



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

**DISEÑO, FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN
DE UN EQUIPO DE MEDICIÓN DE CAUDAL
POR PRESIONES DIFERENCIALES PARA USO
DOCENTE**

Alumno: Daniel Redecillas Ortega

Tutor: Mario Miró Barnés

Depto.: Ingeniería Mecánica y Minera

Junio, 2024



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

**DISEÑO, FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN
DE UN EQUIPO DE MEDICIÓN DE CAUDAL
POR PRESIONES DIFERENCIALES PARA USO
DOCENTE**

Alumno: Daniel Redecillas Ortega

Tutor: Mario Miró Barnés
Depto.: Ingeniería Mecánica y Minera

REDECILLA
S ORTEGA
DANIEL -
26255977M

Firmado
digitalmente por
REDECILLAS
ORTEGA DANIEL -
26255977M
Fecha: 2024.06.20
01:10:20 +02'00'

MIRO
BARNES
MARIO -
26219341P

Firmado
digitalmente por
MIRO BARNES
MARIO - 26219341P
Fecha: 2024.06.19
23:36:21 +02'00'

Junio, 2024

ÍNDICE

1	RESUMEN.....	7
2	OBJETIVOS	8
3	INTRODUCCIÓN	10
4	FUNDAMENTOS.....	10
4.1	Normativa	11
4.2	Antecedentes	12
5	METODOLOGÍA	15
5.1	Introducción.....	15
5.2	Descripción del equipo de medición de caudal.....	16
5.3	Máquinas y herramientas necesarias y utilizadas en fase de fabricación. .	18
5.3.1	Centro de Mecanizado (CNC) Lagun 650 con lenguaje Fagor 8055...	18
5.3.2	Láser de CO2	20
5.3.3	Taladro de columna.....	21
5.3.4	Sierra de cinta.....	21
5.3.5	Torno	22
5.3.6	Otras herramientas manuales	22
5.4	Software utilizados.....	24
5.5	Diseño y constucción del equipo de medición de caudal	30
5.5.1	Medición y toma de datos del equipo existente en la EPS de Linares.	30
5.5.2	Diseño del Tubo de Venturi	34
5.5.3	Diseño de la Placa-Orificio (diafragma) y Bridas de unión.....	36
5.5.4	Diseño de la toma de presión aguas abajo de Placa-Orificio	40
5.5.5	Diseño de los colectores superior e inferior.....	41

5.5.6	Diseño de otros elementos del equipo: tubos, bastidor, patas, etc.	42
5.5.7	Adquisición y compra de materiales. Tabla de planificación	50
5.5.8	Análisis y preparación de los procesos de mecanizado	51
5.5.9	Mecanizado del Tubo de Venturi.....	54
5.5.10	Mecanizado del medidor Placa-Orificio y las Bridas de unión	58
5.5.11	Mecanizado de la toma de presión aguas abajo de la Placa-Orificio.	64
5.5.12	Mecanizado de los colectores superior e inferior.....	65
5.5.13	Montaje del bastidor y del circuito hidráulico	66
5.5.14	Instalación de las reglas de medición para las presiones	68
5.6	Pruebas de estanqueidad.	74
5.7	Ensayos de caracterización	76
6	RESULTADOS EXPERIMENTALES	78
7	CONCLUSIONES	85
8	TRABAJO FUTURO	85
9	BIBLIOGRAFÍA	86
10	ANEXOS.....	88
10.1	Anexo. Sierra de cinta.	88
10.2	Anexo. Taladro de columna	89
10.3	Esmeriladora	90
10.4	Centro de Mecanizado CNC Lagun L650.....	91
10.5	Anexo. Cortadora-Grabadora láser CO2.....	93
11	Planos.	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1 Dibujos realizados por Giovanni Battista Venturi. Extraído del seminario sobre Historia del tubo de Venturi en la Universidad Nacional Autónoma de México [14].	13
Figura 4.2 Tubo de Venturi de acero al carbono. Fuente: internet.	14
Figura 4.3 Placas-Orificio de diferentes diámetros. Fuente: internet.	14
Figura 4.4 Caudalímetro digital. Fuente: internet.	15
Figura 4.5 Caudalímetro de flotador cónico en el laboratorio de Mecánica de Fluidos de la EPSL.	15
Figura 5.1 Equipo de medición de caudal Edibon FME 18 M7	16
Figura 5.2 Venturi del equipo original con sus tomas de presión.	17
Figura 5.3 Diafragma con Placa-Orificio entre sus bridas.	17
Figura 5.4 Rotámetro del equipo original	18
Figura 5.5 Válvula de membrana	18
Figura 5.6 Máquina de mecanizado de 3 ejes modelo Lagun L650, mediante control numérico con una mordaza cilíndrica para mecanizar piezas de revolución y otra plana para piezas con caras planas.	19
Figura 5.7 Distintos tipos de brocas y fresas disponibles en el taller de Máquinas y Herramientas de la EPSL (izda) junto con el portaherramientas (dcha).	19
Figura 5.8 La taladrina es una mezcla de agua y aceite que sirve de lubricante entre la herramienta y la superficie.	20
Figura 5.9 Máquina de corte por láser de CO2 en el taller de máquinas y herramientas de la EPSL.	20
Figura 5.10 Taladro vertical	21
Figura 5.11 Sierra de cinta para metal en el taller de máquinas y herramientas de la EPSL	21
Figura 5.12 Torno manual.	22
Figura 5.13 Cizalla manual.	22
Figura 5.14 1. Limas planas y de media caña 2. Llaves de Allen para de diferentes tamaños de tornillos 3. Llave de tubo 10 -11 4. Nivelador de burbuja 5. Llave inglesa 10 -11.	23
Figura 5.15 Cinta métrica	24
Figura 5.16 Partes de un pie de rey, extraída de la fuente FM Formación [3] (izda). Pie de rey digital disponible en el taller de Máquinas y Herramientas de la EPSL (dcha).	24
Figura 5.17 Venturi en 3D de este TFG	25

Figura 5.18 Boceto en 2D del Venturi.....	26
Figura 5.19 Vista explosionada del ensamblaje del diafragma con un ejemplo de la representación en un plano de la Placa-Orificio.	27
Figura 5.20 Simulación de mecanizado de la ranura de la junta tórica de las bridas en Fusion 360.	28
Figura 5.21 Programación del mecanizado del cono interior del Venturi en WinUnisoft. .	28
Figura 5.22 Ciclo fijos programados en el CNC. Se pueden programar desde el mismo interfaz de la máquina.....	29
Figura 5.23 K40 Whisperer para la operación de corte de la Placa-Orificio y reglas milimetradas.	29
Figura 5.24 Programa de diseño AutoCAD. Diseño reglas milimetradas para los tubos piezométricos.....	30
Figura 5.25 Patas de goma en la parte inferior del chasis.	31
Figura 5.26 Tomas de presión del Venturi (izda) y diafragma (dcha).	32
Figura 5.27 Tubería de desagüe del equipo de Edibon formado por una válvula de membrana, una reducción 40-32 y otra de 32-22 para acoplar la espiga para la manguera.....	33
Figura 5.28 1.Colector inferior 2.Colector superior 3.Tubos piezométricos con sus reglas milimetradas. Todas las partes están conectadas mediante conexiones de latón.	34
Figura 5.29 Parámetros a tener en cuenta al diseñar un Tubo de Venturi. Imagen extraída de Norma ISO 5167-4:2022 [7].	36
Figura 5.30 Parámetros a tener en cuenta al diseñar una placa con orificio. Norma ISO 5167-2:2022 [6].	38
Figura 5.31 Distancia de las tomas de presión con respecto a la placa con orificio. Norma ISO 5167-2:2022 [6].....	38
Figura 5.32 Diseño final del sistema Placa-Orificio representado en un despiece explosionado en Inventor.	39
Figura 5.33 Despiece explosionado del aspecto final del Venturi una vez diseñado en Inventor.....	39
Figura 5.34 Diseño del manguito de la tercera toma para el medidor Placa-Orificio.	41
Figura 5.35 Diseños del Colector Inferior (izda) y Colector Superior (dcha) representados en 3D en Inventor.	42
Figura 5.36 Reglas milimetradas en AutoCAD.....	42

