z-20  
X15  
Go Z1  
X28  
G1 Z-20  
X15  
Go Z1  
X29  
G1 Z-20  
X15  
Go Z1  
X30  
G1 Z-20  
X15  
Go Z1  
X31

G1 Z-20  
X15  
Go Z1  
X32  
G1 Z-20  
X30  
Go Z1  
X33  
G1 Z-20  
X30  
Go Z1  
X34  
G1 Z-20  
X30  
Go Z1  
X35  
G1 Z-20  
X30  
Go Z1  
X35.5  
G1 Z-20  
X30  
Go Z1  
X150  
M30

**Programa 760 Torno – Refrentado + Cilindrado en Anillo Tridente (metálico) (3)**

T3 D3  
G97 S1000 M3  
Go X31 Z1  
Z-0.5  
G1 X14 F0.15  
Zo  
Go X29.5  
G1 Z-33.5  
X31  
Go Z2  
X150  
M30

**Programa 762 Torno – Tronzado en Anillo Tridente (metálico) (3)**

T5 D5  
S800 M3  
Go X30 Z1

Z-32  
G1 X14 Fo.07  
Z-30  
Go X60  
X150 Z5  
M30

**Programa 770 Torno – Refrentado + Cilindrado de desbaste en Adaptador Tridente –**

**Tubo pequeño**

T3 D3  
G97 S1000 M3  
Go X32 Z1  
Z-0.5  
G1 X10 Fo.15  
Z0  
Go X27  
G1 Z-43.5  
X30  
Go Z0  
X24  
G1 Z-43.5  
X27  
Go Z0  
X21  
G1 Z-43.5  
X24  
Go Z0  
X18  
G1 Z-43.5  
X21  
Go Z0  
X16.2  
G1 Z-43.5  
X18  
Go Z0  
X150  
M30

**Programa 771 Torno – Cilindrado de acabado en Adaptador Tridente – Tubo pequeño**

T3 D3  
G97 S1000 M3  
Go X13.95 Z1  
G1 G42 Z0 Fo.15  
X15.92 Z-1  
Z-30.5

G42 X18.35  
Go Z1  
X150  
M30

**Programa 772 Torno – Tronzado en Adaptador Tridente – Tubo pequeño**

T5 D5  
G97 S800 M3  
Go X32 Z1  
Z-43.8  
G1 X10 Fo.07  
Z-42  
Go Z1  
X150  
M30

**Programa 775 Torno – Refrentado + Cilindrado en Anillo Tridente (metálico)**

T3 D3  
G97 S1000 M3  
Go X31 Z1  
Z-0.5  
G1 X16 Fo.15  
Zo  
Go X29.5  
G1 Z-11.5  
X31  
Go Z2  
X150  
M30

**Programa 776 Torno – Mandrinado en Anillo Tridente (metálico)**

T4 D4  
G97 S1200 M3  
Go X18.3 Z1  
G1 Z-11.5 Fo.15  
X15  
Go Z1  
X150  
M30

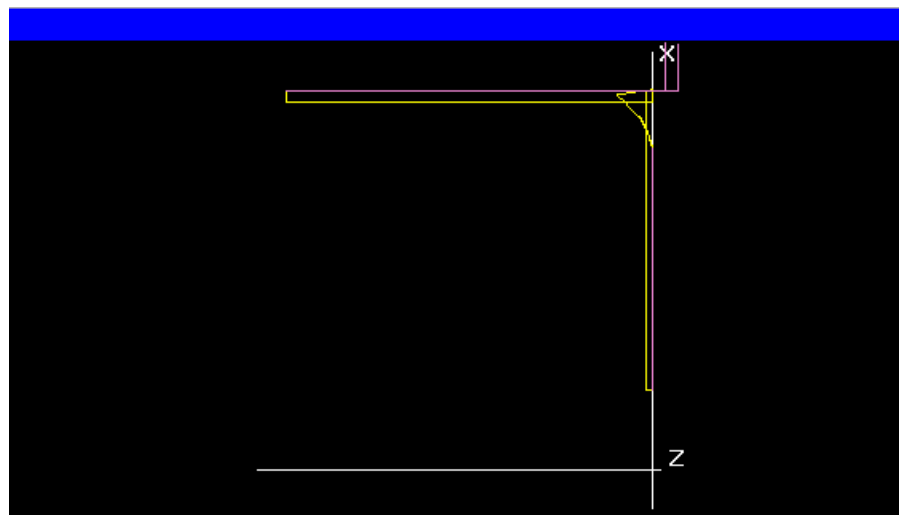
### Programa 777 Torno – Tronzado en Anillo Tridente (metálico)

```
T5 D5  
G97 S800 M3  
Go X31 Z1  
Z-12.5  
G1 X16 F0.07  
Z-10  
Go X60  
X150 Z5  
M30
```

### Programa 785 Torno – Refrentado + Cilindrado en Conector eje grande + ajustado

#### REDISEÑADO

```
T3 D3  
G97 S1200 M3  
Go X61 Z1  
Z-0.5  
G1 X13 F0.15  
Zo  
Go X52  
G1 G42 X55.3  
G1 X57.3 Z-0.5  
X61.3 Z-2.5  
G40 Zo  
X59.3  
Z-29.5  
X61  
Go Z2  
X150  
M30
```



*Ilustración 51: Simulación de las trayectorias de la herramienta en el programa 785*

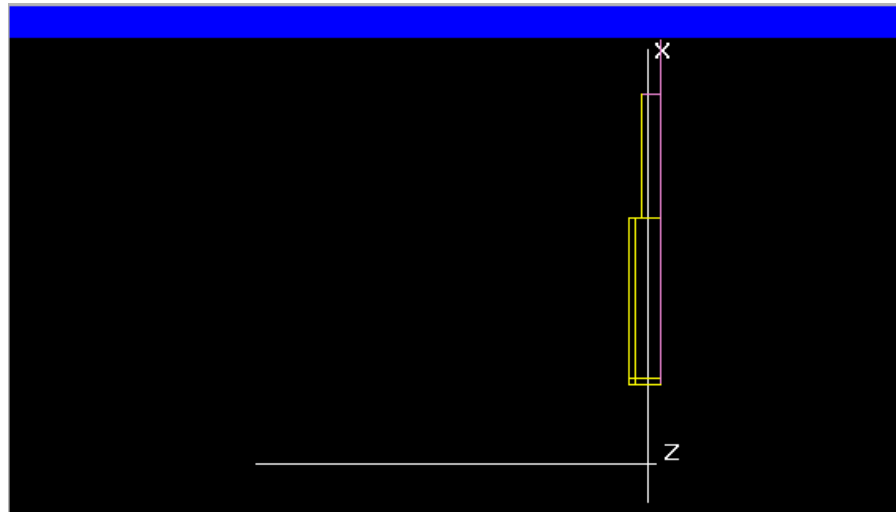
### Programa 786 Torno – Mandrinado para rebaje circular en Conector eje grande + ajustado REDISEÑADO

```
T8 D8  
G97 S1200 M4  
Go X13 Z1  
G1 Z-1 F0.1  
X40  
Z1  
Go X13  
G1 Z-1.5  
X40
```

```

Z1
Go X60
Z-0.5
G1 X40
Z-1.6
X14
Z1
Go X150
M30

```



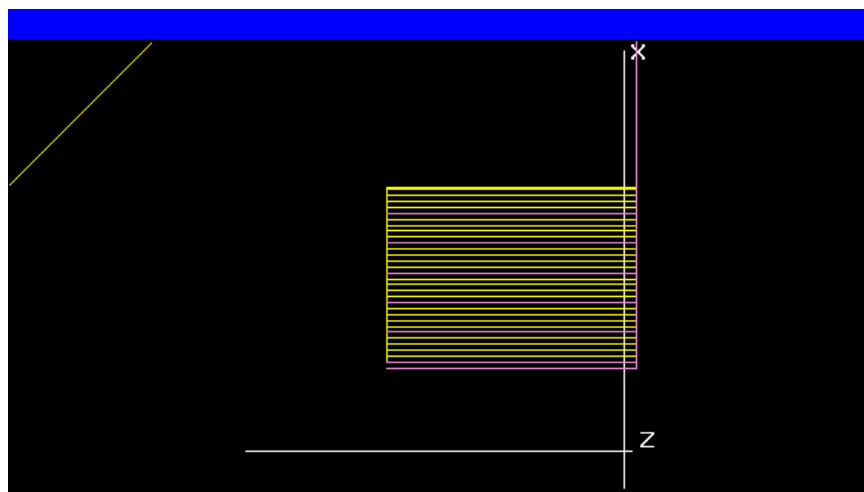
*Ilustración 52: Simulación de las trayectorias de la herramienta en el programa 786*

**Programa 787 Torno – Mandrinado en Conector eje grande + ajustado REDISEÑADO**

```

T8 D8
G97 S1000 M4
Go X14 Z1
G1 Z-20 F0.15
X14
Go Z1
X15
G1 Z-20
X15
Go Z1
X16
G1 Z-20

```



*Ilustración 53: Simulación de las trayectorias de la herramienta en el programa 787*

```

X15
Go Z1
X17
G1 Z-20
X15
Go Z1
X18
G1 Z-20
X15
Go Z1
X19
G1 Z-20
X15
Go Z1
X20
G1 Z-20

```

X15  
Go Z1  
X21  
G1 Z-20  
X20  
Go Z1  
X22  
G1 Z-20  
X20  
Go Z1  
X23  
G1 Z-20  
X20  
Go Z1  
X24  
G1 Z-20  
X20  
Go Z1  
X25  
G1 Z-20  
X20  
Go Z1  
X26  
G1 Z-20  
X25  
Go Z1  
X27  
G1 Z-20  
X25  
Go Z1  
X28  
G1 Z-20  
X25  
Go Z1  
X29  
G1 Z-20  
X25  
Go Z1  
X30  
G1 Z-20  
X25  
Go Z1  
X31  
G1 Z-20  
X30  
Go Z1  
X32

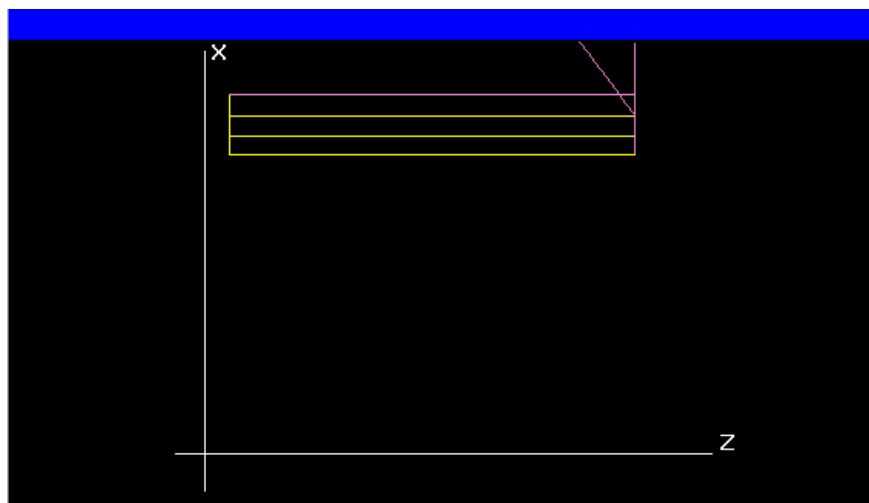


G1 Z-20  
X30  
Go Z1  
X33  
G1 Z-20  
X30  
Go Z1  
X34  
G1 Z-20  
X30  
Go Z1  
X35  
G1 Z-20  
X30  
Go Z1  
X36  
G1 Z-20  
X35  
Go Z1  
X37  
G1 Z-20  
X35  
Go Z1  
X38  
G1 Z-20  
X35  
Go Z1  
X39  
G1 Z-20  
X35  
Go Z1  
X40  
G1 Z-20  
X35  
Go Z1  
X41  
G1 Z-20  
X40  
Go Z1  
X42  
G1 Z-20  
X40  
Go Z1  
X43  
G1 Z-20  
X40  
Go Z1

X44  
G1 Z-20  
X40  
G0 Z1  
X44.25  
G1 Z-20  
X40  
G0 Z1  
X150  
M30

**Programa 788 Torno – Cilindrado de desbaste para tronzar en Conector eje grande + ajustado REDISEÑADO**

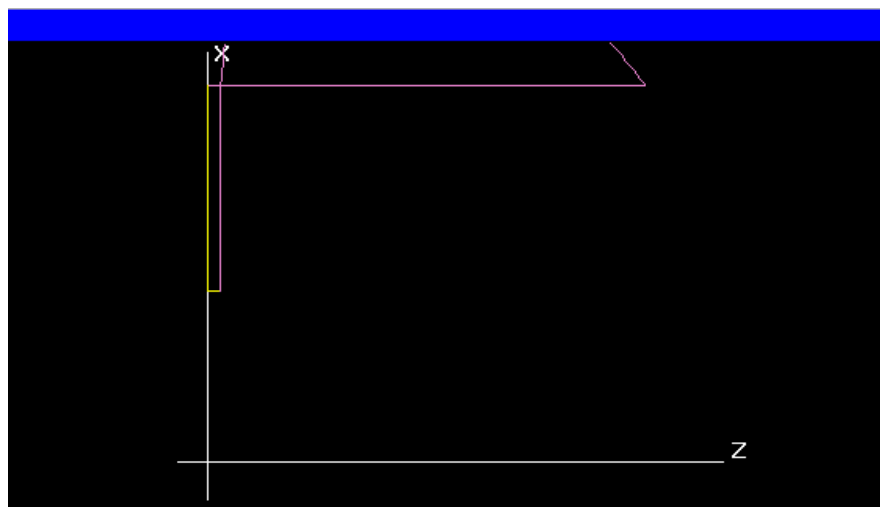
T3 D3  
G97 S1000 M3  
G0 X56.5 Z36  
G1 Z2 F0.15  
X60  
G0 Z36  
X53  
G1 Z2  
X60  
G0 Z36  
X50  
G1 Z2  
X60  
G0 Z36  
X150  
M30



*Ilustración 54: Simulación de las trayectorias de la herramienta en el programa 788*

**Programa 789 Torno – Tronzado en Conector eje grande + ajustado REDISEÑADO**

T5 D5  
G97 S800 M3  
G0 X62 Z36  
Z0  
G1 X28 F0.07  
Z1  
G0 X60  
X150 Z5  
M30



*Ilustración 55: Simulación de las trayectorias de la herramienta en el programa 789*

**Programa 815 Torno – Mandrinado de desbaste en Casquillo exterior tubo 1**

T4 D4  
G97 S1200 M3  
Go Z5  
X16.44  
G1 Z-32 Fo.15  
X15  
Go Z1  
X17  
G1 Z-28  
X15  
Go Z1  
X17.5  
G1 Z-28  
X15  
Go Z1  
X17.8  
G1 Z-28  
X15  
Go Z1  
X19.8  
G1 G41 Zo  
X16.8 Z-1.5  
G40 X15  
Go Z5  
X150  
M30

**Programa 816 Torno – Mandrinado de acabado en Casquillo exterior tubo 1**

T4 D4  
G97 S1200 M3  
Go X18.3 Z1  
G1 Z-28 Fo.15  
X16.44  
Z-32  
X15  
Go Z5  
X150  
M30

**Programa 817 Torno – Cilindrado de desbaste en Casquillo exterior tubo 1**

T3 D3

G97 S1200 M3  
Go X27 Z1  
G1 Z-32 F0.15  
X30  
Go Z1  
X24  
G1 Z-32  
X27  
Go Z1  
X22.65  
G1 Z-32  
X25  
Go X150 Z5  
M30

**Programa 818 Torno – Cilindrado de acabado en Casquillo exterior tubo 1**

T3 D3  
G97 S1200 M3  
Go X22.28 Z1  
G1 Z-32 F0.15  
X25  
Go X150 Z5  
M30

**Programa 819 Torno – Tronzado en Casquillo exterior tubo 1**

T5 D5  
S800 M3  
Go X32 Z1  
Z-33  
G1 X13 F0.07  
Go X60 Z1  
X150 Z5  
M30

**Programa 820 Torno – Mandrinado de desbaste en Casquillo interior tubo 2**

T4 D4  
G97 S1200 M3  
Go X17.8 Z1  
G1 Z-32 F0.15  
X15  
Go Z1  
X150  
M30

**Programa 821 Torno – Mandrinado de acabado en Casquillo interior tubo 2**

T4 D4  
G97 S1200 M3  
G0 X18.32 Z1  
G1 Z-32 F0.15  
X15  
G0 Z5  
X150  
M30

**Programa 822 Torno – Cilindrado de desbaste en Casquillo interior tubo 2**

T3 D3  
G97 S1200 M3  
G0 X27 Z1  
G1 Z-32 F0.15  
X30  
G0 Z1  
X24  
G1 Z-28  
X27  
G0 Z1  
X22.75  
G1 Z-28  
X26.985  
Z-32  
X30  
G0 Z-1.5  
G1 G41 X23.35  
X21.35 Z-0.5  
X15  
G40 Z0  
G0 X150 Z5  
M30

**Programa 823 Torno – Cilindrado de acabado en Casquillo interior tubo 2**

T3 D3  
G97 S1200 M3  
G0 X22.32 Z1  
G1 Z-28 F0.15  
X26.985  
Z-32

Go X150 Z5  
M30

**Programa 824 Torno – Tronzado en Casquillo interior tubo 2**

T5 D5  
S800 M3  
Go X32 Z1  
Z-33  
G1 X15 Fo.07  
Go X60 Z1  
X150 Z5  
M30

**Programa 825 Torno – Mandrinado de desbaste en Casquillo exterior tubo 2**

T8 D8  
G97 S1200 M4  
Go Z5  
X22.79  
G1 Z-32 Fo.15  
X20  
Go Z1  
X24  
G1 Z-28  
X20  
Go Z1  
X24.3  
G1 Z-28  
X20  
Go Z1  
X26.5  
G1 G41 Z0  
X23.5 Z-1.5  
G40 X23  
Go Z5  
X150  
M30

**Programa 826 Torno – Mandrinado de acabado en Casquillo exterior tubo 2**

T8 D8  
G97 S1200 M4  
Go X25.2 Z1

G1 Z-28 Fo.15  
X22.79  
Z-32  
X20  
Go Z5  
X150  
M30

**Programa 827 Torno – Cilindrado de desbaste en Casquillo exterior tubo 2**

T3 D3  
G97 S1200 M3  
Go X29 Z1  
G1 Z-32 Fo.15  
X30  
Go Z1  
Go X150 Z5  
M30

**Programa 828 Torno – Cilindrado de acabado en Casquillo exterior tubo 2**

T3 D3  
G97 S1200 M3  
Go X28.665 Z1  
G1 Z-32 Fo.15  
X33.34  
Go X150 Z5  
M30

**Programa 829 Torno – Tronzado en Casquillo exterior tubo 2**

T5 D5  
S800 M3  
Go X32 Z1  
Z-33  
G1 X20 Fo.07  
Go X60 Z1  
X150 Z5  
M30

**Programa 830 Torno – Mandrinado de desbaste en Casquillo interior tubo 3**

T8 D8  
G97 S1200 M4

Go X23 Z1  
G1 Z-32 Fo.15  
X22  
Go Z1  
X24  
G1 Z-32  
X22  
Go Z1  
X25  
G1 Z-32  
X22  
Go Z1  
X150  
M30

**Programa 831 Torno – Mandrinado de acabado en Casquillo interior tubo 3**

T8 D8  
G97 S1200 M4  
Go X25.25 Z1  
G1 Z-32 Fo.15  
X23  
Go Z5  
X150  
M30

**Programa 832 Torno – Cilindrado de desbaste en Casquillo interior tubo 3**

T3 D3  
G97 S1200 M3  
Go X37 Z1  
G1 Z-32 Fo.15  
X40  
Go Z1  
X34  
G1 Z-32  
X37  
Go Z1  
X31  
G1 Z-28  
X34  
Go Z1  
X29.2  
G1 Z-28  
X33.34  
Z-32



X40  
G0 Z-1.5  
G1 G41 X30.2  
X28.2 Z-0.5  
X24  
G40 Z0  
G0 X150 Z5  
M30

**Programa 833 Torno – Cilindrado de acabado en Casquillo interior tubo 3**

T3 D3  
G97 S1200 M3  
G0 X28.67 Z1  
G1 Z-28 F0.15  
X35  
G0 X150 Z5  
M30

**Programa 834 Torno – Tronzado en Casquillo interior tubo 3**

T5 D5  
S800 M3  
G0 X42 Z1  
Z-33  
G1 X24 F0.07  
G0 X60 Z1  
X150 Z5  
M30

**Programa 835 Torno – Mandrinado de desbaste en Casquillo exterior tubo 3**

T8 D8  
G97 S1200 M4  
G0 Z5  
X29.14  
G1 Z-32 F0.15  
X28  
G0 Z1  
X30  
G1 Z-28  
X28  
G0 Z1  
X30.7  
G1 Z-28  
X28

Go Z1  
X32.7  
G1 G41 Zo  
X29.7 Z-1.5  
G40 X28  
Go Z5  
X150  
M30

**Programa 836 Torno – Mandrinado de acabado en Casquillo exterior tubo 3**

T8 D8  
G97 S1200 M4  
Go X31.5 Z1  
G1 Z-28 Fo.15  
X29.14  
Z-32  
X26  
Go Z5  
X150  
M30

**Programa 837 Torno – Cilindrado de desbaste en Casquillo exterior tubo 3**

T3 D3  
G97 S1200 M3  
Go X38 Z1  
G1 Z-32 Fo.15  
X40  
Go Z1  
X35.5  
G1 Z-32  
X38  
Go X150 Z5  
M30

**Programa 838 Torno – Cilindrado de acabado en Casquillo exterior tubo 3**

T3 D3  
G97 S1200 M3  
Go X35 Z1  
G1 Z-32 Fo.15  
X41  
Go X150 Z5  
M30

**Programa 839 Torno – Tronzado en Casquillo exterior tubo 3**

T5 D5  
S800 M3  
Go X42 Z1  
Z-33  
G1 X25 F0.07  
Go X60 Z1  
X150 Z5  
M30

**Programa 840 Torno – Mandrinado de desbaste en Casquillo interior tubo 4**

T8 D8  
G97 S1200 M4  
Go X31 Z1  
G1 Z-32 F0.15  
X30  
Go Z1  
X31.35  
G1 Z-32  
X30  
Go Z1  
X150  
M30

**Programa 841 Torno – Mandrinado de acabado en Casquillo interior tubo 4**

T8 D8  
G97 S1200 M4  
Go X31.6 Z1  
G1 Z-32 F0.15  
X30  
Go Z5  
X150  
M30

**Programa 842 Torno – Cilindrado de desbaste en Casquillo interior tubo 4**

T3 D3  
G97 S1200 M3  
Go X39.69 Z1  
G1 Z-32 F0.15  
X40

Go Z1  
X37  
G1 Z-28  
X40  
Go Z1  
X35.55  
G1 Z-28  
X39.69  
Z-32  
X40  
Go Z-1.5  
G1 G41 X36.55  
X34.55 Z-0.5  
X26  
G40 Z0  
Go X150 Z5  
M30

**Programa 843 Torno – Cilindrado de acabado en Casquillo interior tubo 4**

T3 D3  
G97 S1200 M3  
Go X35 Z1  
G1 Z-28 F0.15  
X40  
Go X150 Z5  
M30

**Programa 844 Torno – Tronzado en Casquillo interior tubo 4**

T5 D5  
S800 M3  
Go X42 Z1  
Z-33  
G1 X30 F0.07  
Go X60 Z1  
X150 Z5  
M30

**Programa 845 Torno – Mandrinado de desbaste en Casquillo exterior tubo 4**

T8 D8  
G97 S1200 M4  
Go Z5  
X31

G1 Z-32 Fo.15  
X30  
Go Z1  
X32  
G1 Z-32  
X30  
Go Z1  
X33.49  
G1 Z-32  
X30  
Go Z1  
X35  
G1 Z-28  
X32  
Go Z1  
X36  
G1 Z-28  
X30  
Go Z1  
X36.9  
G1 Z-28  
X30  
Go Z1  
X38.9  
G1 G41 Zo  
X35.9 Z-1.5  
G40 X30  
Go Z5  
X150  
M30

**Programa 846 Torno – Mandrinado de acabado en Casquillo exterior tubo 4**

T8 D8  
G97 S1200 M4  
Go X37.88 Z1  
G1 Z-28 Fo.15  
X33.49  
Z-32  
X28  
Go Z5  
X150  
M30

**Programa 847 Torno – Cilindrado de desbaste en Casquillo exterior tubo 4**

T3 D3  
G97 S1200 M3  
Go X56 Z1  
G1 Z-32 F0.15  
X60  
Go Z1  
X52  
G1 Z-32  
X60  
Go Z1  
X48  
G1 Z-32  
X52  
Go Z1  
X44  
G1 Z-32  
X50  
Go Z1  
X41.8  
G1 Z-32  
X45  
Go X150 Z5  
M30