Figura 5.37 Tubería de subida hacia el diafragma en Inventor (izda) y como quedaría una vez ensamblada en el equipo (dcha).	43
Figura 5.38 Despiece de la tubería de entrada al Venturi representado en Inventor (izda) y vista de su ensamblaje en el equipo (dcha).	44
Figura 5.39 Diseño en 3D de la tubería de desagüe (izda) y vista previa (dcha). Se ha decidido cambiar la válvula de membrana por una de bola debido a su facilidad de uso y a ser más económica.	44
Figura 5.40 Conjunto Venturi montado finalmente en el equipo.	45
Figura 5.41 Conjunto Placa-Orificio unido al equipo unido por el lado derecho a un codo de gran radio y por la izquierda a uno de radio pequeño.	45
Figura 5.42 Tubos Piezométricos unidos mediante conexiones rápidas de latón a los colectores.	46
Figura 5.43 Despiece del Bastidor representado en Inventor.	47
Figura 5.44 Ensamblaje del Bastidor en Inventor.	47
Figura 5.45 Suplemento de elevación para las abrazaderas.	48
Figura 5.46 Despiece explosionado de las abrazaderas.	49
Figura 5.47 Ensamblaje explosionado de las patas.	49
Figura 5.48 Máquina de mecanizado de 3 ejes, mediante control numérico con una mordaza cilíndrica para mecanizar piezas de revolución y otra plana para piezas cuadradas o con caras.	52
Figura 5.49 cono convergente de 11° en WinUnisoft.	55
Figura 5.50 Venturi divergente de 7° en WinUnisoft (izda) y durante su mecanizado (dcha)	56
Figura 5.51 Esta tabla refleja la equivalencia en mm de las roscas Whitworth, tanto de los diámetros de las brocas para los orificios como para las propias roscas. Este patrón se ha tenido en cuenta para el mecanizado de roscas en todo el proceso de fabricación.	58
Figura 5.52 Ciclos fijos de roscado y de cajeado programados previamente en la interfaz de la propia máquina.	58
Figura 5.53 Sierra de cinta para metal en el taller de máquinas y herramientas de la EPSL.	59
Figura 5.54 Ranura para la junta tórica en Fusion360 (izda) y durante su mecanizado (dcha)	60

Figura 5.55 Máquina de corte por láser de CO2 en el taller de máquinas y herramientas de la EPSL.....	62
Figura 5.56 Bisel a 45° de la placa orificio.....	62
Figura 5.57 Resultados del Venturi tras su fabricación, a los cuales se les ha incluido dos empalmes en los extremos para su despiece y mantenimiento (izda). Pegamento especial para metacrilato utilizado en el proceso (dcha).	64
Figura 5.58 Manguito de la tercera toma de presión para la pérdida de carga en la Placa-Orificio	65
Figura 5.59 Ciclo fijo de fresado-taladrado de orificio dispuestos en línea recta.	66
Figura 5.60 Colectores superior (izda) e inferior (dcha) en la máquina de mecanizado mediante control numérico para la operación de taladrado de los orificios y roscas.	66
Figura 5.61 Tacos de nivelación de las abrazaderas.....	68
Figura 5.62 Reglas milimetradas de polietileno grabadas con láser de CO2. Justo detrás de los tubos piezométricos	69
Figura 5.63 Primera disposición de las conexiones y válvulas en el colector (izda) y disposición final para solventar problemas de espacio (dcha).	70
Figura 5.64 Tubería de subida al diafragma	Figura 5.65 Tubería de desagüe. 71
Figura 5.66 Tubería de entrada al equipo, en cuyo extremo se acopla a manguera que sale del rotámetro.....	72
Figura 5.67 Proceso de pegado y montaje de los tubos.....	72
Figura 5.68 Tubos flexibles de poliuretano	Figura 5.69 Montaje completo del nuevo equipo.
Figura 5.70 Ciclo de funcionamiento del nuevo equipo de medición de caudal.....	74
Figura 5.71 Especificaciones de la bamba del banco hidráulico (izda) y rotámetro disponible en el laboratorio de Mecánica de Fluidos en EPSL con válvula de membrana incluida (dcha).	77
Figura 5.72 Válvula de bola	78
Figura 6.1 Diferencia de presión frente a caudal en Venturi y Placa orificio.	82
Figura 6.2 Coeficiente de descarga frente al caudal.....	82
Figura 6.3 Caudales reales frente a teóricos.....	82
Figura 6.4 Presión-Caudal Venturi Vs Placa-Orificio.....	83
Figura 6.5 Cd Venturi Vs Placa-Orificio.....	83

1 RESUMEN

Este proyecto tratará sobre el diseño y la fabricación de un equipo didáctico de medición de caudal para el laboratorio de Mecánica de Fluidos de la Escuela Politécnica Superior de Linares. Está basado en otro equipo del que se disponía previamente en dicho laboratorio, pero se diseñará de acuerdo con la normativa ISO actualmente en vigor (ISO 5167-1:2022, ISO 5167-2:2022 e ISO 5167-4:2022). En esta memoria se explicarán de manera detallada todos los pasos a seguir para llevarlo a cabo:

- Estudio del equipo original y del funcionamiento tanto del tubo de Venturi como de la Placa-Orificio.
- Diseño del equipo.
- Aprovisionamiento logístico de materiales y herramientas necesarios.
- Fabricación, construcción y ensamblaje de las partes del equipo.
- Pruebas de estanqueidad.
- Ensayos experimentales.
- Análisis de los resultados obtenidos.
- Conclusiones y mejoras propuestas.

También se hablará de los materiales necesarios y aprovisionamiento de los mismos a través de determinados proveedores, así como de su coste y la cantidad necesaria. Algunos elementos serán de obligada fabricación mediante el procesamiento de material en bruto, por ello se especificará de igual modo el nombre del proceso, el tiempo de fabricación y las herramientas utilizadas en la operación. Si este nuevo equipo cumple con las expectativas requeridas una vez acabado, estará disponible en el laboratorio para futuras prácticas docentes del alumnado.

2 OBJETIVOS

La importancia de la Mecánica de Fluidos en cualquier ámbito de la Ingeniería es tal, que la totalidad de los estudiantes de la EPS de Linares en sus diferentes grados, esto es, ramas: industriales, civil, minas o recursos energéticos; deben realizar prácticas docentes en el laboratorio de Mecánica de Fluidos de la Escuela Politécnica Superior de Linares. En este sentido, se realizan ensayos prácticos que ayudan a alcanzar los objetivos de requerido cumplimiento para conseguir el aprobado en diferentes asignaturas relacionadas de una u otra forma con la Mecánica de Fluidos. Entre estas prácticas está contemplada la medición de caudales y el cálculo de todos los parámetros relacionados con estos, para lo cual se dispone de un equipo didáctico formado por distintos accesorios que se utilizan para ello: Tubo de Venturi, Placa con Orificio y Rotámetro.

A pesar de que este equipo aún hoy ejerce su función de manera correcta, se ha planteado el problema de los grupos de alumnos demasiado numerosos para un solo equipo didáctico. Esto supone que demasiados alumnos estén observando, mientras unos pocos están realmente anotando los resultados y aprendiendo cómo se trabaja con los elementos de medición de caudal, esto implica que no todos puedan cumplir los objetivos de la práctica en igualdad de condiciones.

El objetivo principal de este TFG es:

- Diseñar y fabricar otro equipo lo más similar posible al original, teniendo en cuenta también las normativas ISO vigentes en la actualidad, de esta manera se facilitará la labor en el laboratorio separando al alumnado en grupos más pequeños. Una vez construido el nuevo equipo, se realizarán los mismos cálculos que se realizan en la práctica para comparar los resultados con los del equipo original. Los cálculos relacionados con los caudales, en el caso que nos ocupa, tienen que ver con las diferencias de presiones que se manifiestan cuando el fluido pasa a través de los dispositivos, o también las diferencias de velocidades que se producen como consecuencia de ellos (Leyes de Conservación en Mecánica de Fluidos).

Asimismo, alcanzar el objetivo principal llevará al alumno a conseguir otros objetivos igualmente importantes, tales como:

- Afianzar el aprendizaje con programas de diseño CAD-CAM y otros softwares necesarios.
- Manejar herramientas de taller automáticas y manuales.
- Conocer la problemática y peculiaridades derivadas de los procesos de fabricación, así como el modo de solucionar y afrontar las distintas situaciones.
- Fomentar el espíritu analítico y crítico inherente a toda actividad ingenieril.

A pesar de todo lo dicho, hay otros aspectos importantes a los que prestar atención, entre los que destacan las pérdidas de carga, que se manifiestan por la caída de presión. Cuanto mayor sea la pérdida de carga en un aparato de medición de caudal, más significativas serán dichas caídas y podremos comprobarlo mediante la lectura de diferencias de altura en los tubos piezométricos.

3 INTRODUCCIÓN

La fluidomecánica engloba muchas aplicaciones relacionadas con el estudio del movimiento y comportamiento de los fluidos, así como del aprovechamiento de la energía cinética de estos o incluso de las diferencias de presiones para hacer funcionar algún dispositivo o máquina. Entre los más importantes están las mediciones de caudal mediante componentes básicos diseñados para este fin, como los tubos de Venturi, las toberas, los conos de medición o las Placas-Orificio, además del cálculo de la variación en las velocidades de los fluidos considerando estos parámetros.