**Programa 848 Torno – Cilindrado de acabado en Casquillo exterior tubo 4**

T3 D3  
G97 S1200 M3  
Go X41.385 Z1  
G1 Z-32 F0.15  
X43  
Go X150 Z5  
M30

**Programa 849 Torno – Tronzado en Casquillo exterior tubo 4**

T5 D5  
S800 M3  
Go X62 Z1  
Z-33  
G1 X26 F0.07  
Go X60 Z1

X150 Z5  
M30

**Programa 850 Torno – Mandrinado de desbaste en Casquillo interior tubo 5**

T8 D8  
G97 S1200 M4  
Go X31 Z1  
G1 Z-32 F0.15  
X30  
Go Z1  
X32  
G1 Z-32  
X30  
Go Z1  
X33  
G1 Z-32  
X30  
Go Z1  
X34  
G1 Z-32  
X30  
Go Z1  
X35  
G1 Z-32  
X30  
Go Z1  
X36  
G1 Z-32  
X30  
Go Z1  
X37  
G1 Z-32  
X30  
Go Z1  
X37.7  
G1 Z-32  
X30  
Go Z1  
X150  
M30

**Programa 851 Torno – Mandrinado de acabado en Casquillo interior tubo 5**

T8 D8  
G97 S1200 M4

Go X37.95 Z1  
G1 Z-32 Fo.15  
X30  
Go Z5  
X150  
M30

**Programa 852 Torno – Cilindrado de desbaste en Casquillo interior tubo 5**

T3 D3  
G97 S1200 M3  
Go X56 Z1  
G1 Z-32 Fo.15  
X60  
Go Z1  
X52  
G1 Z-32  
X60  
Go Z1  
X48  
G1 Z-32  
X55  
Go Z1  
X46.04  
G1 Z-32  
X50  
Go Z1  
X43  
G1 Z-28  
X50  
Go Z1  
X41.9  
G1 Z-28  
X46.04  
Z-32  
X50  
Go Z-1.5  
G1 G41 X42.9  
X40.9 Z-0.5  
X25  
G40 Z0  
Go X150 Z5  
M30



**Programa 853 Torno – Cilindrado de acabado en Casquillo interior tubo 5**

T3 D3  
G97 S1200 M3  
Go X41.45 Z1  
G1 Z-28 F0.15  
X50  
Go X150 Z5  
M30

**Programa 854 Torno – Tronzado en Casquillo interior tubo 5**

T5 D5  
S800 M3  
Go X62 Z1  
Z-33  
G1 X26 F0.07  
Go X60 Z1  
X150 Z5  
M30

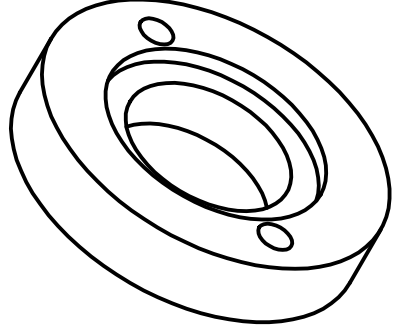
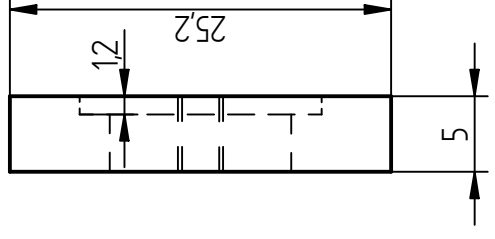
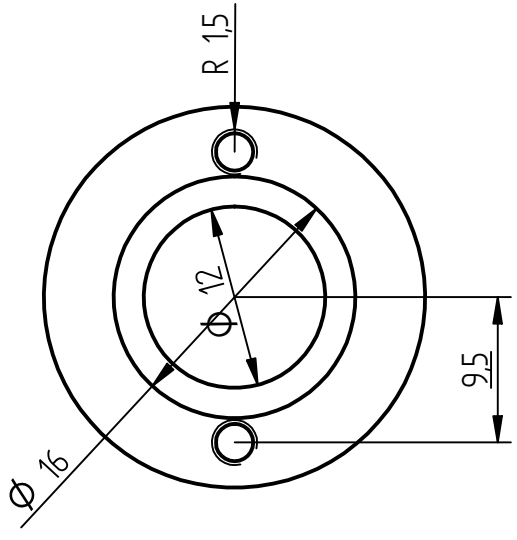
# ANEXO III: PLANOS

## ÍNDICE DE PLANOS

1. Plano del Conector B – Parte 1 .....	91
2. Plano del Conector B – Parte 2 .....	92
3. Plano del Conector A .....	93
4. Plano del Conector eje grande bueno aluminio flexural .....	94
5. Plano del Conector eje grande bueno aluminio .....	95
6. Plano del Anillo Tridente aluminio (metálico) .....	96
7. Plano del Adaptador Tridente – Tubo pequeño .....	97
8. Anillo Tridente (metálico) .....	98
9. Conector eje grande + ajustado REDISEÑADO .....	99
10. Casquillo exterior tubo 1 .....	100
11. Casquillo interior tubo 2 .....	101
12. Casquillo exterior tubo 2 .....	102
13. Casquillo interior tubo 3 .....	103
14. Casquillo exterior tubo 3 .....	104
15. Casquillo interior tubo 4 .....	105
16. Casquillo exterior tubo 4 .....	106
17. Casquillo interior tubo 5 .....	107



Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado

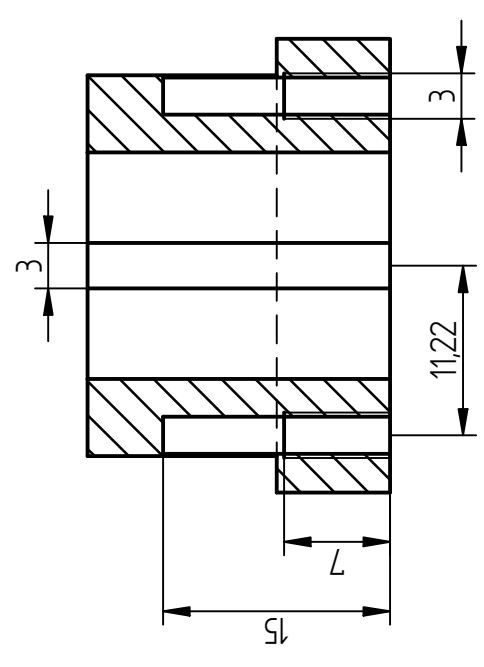
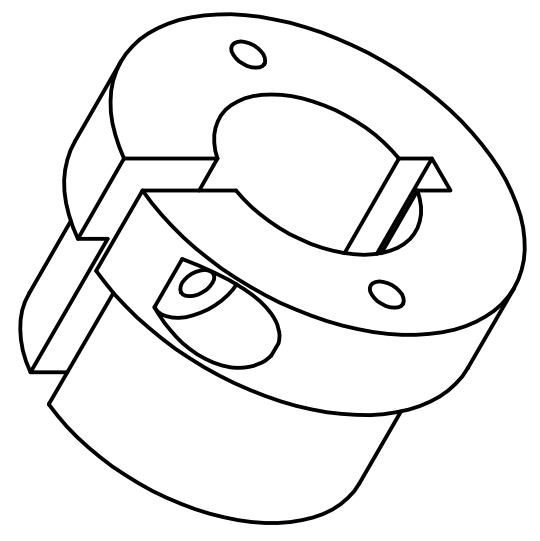
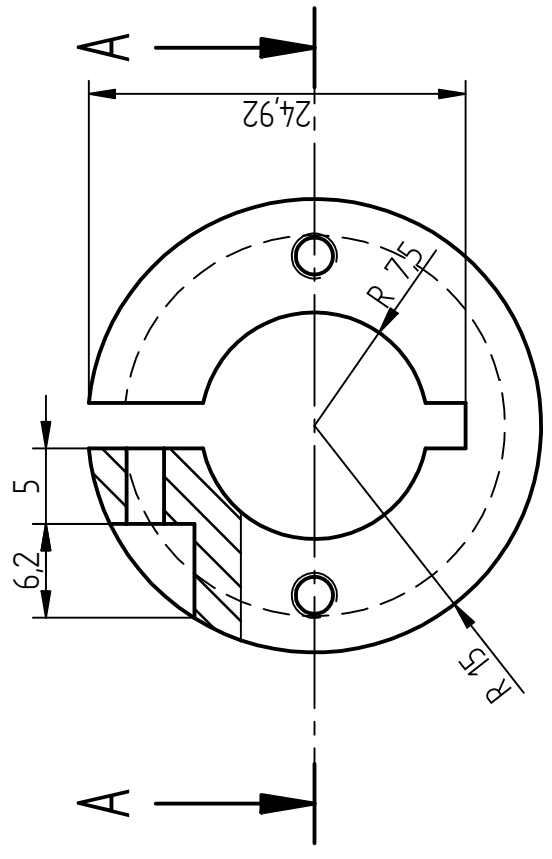
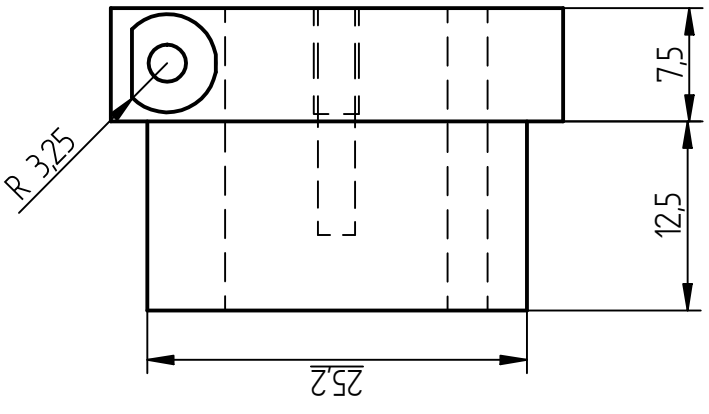


Nombre	Fecha
Dibujado	
Comprobado	
Aprobado 1	
Aprobado 2	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$	

<b>Solid Edge</b> Siemens PLM	
Título	
A3	Plano
Rev	
Archivo: Conector B - Parte2.dff	
Escala	Peso
Hoja 1 de 1	

Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



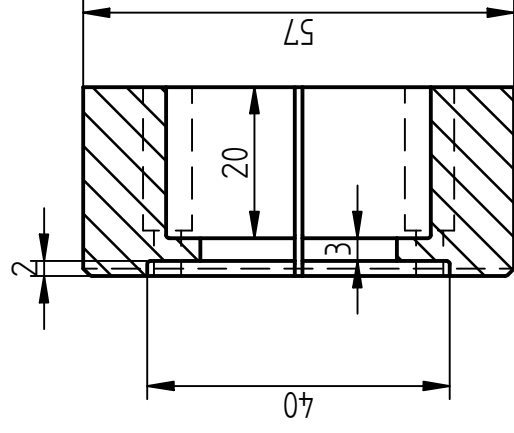
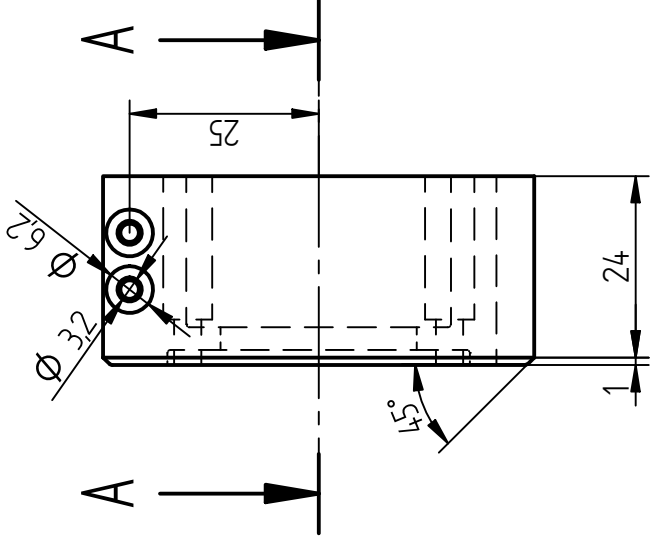
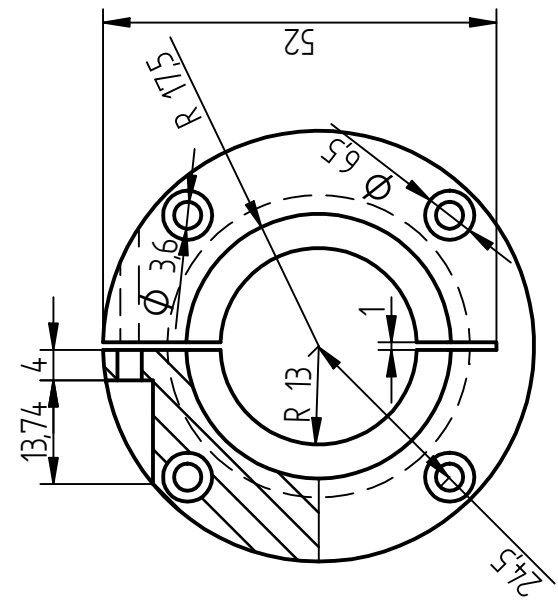
Nombre	Fecha
Dibujado	
Comprobado	
Aprobado 1	
Aprobado 2	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1º	

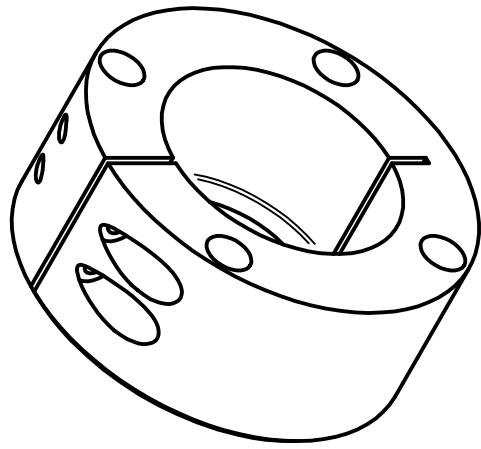
<b>Solid Edge</b> Siemens PLM	
Título	
A3	Plano
Rev	
Archivo: Conector Adft	
Escala	Peso
Hoja 1 de 1	

Revisiones

Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

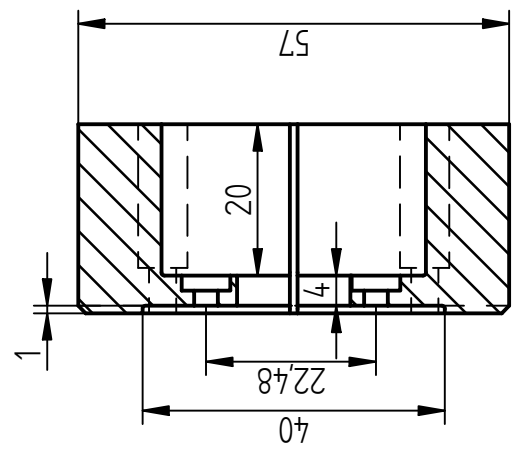
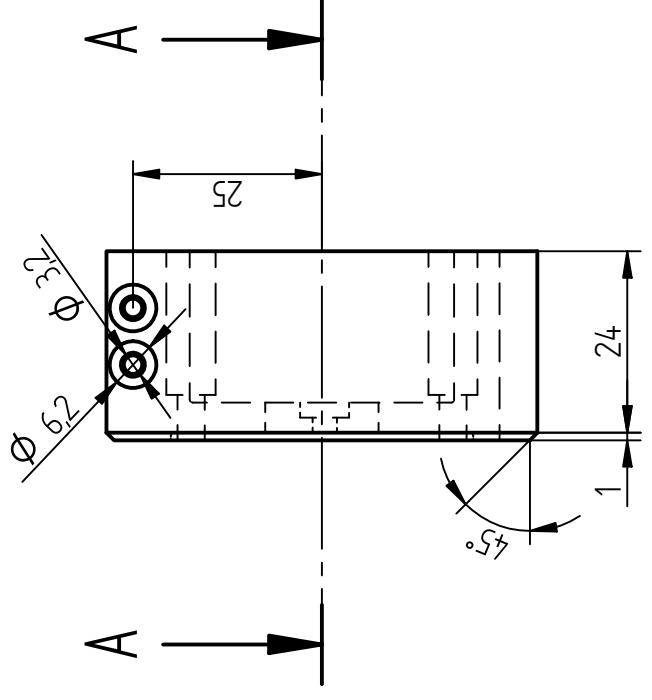
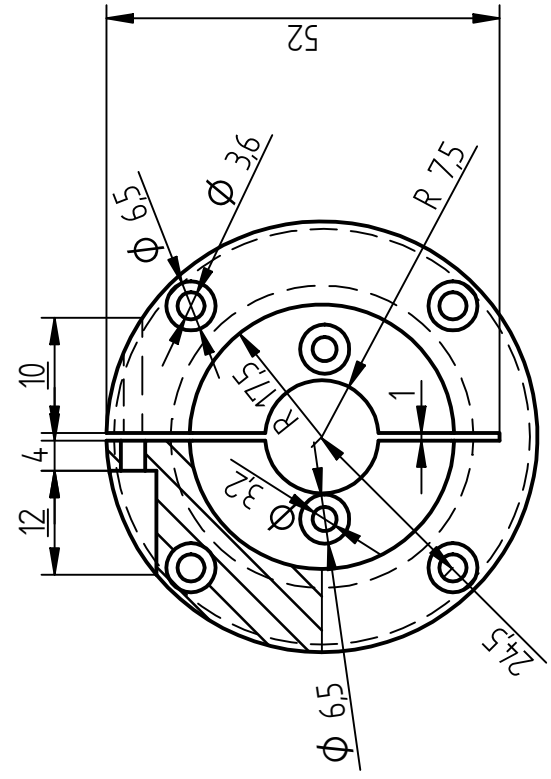


CORTE A-A

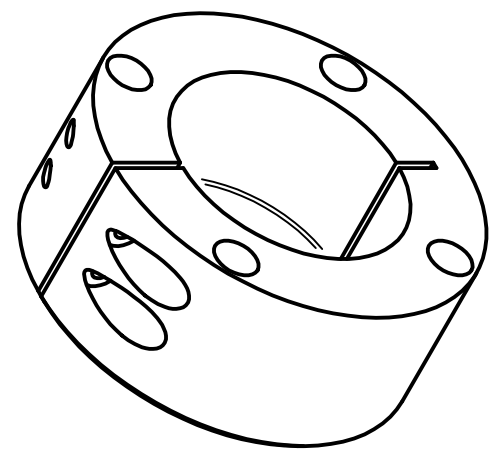


Dibujado	Nombre	Fecha	Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$
Comprobado			
Aprobado 1			
Aprobado 2			
<b>Solid Edge</b> Siemens PLM			Título
Escala			A3    Plano    Rev
Archivo: Conector eje grande bueno aluminio flexural			Hoja 1 de 1

Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



CORTE A-A

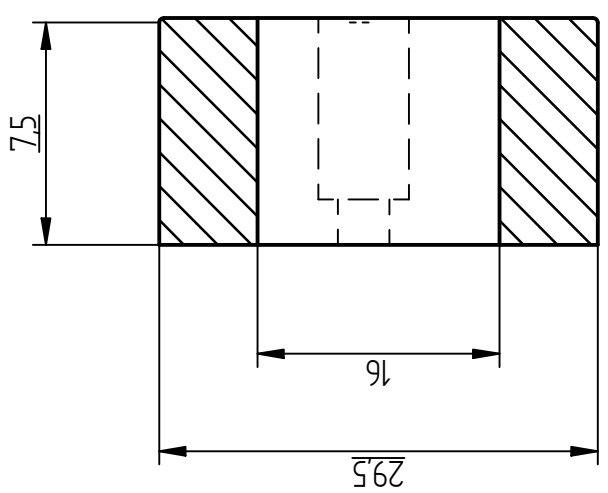
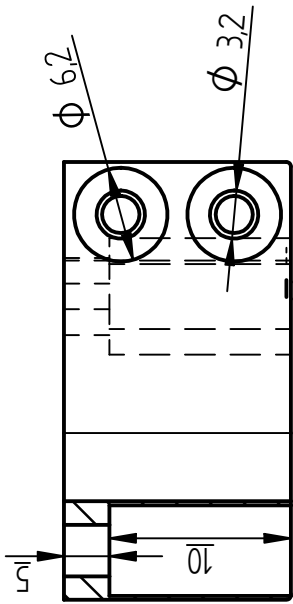
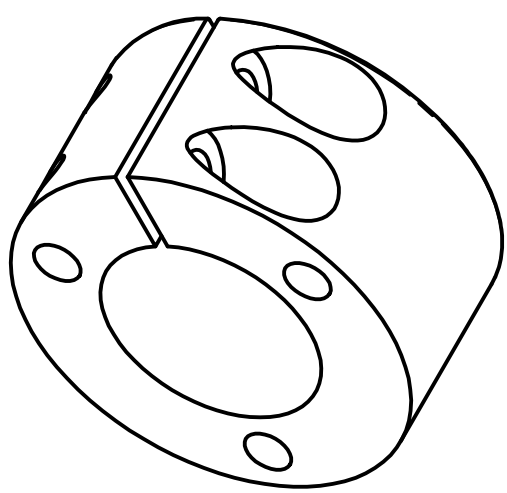


Nombre	Fecha
Dibujado	
Comprobado	
Aprobado 1	
Aprobado 2	

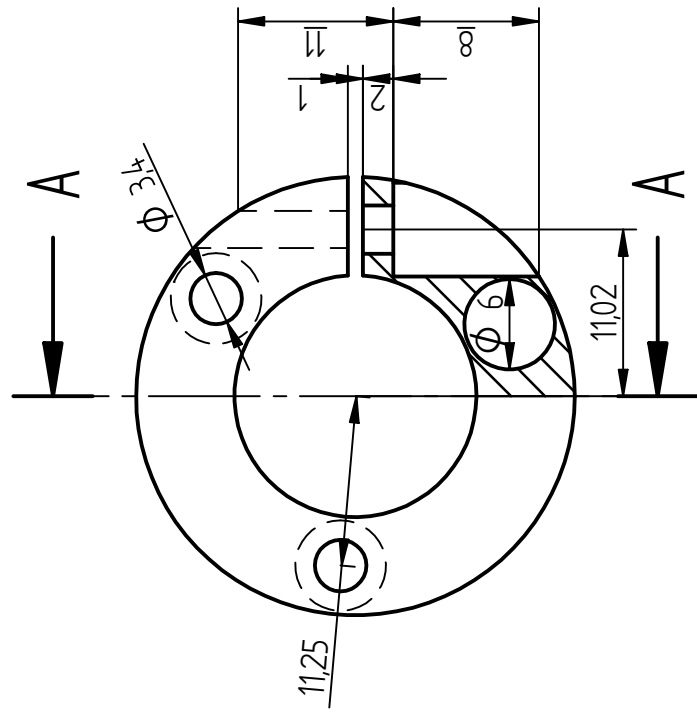
Salvo indicación contraria  
cotas en milímetros  
ángulos en grados  
tolerancias  $\pm 0,5$  y  $\pm 1^\circ$

Título	
A3	Plano
Rev	
Archivo: Conector eje grande bueno aluminio d11	
Escala	Peso
Hoja 1 de 1	

Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



CORTE A-A



Nombre	Fecha

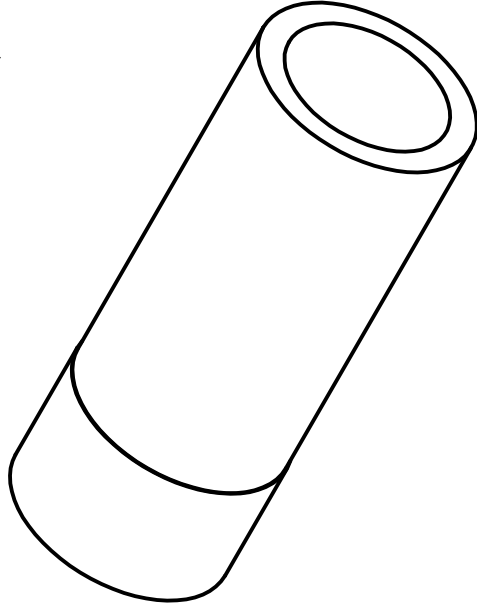
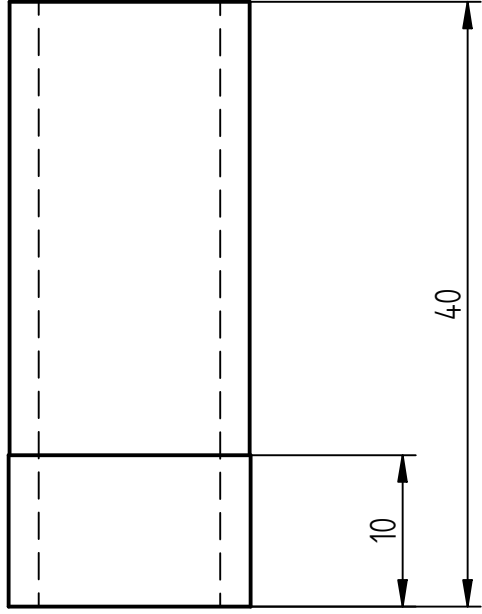
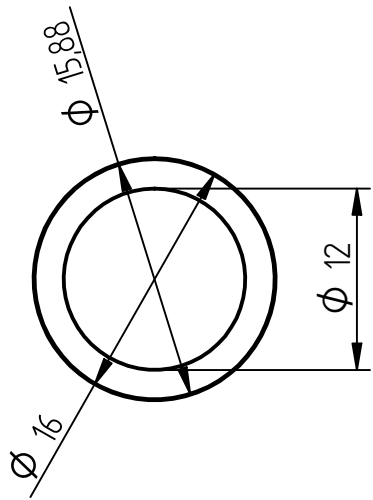
<b>Solid Edge</b> Siemens PLM	
Título	
A3	Plano
Rev	
Archivo: Anillo tridente aluminio (metalico).dft	
Escala	Peso
Hoja 1 de 1	