4 FUNDAMENTOS

Este estudio se centrará en los dos componentes más básicos a la hora de realizar análisis de este tipo, estos son el tubo de Venturi y la Placa-Orificio. El funcionamiento de estos dispositivos se basa en el Principio de Bernoulli que, a su vez, manifiesta la conservación de la energía en el movimiento del fluido para las hipótesis consideradas en dicho principio:

- Movimiento de un fluido ideal (densidad casi constante)
- Viscosidad despreciable
- Movimiento estacionario

En la ecuación (1) se muestra como la presión disminuye en uno de los miembros al aumentar la velocidad del fluido en el otro miembro y viceversa. Destacar, como se observa en la ecuación, que no se tienen en cuenta las pérdidas de carga en la misma.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2 \quad (1)$$

Siendo P la presión del fluido en un determinado punto del conducto, v su velocidad, ρ la densidad, g la aceleración terrestre de la gravedad; y h la altura. Como puede verse, es una derivación del Principio de Conservación de la Energía, el cual dice que la suma de todas las energías es la misma en todos los puntos de la línea de corriente que se quiere analizar, tal y como se indica en la expresión (2). Realmente ambas expresiones (1) y (2) son la misma con la diferencia de que la (1) está expresada en metros y la (2) en Pascales.

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 \quad (2)$$

En el caso de estos dispositivos, lo anteriormente enunciado ocurre cuando se hace pasar un fluido a través de un conducto de menor sección. El tubo de Venturi consigue la disminución gradual del conducto a través de secciones cónicas convergentes hasta llegar a la garganta, para posteriormente volver a expandirse hasta el diámetro inicial gracias a un tramo divergente, no obstante, la Placa-Orificio disminuye la sección de manera más brusca e inmediata. La velocidad del fluido aumenta hasta que alcanza la presión mínima en la llamada sección de vena contracta, que se da en el área mínima del flujo una vez que el fluido pasa a través del orificio. De cara al diseño, es esencial considerar también las pérdidas de carga que pueden producirse en el flujo, éstas se definen como las caídas de presión a causa de los rozamientos y singularidades, ya sean entre las partículas del fluido o entre la propia tubería y este, por lo que será necesario instalar las tomas de presión a lo largo del Venturi y en el diafragma, que se encargarán de medir las diferencias de presión entre la sección aguas arriba y aguas abajo.

4.1 Normativa

Para fabricar el equipo con el que se realizará este estudio se ha tenido en cuenta en primer lugar la norma UNE-EN ISO 5167-1:2023[5], que engloba indicaciones imprescindibles a la hora de diseñar esos componentes primarios, los cuales son: las magnitudes importantes a medir, así como sus símbolos o las unidades que se deben utilizar según el Sistema Internacional, los criterios a seguir a la hora de calcular cualquiera de ellas; y los principios en los que se basan instrumentos de medición de este tipo. Además, establece los requisitos de instalación de estos dispositivos.

La segunda norma es la UNE-EN ISO 5167-2:2023[6], que enfoca todo lo anteriormente dicho en el diseño de los tubos de Venturi: las dimensiones de las secciones convergente y divergente y la garganta, los puntos donde han de colocarse las tomas de presión, las características de los materiales utilizados para fabricarlos o las dimensiones que han de tener las tuberías aguas arriba y aguas abajo para que el flujo esté lo suficientemente desarrollado.

La tercera norma sería la UNE-EN ISO 5167-4:2023[7] es similar a la del Venturi, pero reflejando los parámetros anteriores para las placas con orificio. Estas normas distinguen entre dispositivos fundidos, fabricados o mecanizados.

- Fundidos: Son los componentes elaborados mediante la fundición e inyección de metales o plásticos fundidos para ser moldeados.

- Fabricados: Se refieren los que se unen mediante soldaduras o uniones desmontables.
- Mecanizados: Son aquellos que, partiendo de un material en bruto, se introduce en un torno para darle forma mediante distintos tipos de herramientas como: cuchillas de torneado, brocas de diferentes tamaños o placas.

Por Ultimo, normas ligadas al dibujo técnico y escalas sobre planos, tales como la ISO 5455:1996[8], que instruye sobre las escalas de ampliación y reducción normalizadas. Por otra parte, se ha tenido en cuenta también la norma UNE-EN ISO 5457[9] ligada a los formatos normalizados para las hojas de dibujo; y la UNE-EN ISO 129-1:2019[10] para la correcta acotación y numeración de las partes de los subconjuntos que forman el equipo. Para los trazos del dibujo y todo lo relacionado con las vistas y la representación gráfica en dichos planos impera la norma ISO 128-3:2022 [11]. Todas estas normas son de vital importancia para el correcto desarrollo y validación del proyecto.

4.2 Antecedentes

Siempre se han necesitado instrumentos que midieran con exactitud el flujo que circulaba por un conducto o sistema por unidad de tiempo, siendo esta la definición de caudal, y con él la velocidad de este. La idealización de los Tubos de Venturi, tal y como se menciona en fuentes [14], vino de la mano del inventor italiano Giovanni Battista Venturi (1746-1822), el cual bebía de los descubrimientos de científicos del calibre de Leonardo D'Vincci o Galileo Galilei. El físico italiano solamente elaboró y publicó una serie de dibujos en 1796, que daría forma al concepto del Tubo de Venturi, pero no llegó a darle ninguna utilidad real. Poco menos de un siglo después, en 1887, un ingeniero hidráulico estadounidense llamado Clemens Herschel, basándose en los dibujos de los primeros tubos Venturi que elaboró Giovanni (Figura 4.1), fue el que realmente construyó un dispositivo de medición de caudal con la finalidad de experimentar con él, como aparato de medición real. Dicho tubo consistía en una Placa-Orificio medir la diferencia de presiones a un lado y otro de ella; y después el propio tubo de Venturi. A lo largo de la historia, el efecto Venturi ha sido utilizado para este fin en ámbitos relacionados con la aeronáutica, automovilismo, neumática o hidráulica, teniendo en consideración también las bombas Venturi, también llamadas bombas de vacío, actualmente utilizadas en las aspiradoras. La bomba posee un tubo de Venturi al que entra aire comprimido para posteriormente se mezclarse con el aire ambiente en la garganta. Así se crea la caída de presión que crea el vacío que se necesita.

Particularmente, en cuanto a aplicaciones en el campo de la hidráulica se refiere, el efecto Venturi se ha usado desde en objetos tan cotidianos como los atomizadores para aerosoles, donde la velocidad del aire aumenta a través de un pequeño tubo y así absorber el líquido (perfumes, insecticidas, jabones...) para que este salga al exterior; hasta en procesos agrícolas como la fertirrigación que, mediante el mismo principio, se atomiza un fertilizante para, en este caso, mezclarlo con el agua que actúa como disolvente en un depósito. Con esa disolución que se forma se pueden regar los cultivos a la vez que se les aporta los nutrientes que requieren.

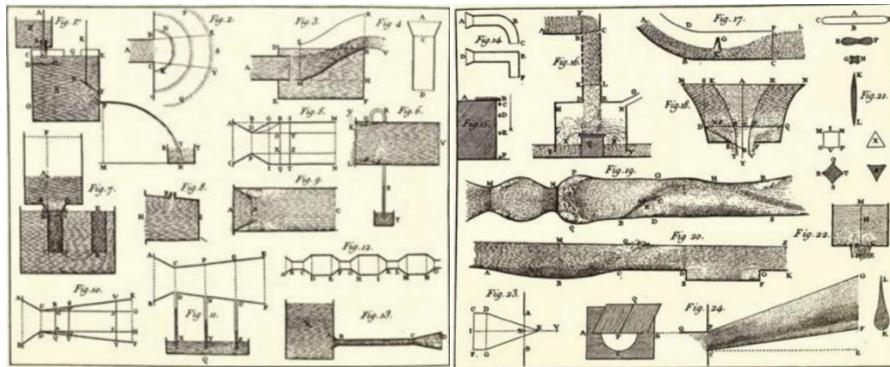


Figura 4.1 Dibujos realizados por Giovanni Battista Venturi. Extraído del seminario sobre Historia del tubo de Venturi en la Universidad Nacional Autónoma de México [14].

Por otra parte, ha jugado un papel muy importante en el sector aeronáutico ya que, conforme ha pasado el tiempo, se han necesitado formas más eficientes de aprovechar el movimiento del aire a lo largo de una superficie para de esta manera mejorar el comportamiento del despegue o vuelo de una aeronave. También ha tenido lugar en el automovilismo, en él, se ha estudiado la posibilidad de incrementar la estabilidad y agarre de un coche, más específicamente hablando, en monoplazas de Fórmula 1 para los que destacan figuras como el ingeniero británico Colin Chapman. El fundador de Lotus Cars implementó por primera vez en la historia del Gran Circo el llamado Efecto Suelo [1] utilizado en la aviación, pero esta vez, en los bólidos que diseñaba.

Esto, al fin y al cabo, se basa en el Efecto Venturi, ya que existe una diferencia de presiones entre la superficie inferior y superior del ala. En esta situación la presión aumenta en la superficie inferior, y en la superior disminuye, lo que ocasiona una sustentación que hace a la aeronave despegar. Sin embargo, el concepto de Colin Chapman era sencillo, dotar al suelo de los monoplazas la forma del ala de un avión invertida, provocando así el efecto

contrario para aumentar así la adherencia del vehículo a la pista. En 1982, la FIA (Federación Internacional de Automovilismo) prohibió el uso del Efecto Suelo y lo sustituyó por los Fórmula 1 de suelo plano, aunque en la actualidad han vuelto a considerar su aplicación.

El Efecto Venturi tiene muchos más usos en el campo de la automoción, ya sea en carburadores para motores o para tubos de Pitot, estos últimos según bibliografía [15] son dispositivos para medir la velocidad de los fluidos a través de las diferencias entre la presión estática y de remanso del aire limpio que entra en él. Así se podrá saber, entre otras cosas, la velocidad de la aeronave o del vehículo con mayor precisión que con un tacómetro. En las figuras: Figura 4.2, Figura 4.3, Figura 4.4 y Figura 4.5 se pueden ver algunos tipos de caudalímetros, desde los convencionales hasta algunos más sofisticados que permiten una medición más precisa.

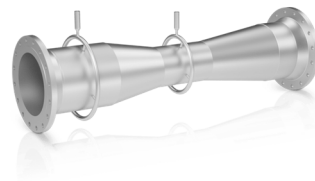


Figura 4.2 Tubo de Venturi de acero al carbono. Fuente: internet



Figura 4.3 Placas-Orificio de diferentes diámetros. Fuente: internet



Figura 4.4 Caudalímetro digital. Fuente: internet.



Figura 4.5 Caudalímetro de flotador cónico en el laboratorio de Mecánica de Fluidos de la EPSL

5 METODOLOGÍA

A continuación, se procede a describir el método de trabajo seguido para la elaboración de este TFG.

5.1 Introducción.

Como anteriormente se ha mencionado, se va a replicar con la mayor fidelidad posible el equipo de medición de caudal del que se dispone en el laboratorio de Mecánica de Fluidos en la Escuela Politécnica Superior de Linares. Para ello será necesario el estudio de todos y cada uno de los componentes que forman este dispositivo mediante mediciones, dibujado y visualizado en programas 3D o acotación en planos.

Habrán ocasiones en las que, para saber con exactitud cómo es un componente o incluso su funcionamiento, será necesario desmontar algunas partes del equipo, sobre todo para ver el interior del diafragma, la placa con orificio, el Venturi y algunas tuberías. No

todas las partes del nuevo equipo que se fabrique serán iguales al original, sobre todo teniendo en cuenta que los cálculos para diseñar algunas partes se realizarán con las normas ISO en vigor, además de modificar ciertas partes para, entre otros fines, ofrecer una mejor apreciabilidad del desarrollo del flujo a lo largo de su recorrido por las distintas partes. Esto se podría conseguir usando tubos transparentes de metacrilato en lugar de PVC.

5.2 Descripción del equipo de medición de caudal.

Este es un equipo de medición de caudal basado en otro mucho mas antiguo fabricado por la empresa Edibon, dedicada al equipamiento didáctico de laboratorio para la formación ingenieril y técnica. Este se ha decidido replicar con las normativas ISO actuales, es decir: UNE-EN ISO 5167-1:2023, UNE-EN ISO 5167-2:2023 y UNE-EN ISO 5167-4:2023. El aparato que se quiere recrear (Figura 5.1) tiene la referencia FME-18 M7 y se compone de un tubo de Venturi, un diafragma con una Placa-Orificio en su interior, un rotámetro y una valvula de membrana, todas ellas instaladas en serie para facilitar así la comparación de los resultados que se obtengan.

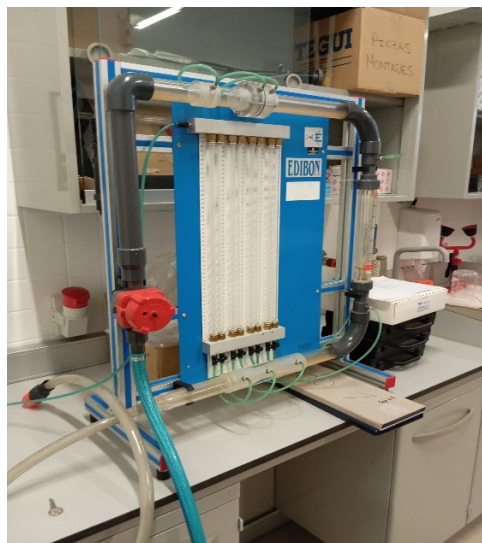


Figura 5.1 Equipo de medición de caudal Edibon FME 18 M7

El tubo de Venturi de la Figura 5.2, está compuesto por dos tramos de sección variable, una convergente y una divergente separados por una sección angosta llamada garganta. En el equipo del laboratorio tiene las siguientes características:

- El diámetro de la tubería aguas arriba es de 32mm
- El diámetro de la garganta es de 20mm
- Angulo del tramo convergente = 14°

- Angulo del tramo divergente = 21°

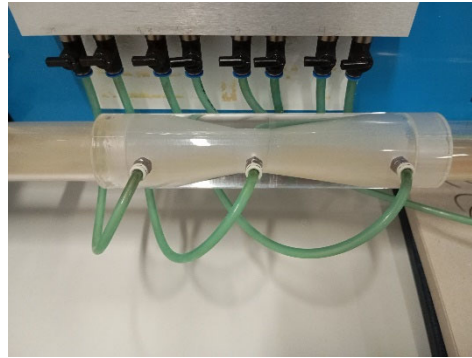


Figura 5.2 Venturi del equipo original con sus tomas de presión.

La Placa-Orificio representada en la Figura 5.3, como su propio nombre indica, es una placa circular con un orificio concéntrico taladrado. En este caso se encuentra entre unas bridas sujetas por cuatro tornillos de métrica 6x60 con cabeza allen de 5mm. Las tomas de presión se encuentran en las propias bridas, pero además dispone de otra aguas abajo para poder tomar la presión cuando el flujo está mas desarrollado y poder medir las pérdidas de carga. Las dimensiones mas significativas son:

- El diámetro de la tubería aguas arriba es de 35 mm
- El diámetro del orificio es de 20 mm, biselado en un ángulo de 45°



Figura 5.3 Diafragma con Placa-Orificio entre sus bridas.

En la tubería de desagüe se encuentra la válvula de membrana que se muestra en la Figura 5.4, que es un tipo de valvula formada por por un diafragma o membrana (de ahí el término) que regula el caudal de la tubería de desagüe. Por ultimo, cabe mencionar el rotámetro (Figura 5.4), también conocido como medidor de cono, que es otro instrumento

de medición de caudal formado por un tubo y un flotador cónico invertido en su interior. A medida que el caudal aumenta el cono se eleva a mayor altura. Estos caudalímetros también se conocen como *caudalímetros de sección variable*, y se basan en el equilibrio de fuerzas verticales que actúan sobre el flujo. Las tuberías que conectan cada uno de los componentes son de PVC a excepción de las que hay aguas arriba y aguas abajo del venturi y de la Placa-Orificio, que son de metacrilato transparente para así poder visualizar el comportamiento del fluido en el interior de cada dispositivo.

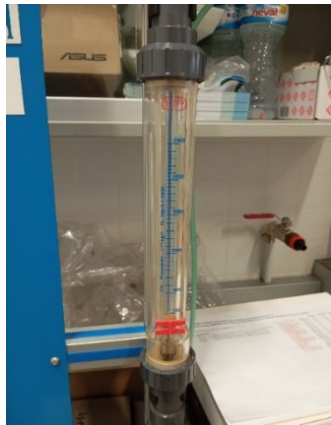


Figura 5.4 Rotámetro del equipo original



Figura 5.5 Válvula de membrana

Para la medición de las diferencias de presión producidas, hay conectadas varias tomas de presión a lo largo de su caudal mediante unos tubos flexibles, que a su vez se conectan a un manómetro con unos tubos piezométricos. En el caso de este equipo, hacen un total de 8 tomas. Conocidas las partes del equipo original, se procede a tomar las mediciones de cada una de ellas, para así poder diseñar un nuevo equipo lo mas similar posible pero adaptado a las normas ISO actualmente vigentes. Para la realización de esta tarea se ha usado una cinta métrica flexible de 2 m y un pie de rey, concretamente digital.