Salvo indicación contraria  
 cotas en milímetros  
 ángulos en grados  
 tolerancias ±0,5 y ±1º



Revisiones

Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

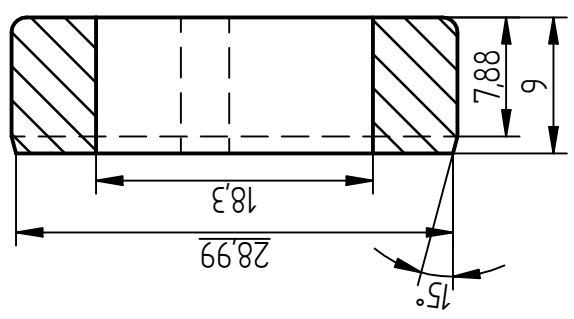
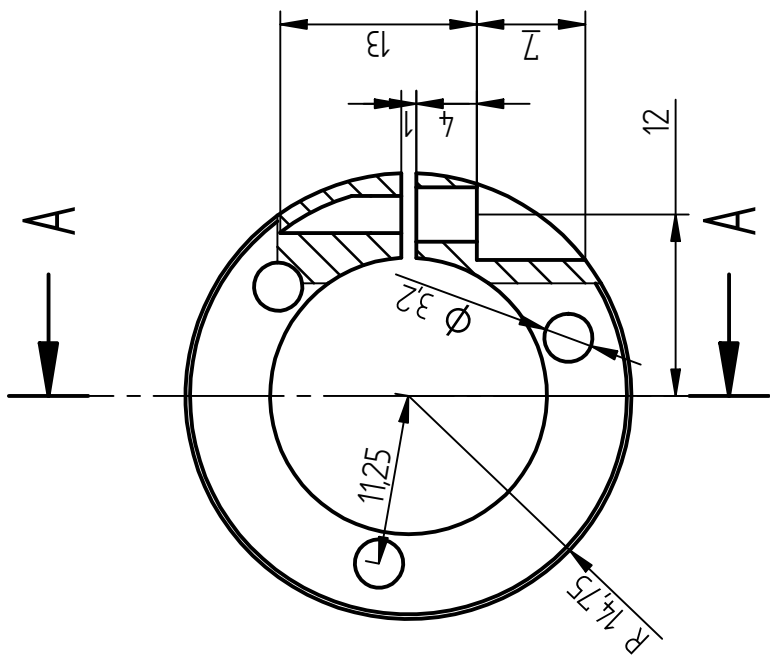


Nombre	Fecha			
Dibujado				
Comprobado				
Aprobado 1				
Aprobado 2				
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1º				
Título				
<table border="1"> <tr> <td>A3</td> <td>Plano</td> <td>Rev</td> </tr> </table>		A3	Plano	Rev
A3	Plano	Rev		
<table border="1"> <tr> <td>Escala</td> <td>Peso</td> <td>Hoja 1 de 1</td> </tr> </table>		Escala	Peso	Hoja 1 de 1
Escala	Peso	Hoja 1 de 1		

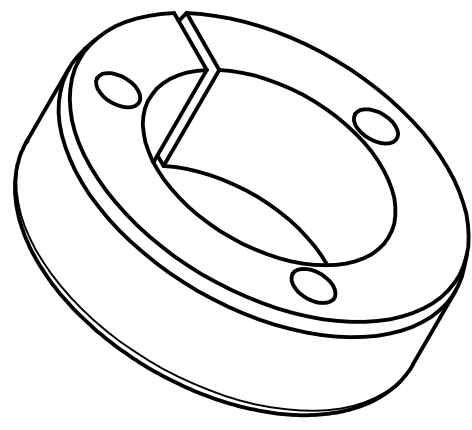
**Solid Edge**  
Siemens PLM

Archivo: Adaptador\_Tridente-Tubo\_pequeño.dft

Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado

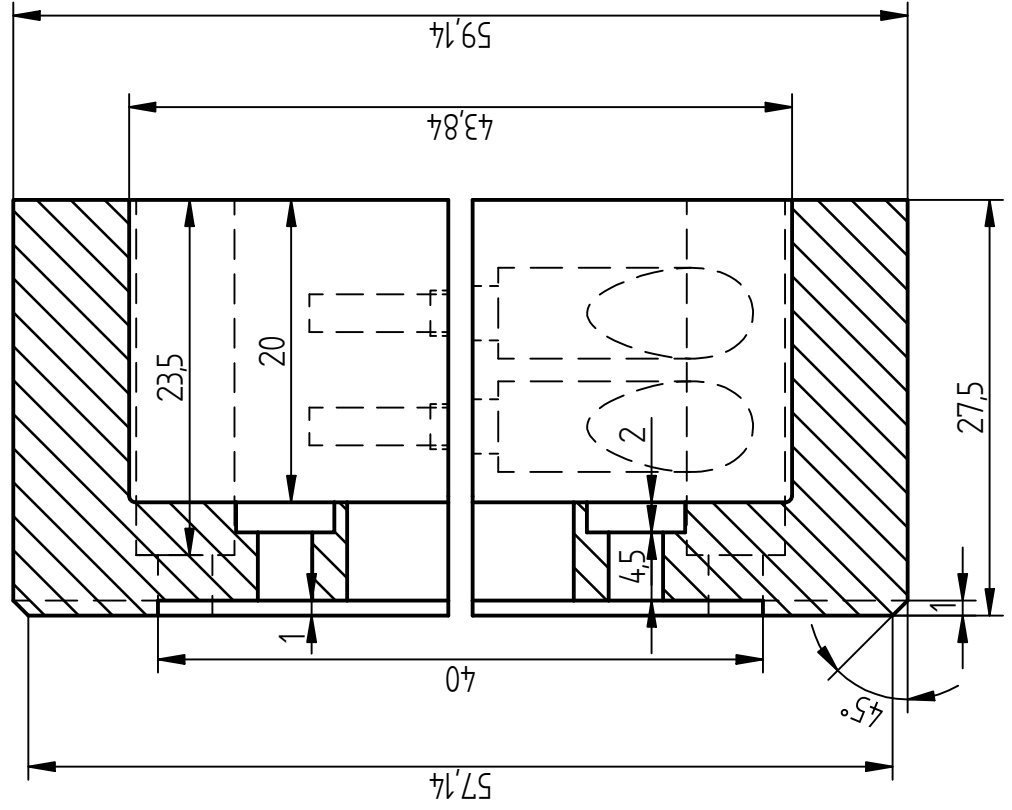
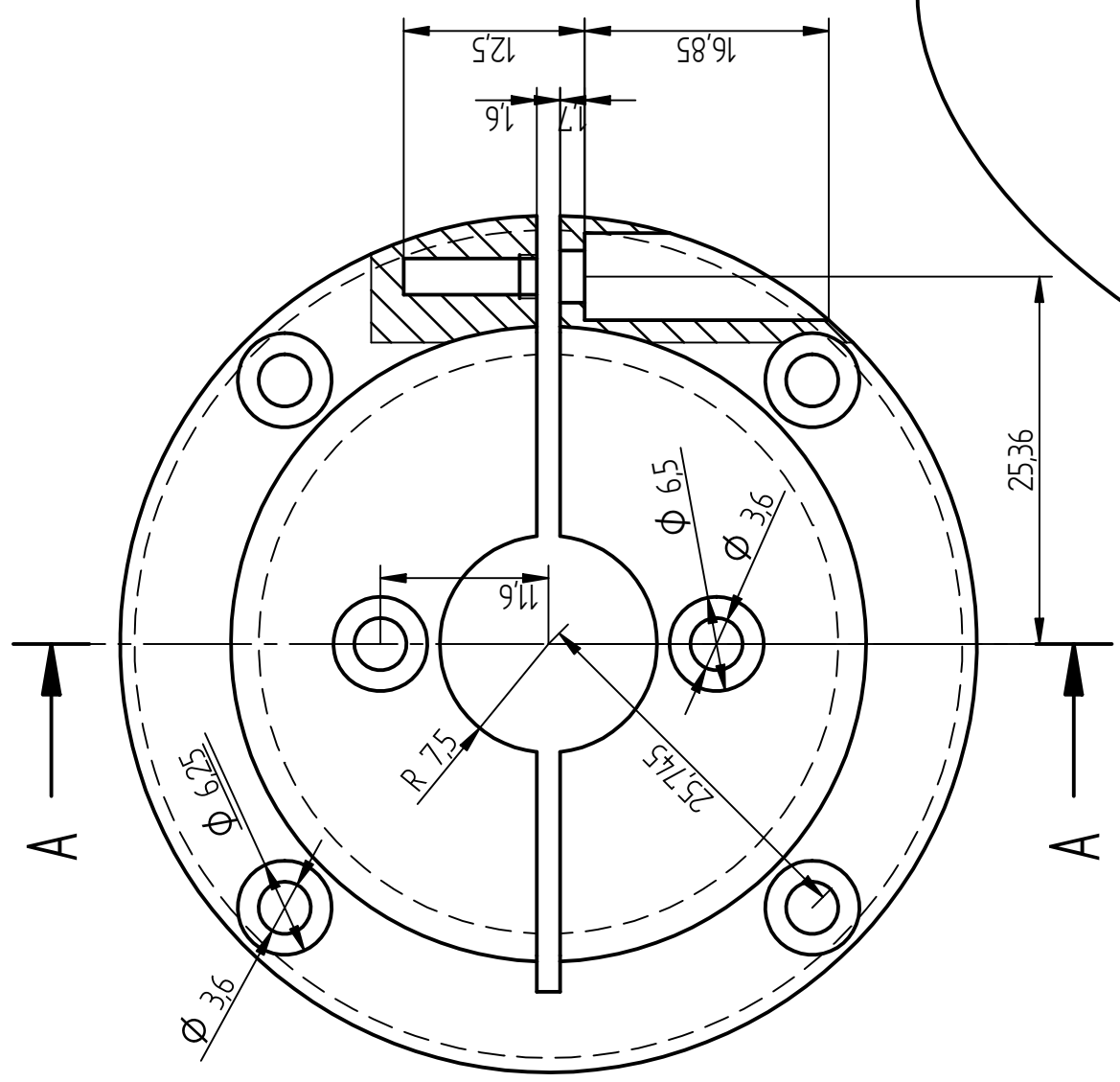


CORTE A-A

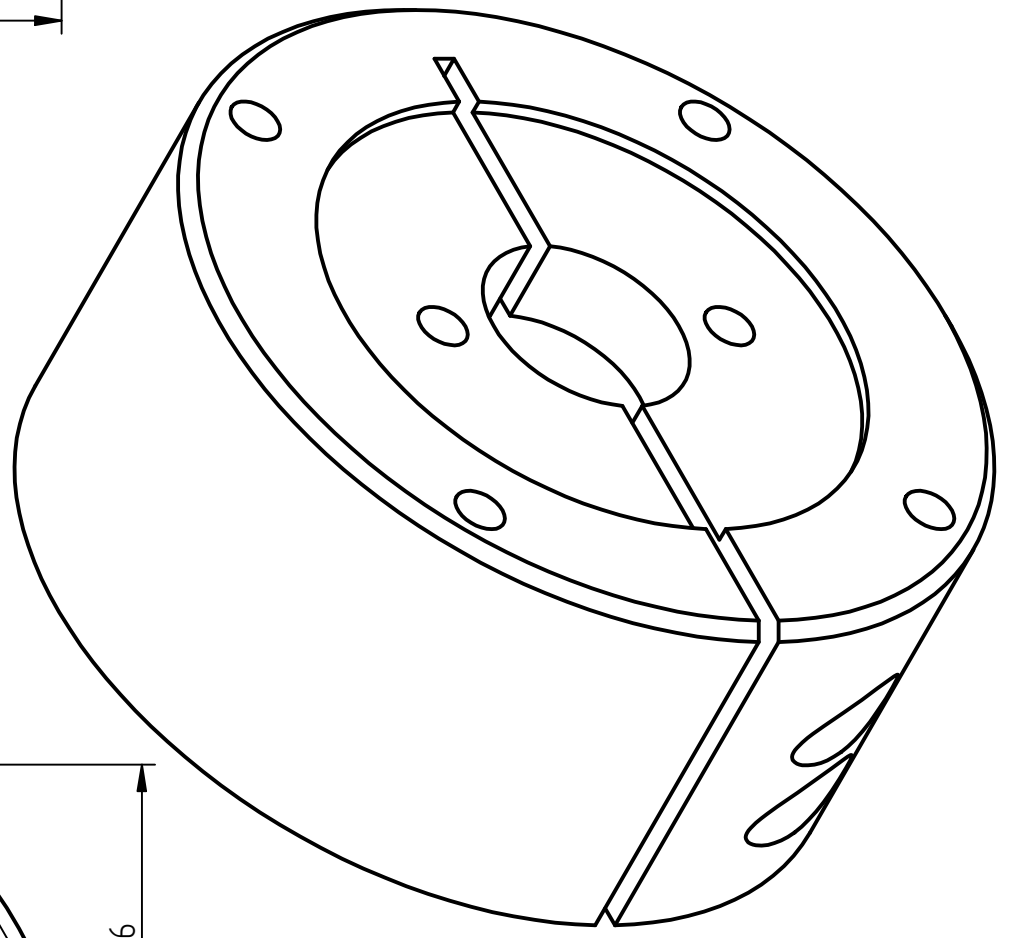


Nombre	Fecha	Solid Edge Siemens PLM	
Dibujado			
Comprobado			
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		Título	Rev
		A3	Plano
		Archivo: Anillo tridente (metalico).dff	
		Escala	Peso
		Hoja 1 de 1	

Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado

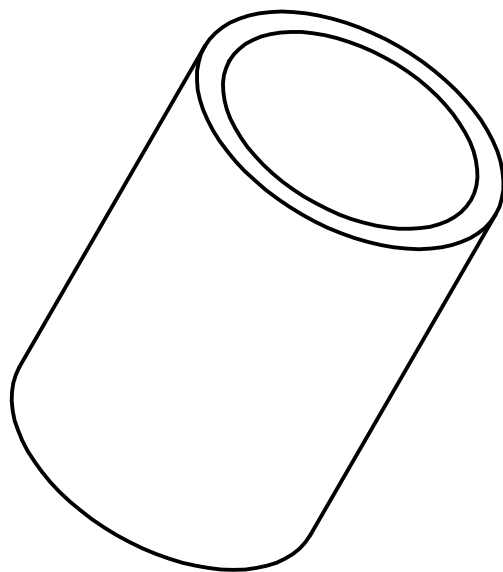
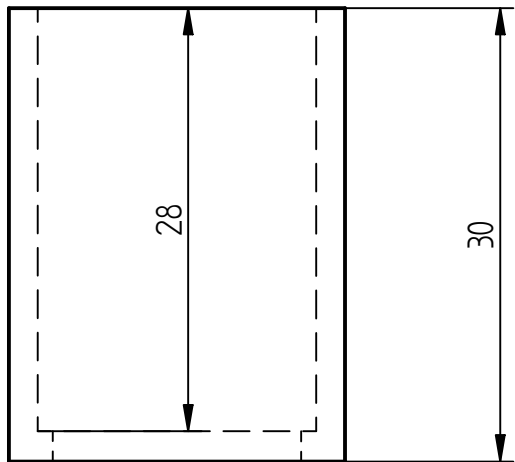
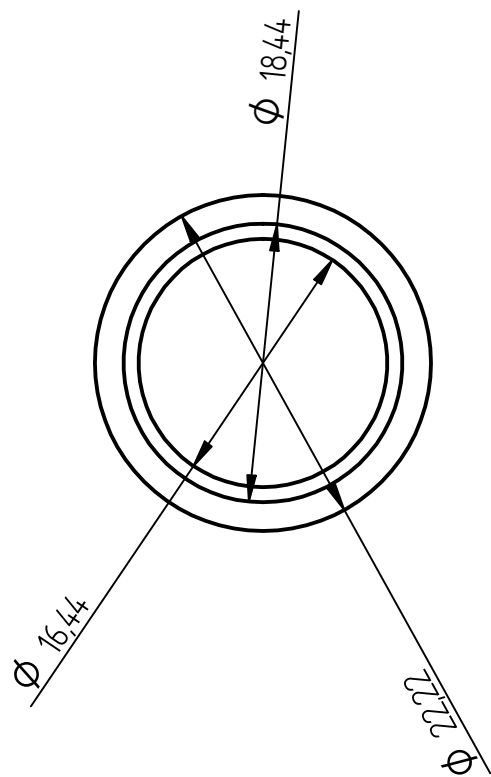


CORTE A-A



Dibujado	Nombre	Fecha
Comprobado		
Aprobado 1		
Aprobado 2		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1º		
Título		
Solid Edge Siemens PLM		
A3	Plano	Rev
Archivo: Conector eje grande + ajustado REDISEÑADO		
	Escala	Peso
		Hoja 1 de 1

Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



Nombre	Fecha
Dibujado	
Comprobado	
Aprobado 1	
Aprobado 2	

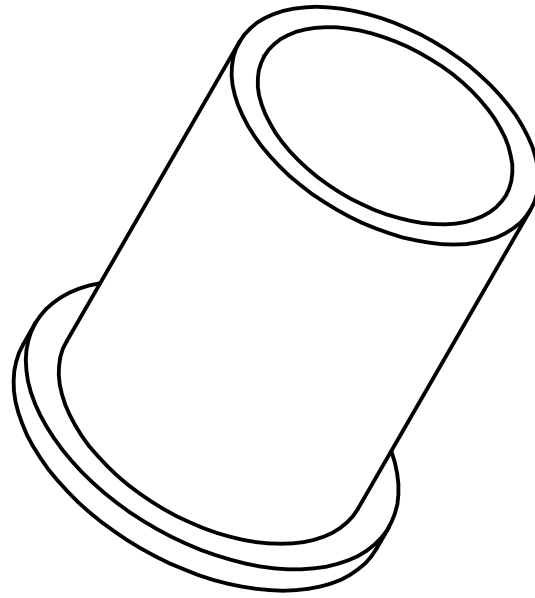
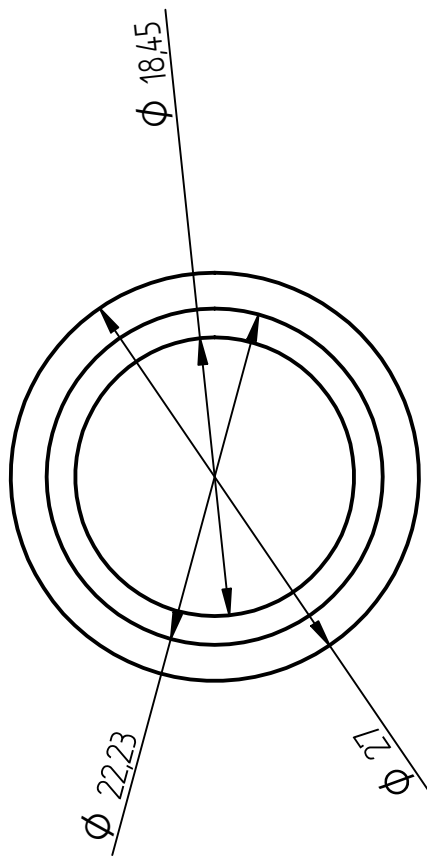
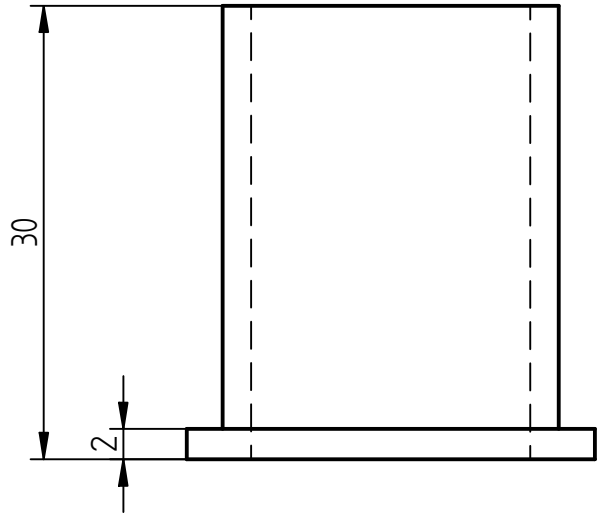
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$	
A3	Plano
Rev	
Archivo: Casq_Ext_Tubo1.dff	
Escala	Peso
Hoja 1 de 1	

**Solid Edge**  
Siemens PLM

Título

Revisiones

Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



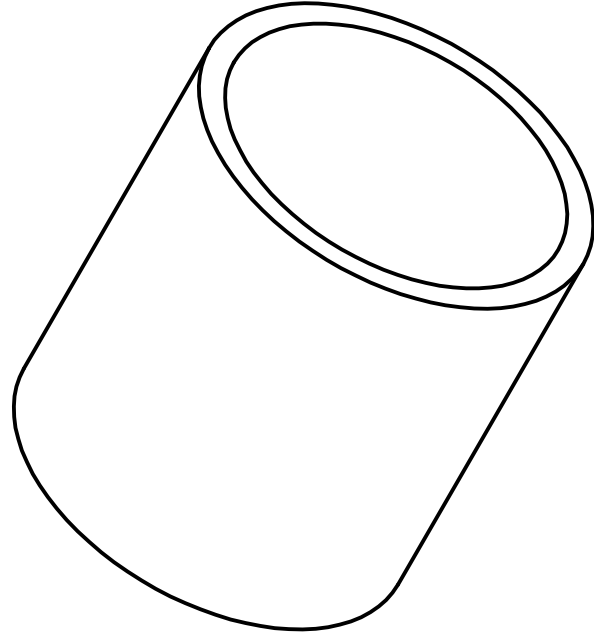
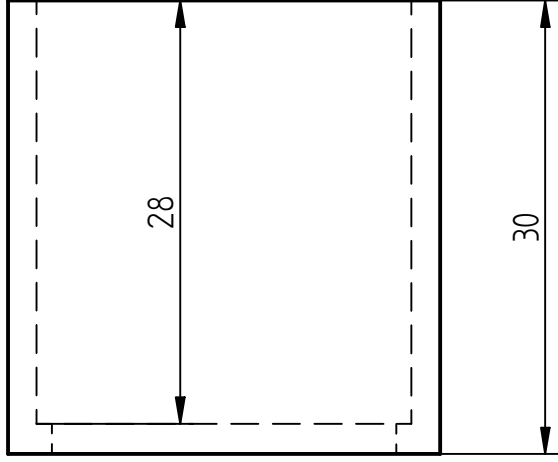
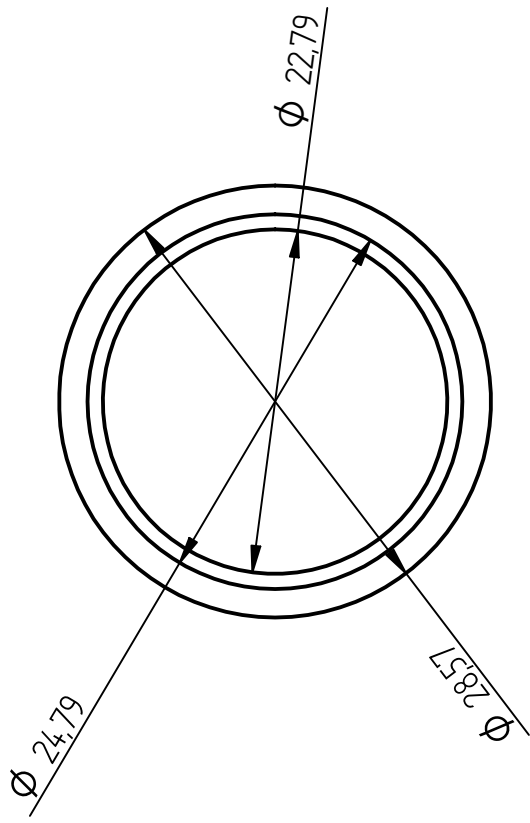
Nombre	Fecha
Dibujado	
Comprobado	
Aprobado 1	
Aprobado 2	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$	

<b>Solid Edge</b> Siemens PLM	
Título	
A3	Plano
Rev	
Archivo: Casq. Int Tubo2.dff	
Escala	Peso
Hoja 1 de 1	