5.3 Máquinas y herramientas necesarias y utilizadas en fase de fabricación.

5.3.1 Centro de Mecanizado (CNC) Lagun 650 con lenguaje Fagor 8055.

El centro de mecanizado o CNC (Figura 5.6) es imprescindible para darle forma al material bruto con herramientas como son las fresas para el desbaste, o las brocas para los taladrados y machos de roscar para los roscados, en la Figura 5.7 se muestran los distintos tipos de brocas disponibles en el laboratorio junto con el portabrocas en el que se acoplan para luego ensamblar este último al CNC. El Centro de control numérico es un torno de tres ejes (XYZ) computerizado que dispone de ciclos fijos con las operaciones básicas de mecanizado, pero también se pueden introducir en su sistema operativo programas

elaborados con software como Fusion360 o WinUnisoft, todo esto a través del lenguaje de programación Fagor 8055. En su interior hay un almacén de herramientas en forma de tambor rotativo, a través del cual se selecciona la herramienta necesaria para realizar determinada tarea sobre el material y luego situarla en el cabezal del husillo de giro. Las fresas o brocas a usar están igualmente programadas. A la hora de realizar estas operaciones, será de vital importancia lubricar las herramientas para evitar las vibraciones que puedan dañarlas o, en el peor de los casos, romperla. Esto se consigue mediante una bomba que expende a la herramienta y a la superficie una mezcla de agua y aceite llamada taladrina (Figura 5.8), específicamente hablando es una mezcla del 95% de agua y un 5% de aceite.



Figura 5.6 Máquina de mecanizado de 3 ejes modelo Lagun L650, mediante control numérico con una mordaza cilíndrica para mecanizar piezas de revolución y otra plana para piezas con caras planas.



Figura 5.7 Distintos tipos de brocas y fresas disponibles en el taller de Máquinas y Herramientas de la EPSL (izda) junto con el portaherramientas (dcha).

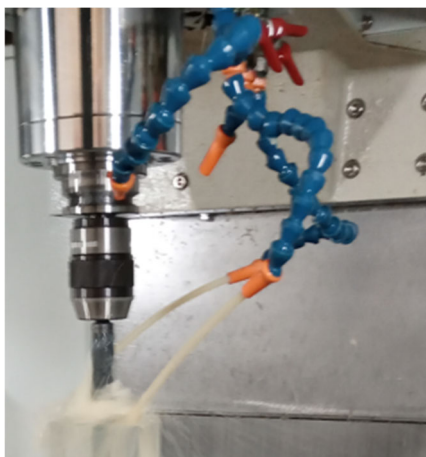


Figura 5.8 La taladrina es una mezcla de agua y aceite que sirve de lubricante entre la herramienta y la superficie.

5.3.2 Láser de CO₂

Para complementar, hay disponible una cortadora laser de CO₂, Figura 5.9, y sirve para realizar cortes en láminas de polímeros de espesor bajo, o incluso para realizar en ellos grabados previamente diseñados en programas CAD. Esta herramienta al igual que las anteriores, requiere de cierta programación, en este caso funciona con un software llamado K40 Whisperer, con el cual se puede elegir la potencia del laser y la velocidad con la que lleva a cabo la operación. Como advertencia es menester añadir primero que el laser CO₂ no dispone de sistemas de referencia a la hora de situar la pieza en un origen de coordenadas, como si que lo hace el CNC, lo segundo es que no se recomienda abrir bajo ningún concepto la compuerta de la máquina mientras esta realiza el barrido para grabar algo sobre la pieza, ya que necesita esa oscuridad para concentrar la luz y el calor del laser y así evitar partes que queden sin grabar o cortar, además de los riesgos de exposición a la luz del rayo láser.



Figura 5.9 Máquina de corte por láser de CO₂ en el taller de máquinas y herramientas de la EPSL

5.3.3 Taladro de columna

No todas las herramientas que se han utilizado son computerizadas, de igual manera, se dispone de herramientas electricas y manuales. Entre ellas se encuentra el taladro vertical de la Figura 5.10, por si fuera necesario realizar taladros donde los acabados no tienen por qué ser algo de excesiva importancia; o sencillamente agrandar taladros.



Figura 5.10 Taladro vertical

5.3.4 Sierra de cinta

Para cortar la cantidad necesaria de material bruto de todos y cada uno de los elementos será necesaria una sierra de cinta alternativa (Figura 5.11). Esta herramienta sirve para cortar tanto metales como materiales blandos tales como el PVC y el Metacrilato utilizados en este TFG. Está diseñada para realizar cotes de una inclinación de hasta 60°.

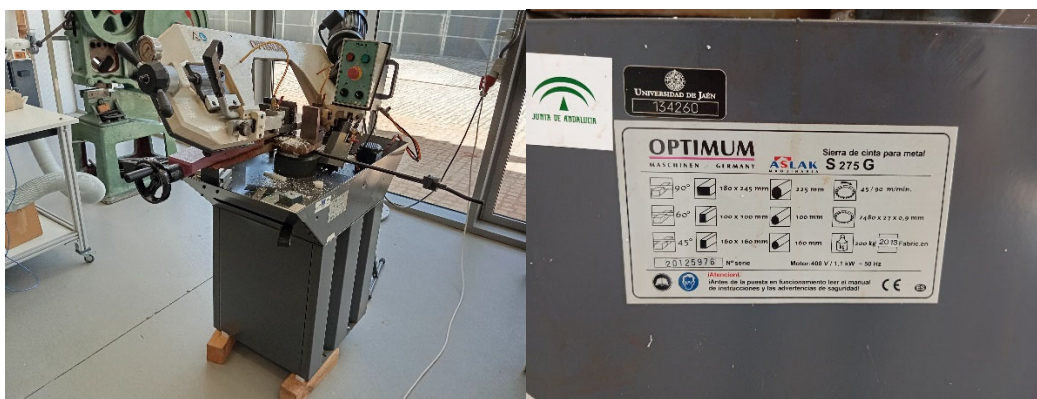


Figura 5.11 Sierra de cinta para metal en el taller de máquinas y herramientas de la EPSL

5.3.5 Torno

Para realizar taladrados y chaflanes rápidos se ha hecho uso de un torno de mecanizado manual como el que se muestra en la Figura 5.12. Sencillamente la mordaza donde se coloca la pieza está en un extremo de la máquina, y en el otro el portaherramientas, dispuestos ambos horizontalmente. A través de una serie de palancas y manivelas se pueden controlar diferentes parámetros como la velocidad de mecanizado, el paso de rosca en caso de una operación de roscado, la distancia entre la herramienta y la pieza...etc.



Figura 5.12 Torno manual.

5.3.6 Otras herramientas manuales

Para cortar manualmente piezas de materiales de menor grosor y blandos como planchas de madera o algunos metales en frío, ha sido necesaria la utilización de una cizalla (Figura 5.13) en la que se introduce, en este caso el tablon de madera, y mediante una palanca se acciona el mecanismo de dos cuchillas que se deslzan entre si realizando así dicho corte con las dimensiones que sean necesarias.

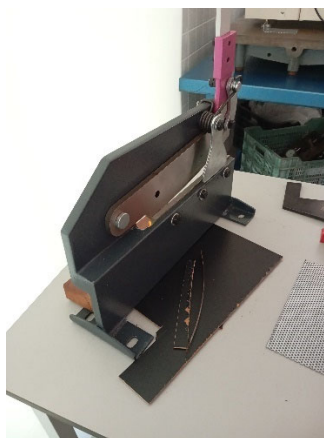


Figura 5.13 Cizalla manual.

Las herramientas básicas que se han utilizado para el montaje de tornillerías han sido un juego de llaves de allen, destornilladores de estrella o planos, una llave de tubo 10 -11 y una llave inglesa, también 10-11. A parte, se han usado limas para quitar las rebabas de las piezas despues de haber sido mecanizadas o cortadas para así evitar lesiones, ademas de otros accesorios como un nivelador de burbuja para verificar que las superficies estén completamebte horizontales cuando sea estrictamente nencesario, como puede ser en el caso de los travesaños del bastidor. Todos estos elementos se reflejan en la Figura 5.14.

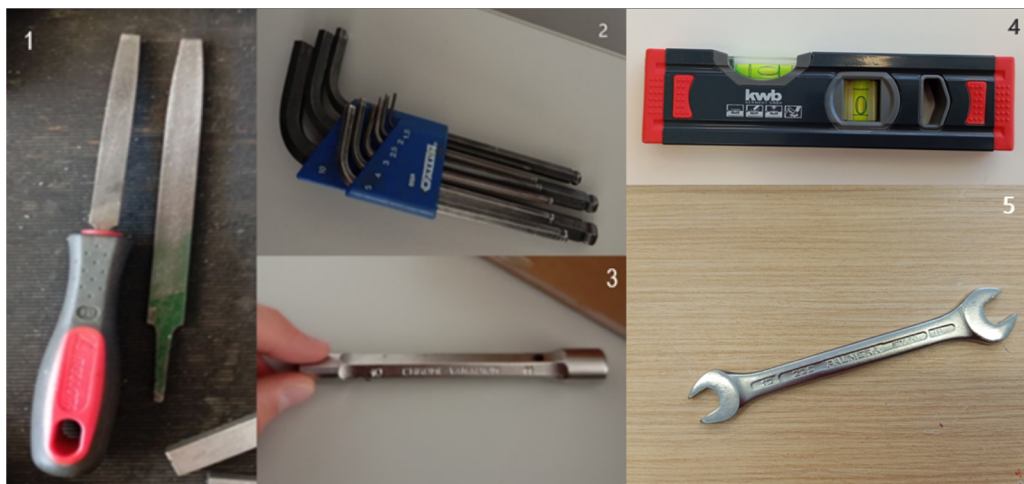


Figura 5.14 1. Limas planas y de media caña 2. Llaves de Allen para de diferentes tamaños de tornillos 3. Llave de tubo 10 -11 4. Nivelador de burbuja 5. Llave inglesa 10 -11.

En cuanto a los instrumentos de medición, los principales han sido la cinta métrica flexible de la Figura 5.15; y el pié de rey. Este último permite la medición de diámetros y profundidades a traves de los nonios, que normalmente son mecánicos, aunque ademas pueden ser digitales. Según FM Formación [3], consta de varias partes:

- Regla principal: contiene la escala de medición en pulgadas arriba y milímetros abajo.
- Las mordazas inferiores: permiten la medición de diámetros interiores.
- Las mordazas superiores: miden los diámetros exteriores.
- El Vernier: escala que se encaja y se desliza por la regla en toda su logitud, para así poder medir.
- El cursor: sostiene al alteriormente dicho Vernier y se alinea con las marcas de la regla principal para una medición precisa.
- El tornillo de bloqueo: mantiene la medida y así no perderla. Se situa junto a las mordazas inferiores.

- El Nonio: escala grabada en el Vernier que permite una medición mas precisa del componente.
- Aguja: situada en el extremo del pié de rey, permite la medición de profundidades.



Figura 5.15 Cinta métrica

En la Figura 5.16 se puede visualizar un pie de rey con las partes antes definidas, junto con el pie de rey digital que se ha utilizado.



Figura 5.16 Partes de un pie de rey, extraída de la fuente FM Formación [3] (izda). Pie de rey digital disponible en el taller de Máquinas y Herramientas de la EPSL (dcha).

5.4 Software utilizados.

Para la realización de las distintas partes de este TFG se han tenido que utilizar software de diversa índole, desde programas básicos de texto hasta programas de mecanizado, pasando obviamente por programas de diseño asistido por ordenador. A pesar de que todos se han utilizado previamente, se han tenido que recordar algunas funciones importantes o incluso aprender algunas nuevas para así mejorar la fluidez a la hora de utilizarlos.

Para empezar se tienen que citar los programas mas básicos que se han utilizado, con esto se hace referencia a los programas disponibles en el paquete Microsoft Office, que ha sido el predilecto a lo largo del estudio del Grado de Ingeniería Mecánica. Para realizar esta memoria donde se describe el proyecto, se ha hecho uso del procesador de textos *Microsoft*

Office Word 2013, que permite tanto la escritura como la edición de textos; y para la elaboración de tablas de resultados o de la tabla de aprovisionamiento y procesos de fabricación se ha utilizado el programa de procesamiento de hojas de cálculo *Microsoft Office Excel 2013*.

Del mismo modo, los programas de dibujo y diseño en 3D son cruciales para tener una vista previa de las partes que constituirán el nuevo equipo. Uno de los mas utilizados ha sido la versión de 2024 de *Inventor*, un programa creado por *Autodesk* que permite hacer todas y cada una de las partes en 3D partiendo de un boceto en 2D. Esto se consigue mediante las principales operaciones como son la Extrusión o la Revolución y, si es preciso, hay muchos componentes que se pueden conseguir en el Centro de Contenido de Inventor, una librería elaborada por la propia empresa Autodesk que contiene diferentes elementos normalizados, ya sean tornillos, tuercas, arandelas, valvulería, conexiones rápidas, codos, tuberías...etc. Para simular el aspecto final del conjunto permite el ensambaje de todos los componentes anteriormente mencionados aplicando sobre una pieza o conjunto de piezas las restricciones que se precisen. En las Figura 5.17 y Figura 5.18 se muestra una pieza tanto en 3D como su boceto en 2D.

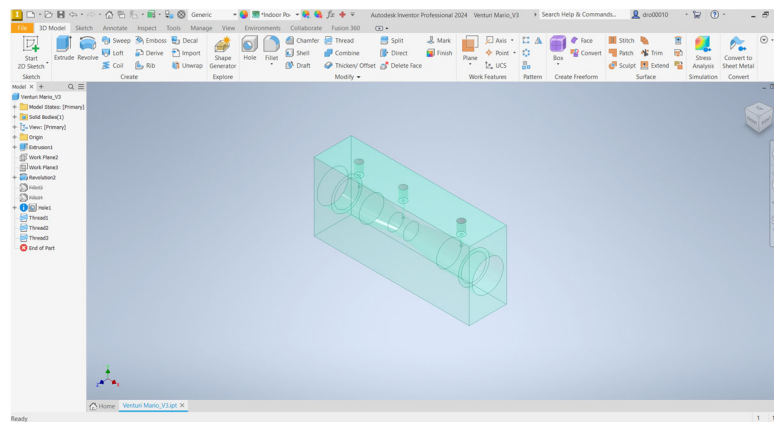
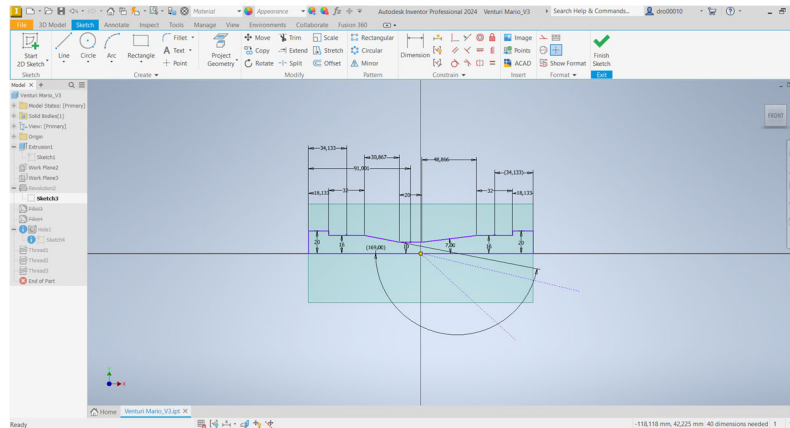


Figura 5.17 Venturi en 3D de este TFG



Añadir que Inventor permite realizar un paso tan indispensable para el diseño de una pieza como es su representación en planos normalizados. A la hora de representarlas existen muchas opciones, ya que se podrán establecer diferentes tipos de vistas que ayudarán a una visualización clara del aspecto de la pieza, vistas seccionadas, diferentes tipos de acotación, marcas de números para poder identificar las piezas de un ensamblaje; e incluso es posible crear una vsta explosionada como el de la Figura 5.19, y grabar videos que muestan simulaciones del ensamblaje del conjunto. En Inventor es importante tener en consideración los tamaños de los planos y las escalas normalizadas de la pieza que se representa en ellos, para ello, el software tiene integrado dentro de sí los formatos de hojas de papel normalizados por el Instituto Alemán de Normalización (DIN) para dichos planos, los cuales son A0, A1,A2, A3 y A4. En loque a escalas se refiere, estas son totalmente personalizables, pero dependiendo del area ingenieril hay diferentes tipos de escalas normalizadas, ya sea de ampliación o de reducción. Los cajetines de estos planos se rellenarán tanto con el nombre de la persona que lo realiza como el de quien lo revisa, el nombre del componente, la escalas que se han utilizado en la figura y en el papel, la fecha de realización y de revisión; y el número de plano. En la Escuela Politécnica Superior de Linares hay una lámina de dibujo oficial con un cajetin normalizado para este fin.