Revisiones

Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



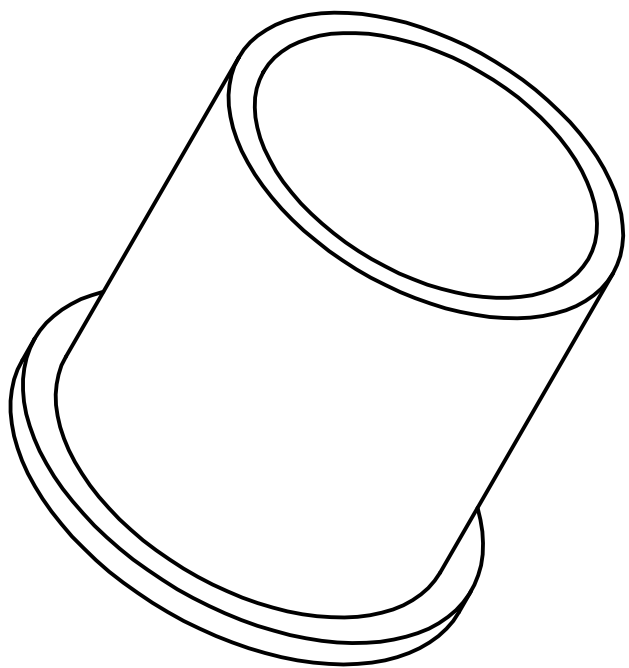
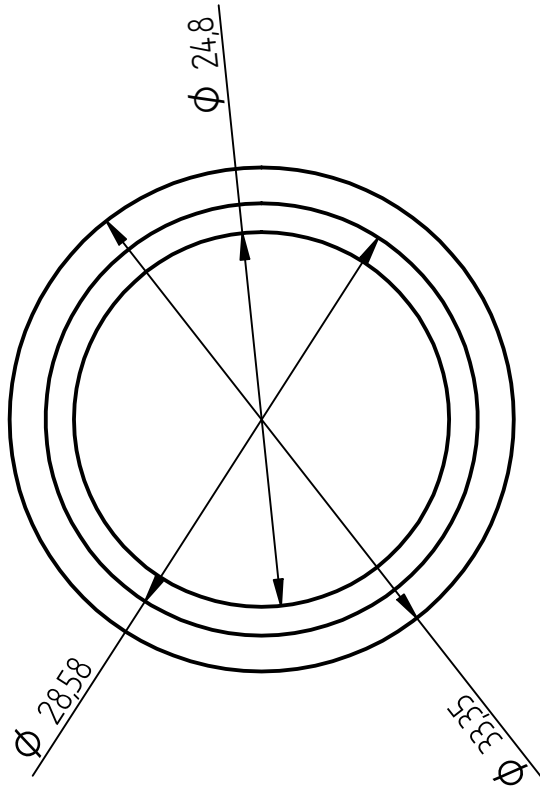
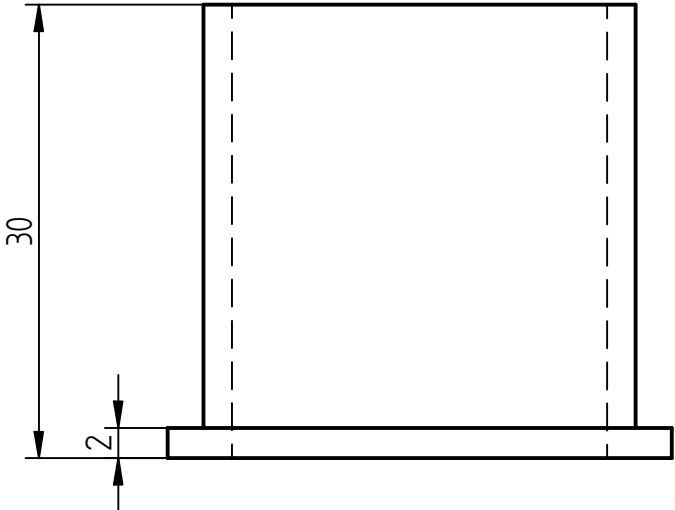
Nombre	Fecha
Dibujado	
Comprobado	
Aprobado 1	
Aprobado 2	

Salvo indicación contraria  
cotas en milímetros  
ángulos en grados  
tolerancias ±0,5 y ±1º

Título	
A3	Plano
Rev	
Archivo: Casq_Ext_Tubo2.dft	
Escala	Peso
Hoja 1 de 1	

**Solid Edge**  
Siemens PLM

Revisiones		
Rev	Descripción	Aprobado



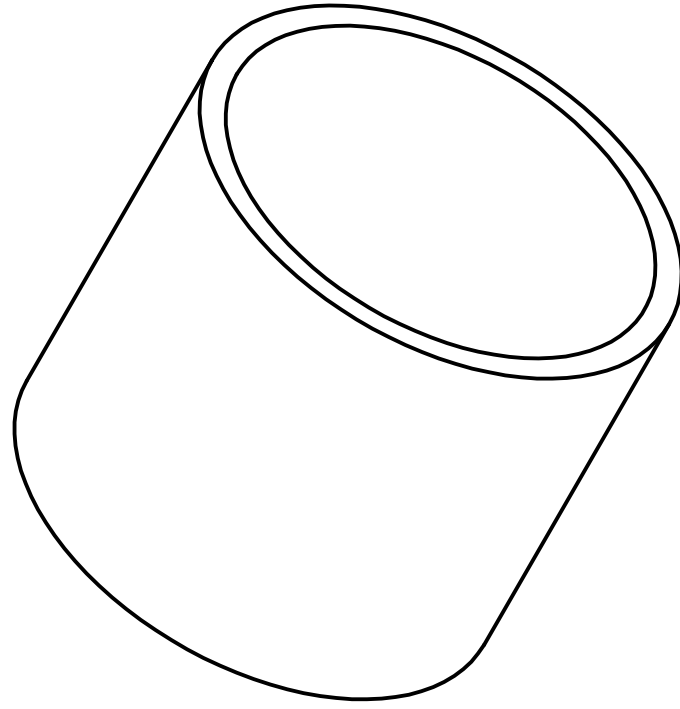
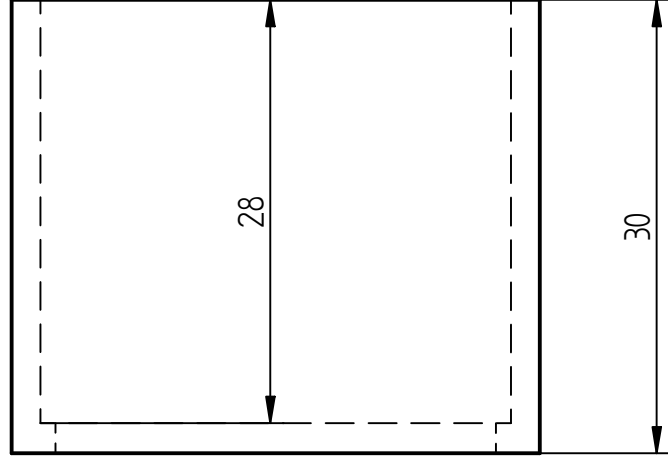
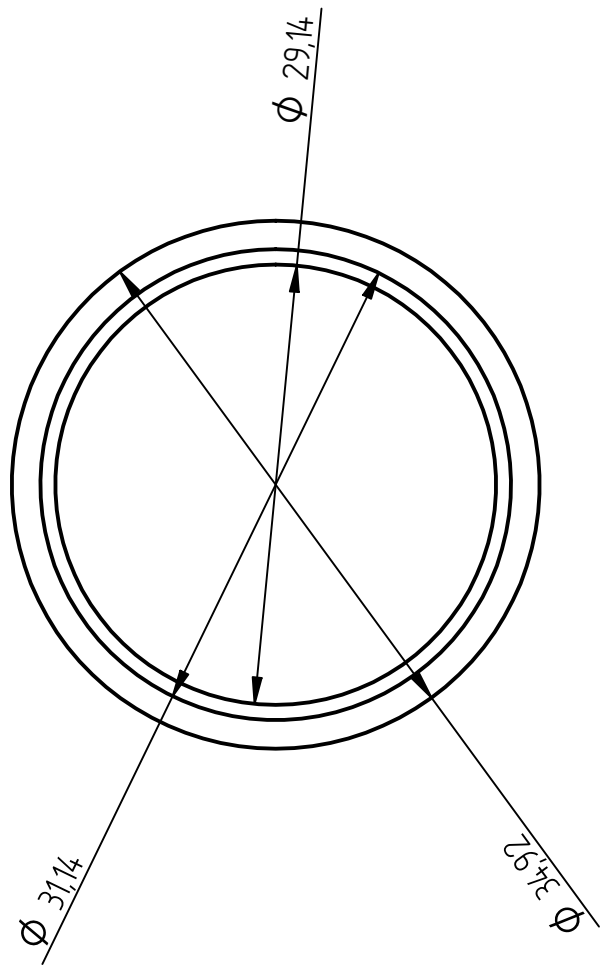
Nombre	Fecha
Dibujado	
Comprobado	
Aprobado 1	
Aprobado 2	

Salvo indicación contraria  
 cotas en milímetros  
 ángulos en grados  
 tolerancias  $\pm 0,5$  y  $\pm 1^\circ$

Título	
A3	Plano
Rev	
Archivo: Casq. Int Tubo3.dft	
Escala	Peso
Hoja 1 de 1	

Revisiones

Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



Nombre	Fecha
Dibujado	
Comprobado	
Aprobado 1	
Aprobado 2	
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$	

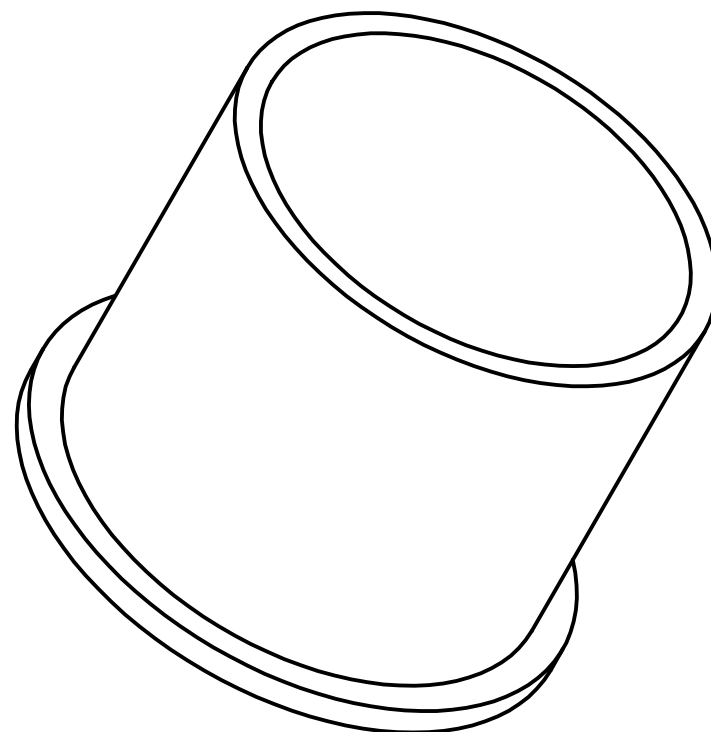
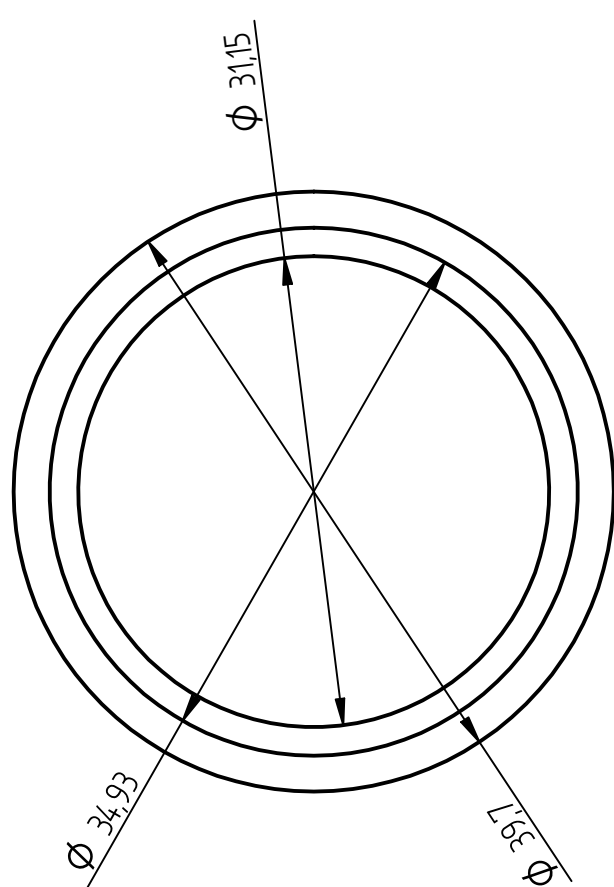
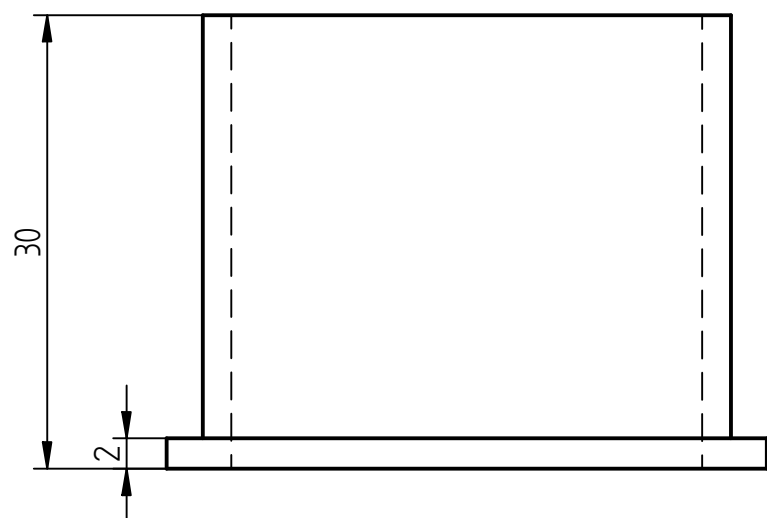
  