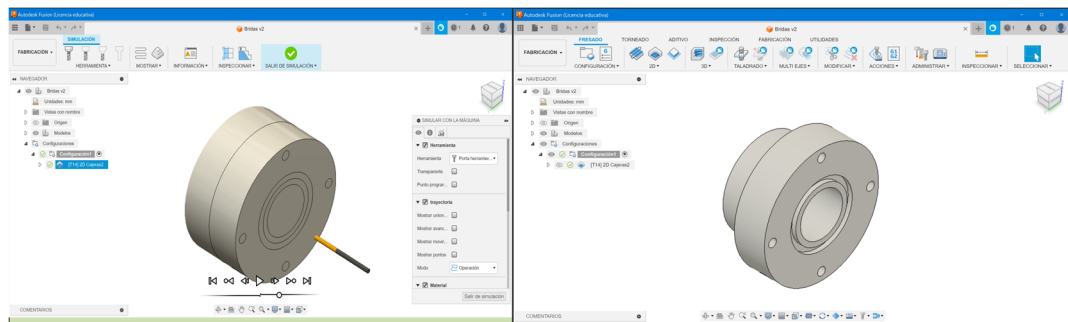


Figura 5.20 Simulación de mecanizado de la junta tórica de las bridas en Fusion 360.

En adición a lo anterior, cabe mencionar el programa llamado *WinUnisoft*. Este es similar al *Fusion360* solo que no permite representar o dibujar las piezas en 3D, ha sido de gran utilidad para la programación del desbaste de los conos de entrada y de salida del Venturi (Figura 5.21). En la figura también se observa que dentro de *WinUnisoft* hay un listado de distintas funciones ISO incorporadas, entre las que se incluyen los llamados ciclos fijos que se ha utilizado en gran parte del proceso de mecanizado que, en este caso se trata de operaciones que están programadas dentro del mismo banco CNC y que se pueden modificar directamente desde su consola de control, pero se pueden programar igualmente desde el software. Según se muestra en la Figura 5.22, los que más se han utilizado de estos ciclos son el taladrado, roscado, fresado, cajeado y fresado-taladrado.

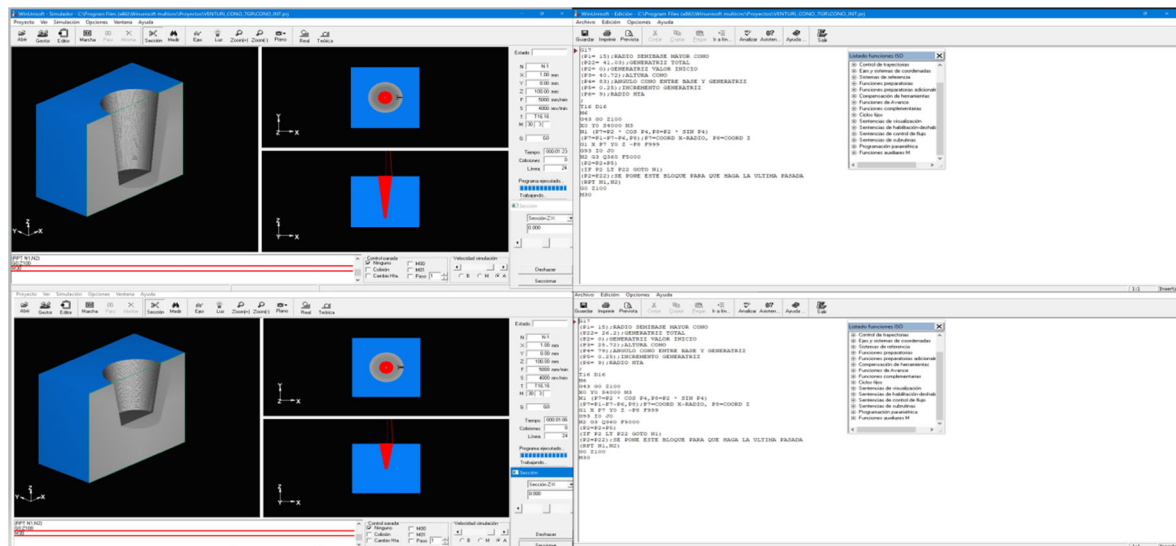


Figura 5.21 Programación del mecanizado del cono interior del Venturi en WinUnisoft.



Figura 5.22 Ciclo fijos programados en el CNC. Se pueden programar desde el mismo interfaz de la máquina.

La máquina de corte y grabado mediante laser de CO2 utiliza el programa llamado *K40-Wishperer*, que permite abrir un archivo de cualquier pieza previamente diseñada en formatos: dxf, svg, gcode, etc., modificar diferentes parámetros como la velocidad de corte o grabado en mm/s y la intensidad del mismo en %. Ha sido utilizado tanto para el corte de la Placa-Orificio como para el grabado de las reglas milimetradas para medir la altura del agua en los piezométricos (Figura 5.23), las cuales se han diseñado previamente con AutoCad.

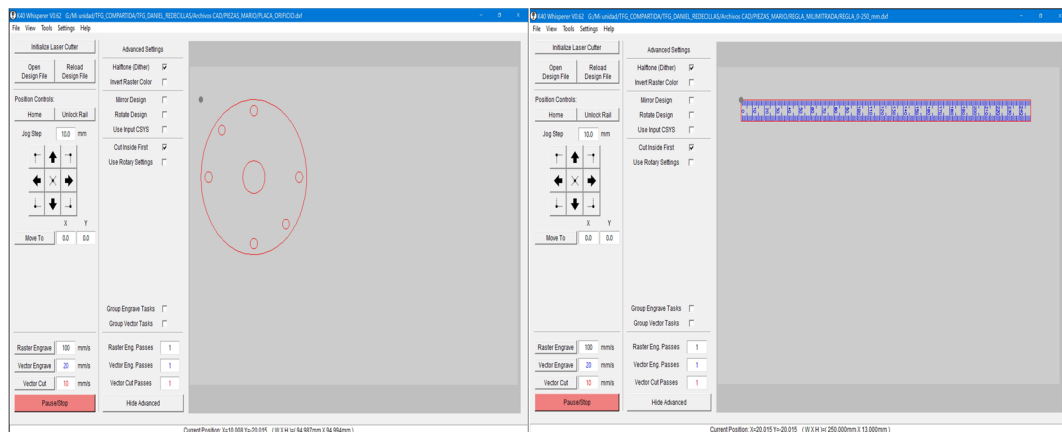


Figura 5.23 K40 Whisperer para la operación de corte de la Placa-Orificio y reglas milimetradas.

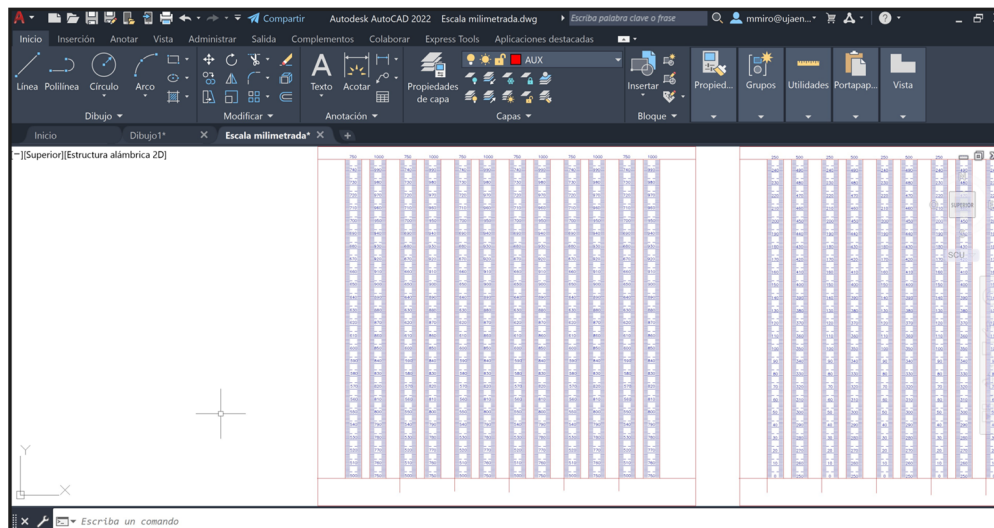


Figura 5.24 Programa de diseño AutoCAD. Diseño reglas milimetradas para los tubos piezométricos.

5.5 Diseño y construcción del equipo de medición de caudal

La secuencia de trabajo ha sido la siguiente:

1. Medición y toma de datos del equipo existente en la EPS de Linares.
2. Diseño de Tubo de Venturi
3. Diseño de Placa-Orificio (diafragma) y las Bridas de unión
4. Diseño de la toma de presión aguas abajo de Placa-Orificio
5. Diseño de los colectores superior e inferior
6. Diseño de las reglas de medición para las presiones estáticas
7. Diseño de otros elementos del equipo: tubos, bastidor, patas, etc.
8. Adquisición y compra de materiales. Tabla de planificación
9. Análisis y preparación de los procesos de mecanizado
10. Mecanizado del Tubo de Venturi
11. Mecanizado del medidor Placa-Orificio y las Bridas de unión
12. Mecanizado de la toma de presión aguas abajo de la Placa-Orificio
13. Mecanizado de los colectores superior e inferior
14. Montaje del bastidor y del circuito hidráulico: medidores de caudal, tuberías, codos, colectores, tubos piezométricos, etc
15. Instalación de las reglas de medición para la lectura de presiones estáticas.