<b>Solid Edge</b>	
Siemens PLM	
Título	
A3	Plano
Rev	
Archivo: Casq_Ext_Tubo3.dft	
Escala	Peso
Hoja 1 de 1	



Revisiones

Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



Nombre	Fecha
Dibujado	
Comprobado	
Aprobado 1	
Aprobado 2	

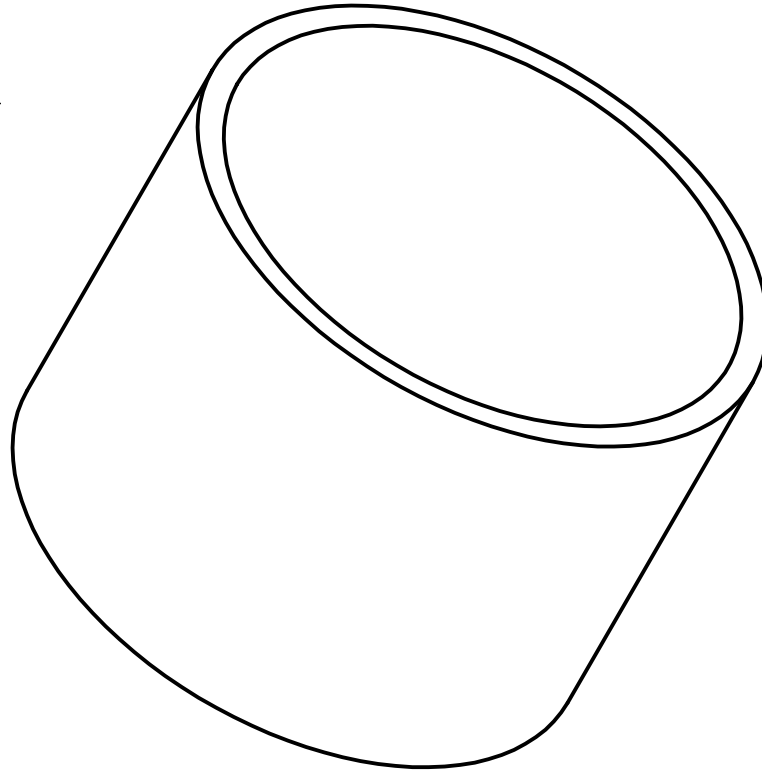
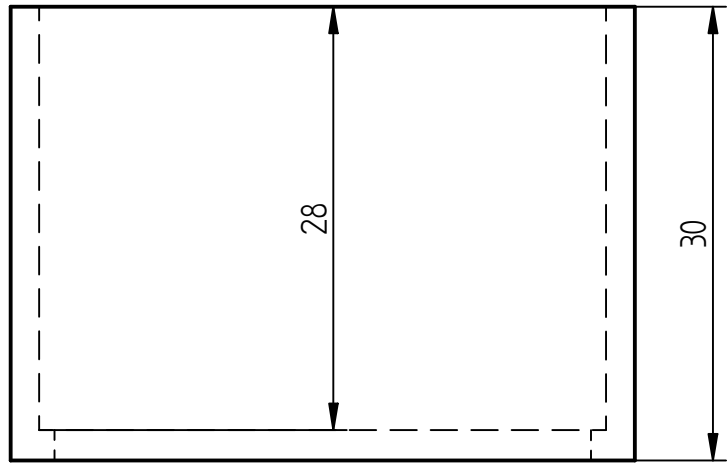
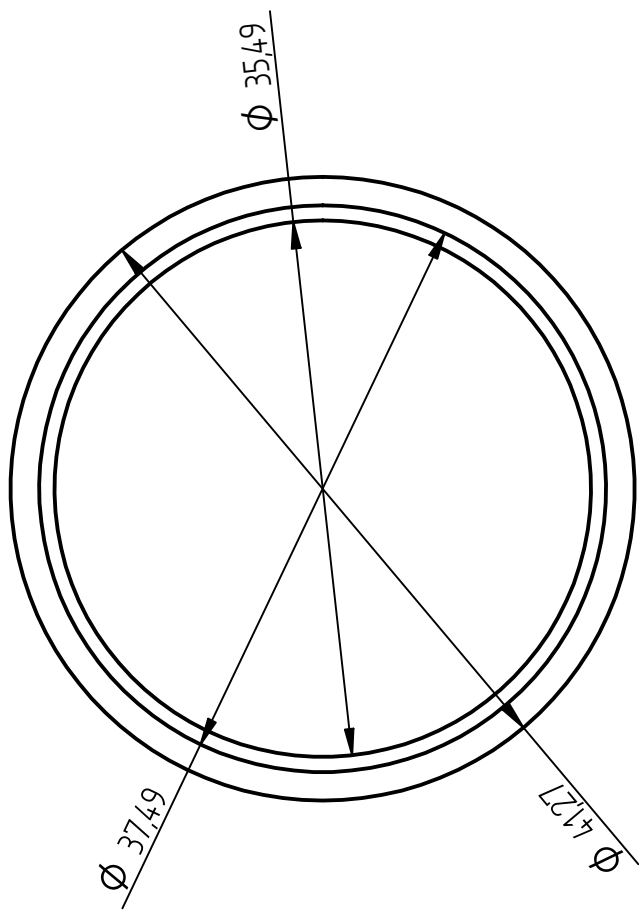
Salvo indicación contraria  
cotas en milímetros  
ángulos en grados  
tolerancias  $\pm 0,5$  y  $\pm 1^\circ$

Título	
A3	Plano
Rev	
Archivo: Casq. Int Tubo4.dft	
Escala	Peso
Hoja 1 de 1	

**Solid Edge**  
Siemens PLM

Revisiones

Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



Nombre	Fecha
Dibujado	
Comprobado	
Aprobado 1	
Aprobado 2	

**Solid Edge**  
 Siemens PLM

Título

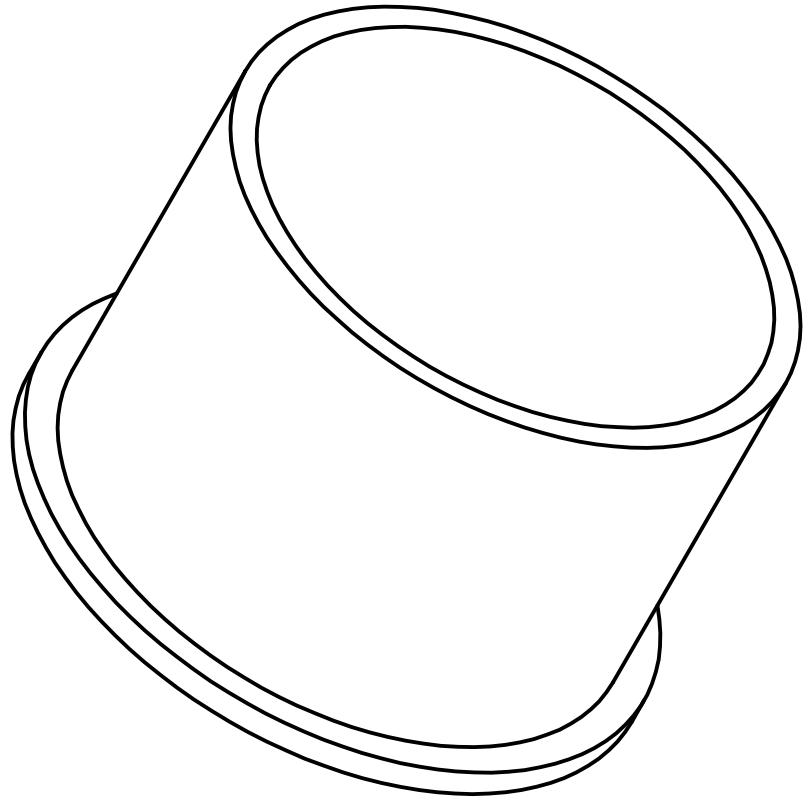
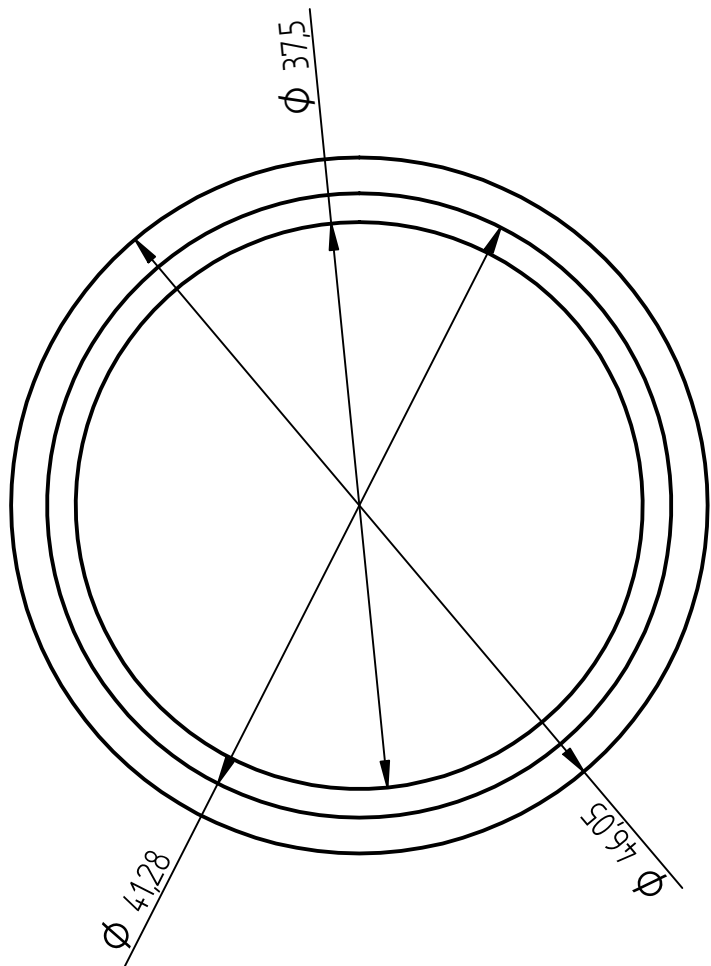
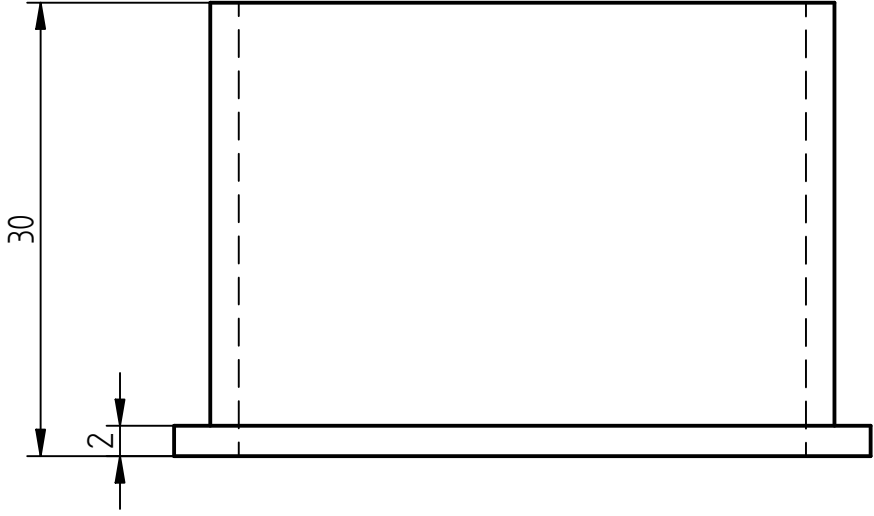
A3 Plano Rev  
 Archivo: Casq\_Ext\_Tubo4.dft

Escala Peso Hoja 1 de 1

Salvo indicación contraria  
 cotas en milímetros  
 ángulos en grados  
 tolerancias  $\pm 0,5$  y  $\pm 1^\circ$

Revisiones

Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



Nombre	Fecha
Dibujado	
Comprobado	
Aprobado 1	
Aprobado 2	

**Solid Edge**  
Siemens PLM

Título

A3 Plano Rev

Archivo: Casq. Int Tubo5.dff

Escala Peso Hoja 1 de 1

Salvo indicación contraria  
cotas en milímetros  
ángulos en grados  
tolerancias  $\pm 0,5$  y  $\pm 1^\circ$