5.5.1 Medición y toma de datos del equipo existente en la EPS de Linares

En primer lugar, se ha procedido a tomar las medidas de todos los componentes del equipo de Edibon con una cinta métrica y un pie de rey. Se ha empezado midiendo con la

cinta métrica las dimensiones de los diferentes perfiles de aluminio Bosch 45x45, que componen la estructura principal que sostiene los componentes del equipo, el bastidor. Este chasis está formado por dos barras verticales de 800 mm separados por cuatro travesaños de 585 mm. Perpendiculares al plano de bastidor y ensamblados a los extremos de los perfiles verticales se encuentran otros dos de 338 mm que evitarán que este se vuelque. Las barras se unen con escuadras especiales para estos perfiles, usando tornillería de métrica 8x10 y tuercas cuadradas M8 especiales para los canales de perfiles 45x45. En los travesaños hay atornillada una placa de aluminio que sostiene los colectores, las reglas de medición y los tubos piezométricos de diámetro 10 mm. Esta placa está acoplada con tornillos de métrica 5x10 con cabeza para llave de Allen de 4 mm, junto con tuercas cuadradas M5 introducidas en los canales de los perfiles Bosch. Se han medido otras partes adicionales como los cuatro tacos de goma atornillados en la parte inferior del chasis a modo de patas (Figura 5.25) para evitar que las superficies sobre las que se pone el equipo se estropeen, y también ayuda a ajustarlo encima del banco hidráulico disponible en el laboratorio de Mecánica de Fluidos.

Estos tacos están unidos, mediante la acanaladura de los perfiles de aluminio, por tornillos de métrica 7 y ajustados con la correspondiente tuerca cuadrada del canal y una tuerca hexagonal, todas ellas M6.



Figura 5.25 Patas de goma en la parte inferior del chasis.

Seguidamente, se han tomado las dimensiones de los elementos de medición de caudal, algunas de ellas están ya anotadas en los manuales del equipo. Por la parte inferior del equipo se encuentra el Venturi, del que exteriormente se ha medido una longitud total de 220 mm sumando los conductos cónicos, la garganta y los tramos de entrada y de salida. Su diámetro exterior es de 50 mm. En la parte superior se halla el diafragma, es decir, las dos

bridas que contienen la Placa-Orificio en su interior, cuya longitud total, incluyendo dicha placa y las bridas es de 95.8 mm y cuyos diámetros exteriores son de 75 y 50 mm. Las dimensiones interiores de ambos caudalímetros son las que están reflejadas en la descripción del equipo que proporciona Edibon en su manual y que ya se han establecido previamente en el capítulo 5.2 de esta memoria. Las tomas de presión en ambos elementos se constituyen por conexiones rápidas roscadas a los mismos mediante roscas de G 1/8 seguidas de unos tubos flexibles de poliuretano de diámetro 6 mm que unen las tomas a unas llaves de paso de $\frac{1}{4}$ de vuelta al colector inferior de los tubos piezométricos (Figura 5.26).

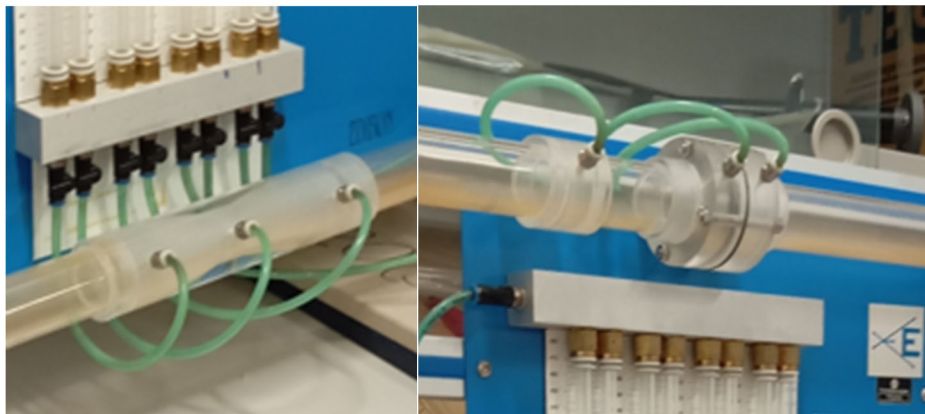


Figura 5.26 Tomas de presión del Venturi (izda) y diafragma (dcha).

En cuanto a las tuberías, se ha comprobado que todas son de un diámetro exterior de 40 mm a excepción de la de desagüe que es de 32 mm para poder colocar en su recorrido una válvula de membrana, no sin antes acoplar una reducción de 40-32 (Figura 5.27). A estos también han de incluirse los codos a 90° donde se encajarán, uno es de radio pequeño y dos de gran radio, de 27 y 110 mm respectivamente.



Figura 5.27 Tubería de desagüe del equipo de Edibon formado por una válvula de membrana, una reducción 40-32 y otra de 32-22 para acoplar la espiga para la manguera.

Por último, toca precisar las dimensiones de los tubos piezométricos y de los colectores superior e inferior atornillados a la plancha de aluminio. Los ocho tubos piezométricos son de un diámetro exterior de 10 mm y mide 500 mm de longitud cada uno. Estos van conectados mediante conexiones rápidas de latón de rosca G 1/8 a los colectores superior e inferior, de los que se ha procedido a tomar medidas del mismo modo. Los colectores son de aluminio y ambos son prismas cuadrados de 30x30x210, en caso del inferior, lleva enroscadas unas llaves de paso de $\frac{1}{4}$ de vuelta en la cara inferior mediante rosca hembra de G 1/4; y por la cara superior se enroscan las anteriormente mencionadas conexiones de latón de G 1/8, en resumen, constituyen taladros pasantes con la rosca correspondiente en cada extremo de los mismos. El colector superior cuenta con taladros roscados de G 1/8 en su cara inferior para las conexiones de los tubos, además, estos taladros están interconectados con otro taladro practicado longitudinalmente, que hace de canal común. En su extremo hay atornillada otra válvula de paso de $\frac{1}{4}$ de vuelta cuya función es, además de permitir purgar el exceso de agua de los tubos de medición, permitir que el aire entre en el circuito haciendo así que la presión atmosférica equilibre el agua para medir las alturas. En la Figura 5.28 se aprecia la disposición de los elementos descritos.



Figura 5.28 1.Colector inferior 2.Colector superior 3.Tubos piezométricos con sus reglas milimetradas. Todas las partes están conectadas mediante conexiones de latón.

5.5.2 Diseño del Tubo de Venturi

Una vez tomadas las medidas del antiguo equipo, se procede a diseñar las partes que constituirán el nuevo. Se irán representando las piezas, primero en 3D y luego en los planos con su respectiva acotación. En principio, es importante tener en cuenta que, aunque se intenta ser lo más fiel posible al original, lo que se realiza en Autodesk Inventor es un prototipo, esto significa que el equipo que se construya no será exactamente el mismo que el original, sino que en función de los obstáculos que surgen, los componentes sufren cambios. Es un equipo basado en otro, no una copia.

Se empieza diseñando los componentes de medición de caudal, tanto el Venturi como la Placa-Orificio; ambos se fabricarán con metacrilato transparente por dos motivos: el primero es que se puede apreciar el flujo del agua cuando pasa por ellos, y el segundo es que este material, a pesar de tener cierta fragilidad, es muy resistente frente al deterioro por intemperie, por agua o por alteraciones de la temperatura en el ambiente (de hecho, es el material que se usará en la mayoría de las piezas que forman el nuevo equipo). Para el diseño del Venturi, que se detalla en la norma UNE – EN ISO 5167 – 4 [7] en base a ecuaciones y valores experimentales, es importante saber medidas importantes para su correcto diseño.

A continuación, se enumeran los parámetros para facilitar al lector su visualización, y se adjunta la Figura 5.29:

- Ángulos de las secciones convergente y divergente. El cono convergente debe de medir $21^{\circ} \pm 1^{\circ}$ y el divergente $14^{\circ} \pm 1^{\circ}$. Estos datos sobre los ángulos se pueden

comprobar en la norma [7] en las secciones 5.2.3 para la convergente y en la 5.2.5 para la divergente.

- Diámetros de la garganta y aguas arriba, para luego hallar su relación β , que, según ITMA [13], corresponde al cociente del diámetro de la garganta, d , entre el de la tubería de entrada, D , (3). Este valor está comprendido entre 0 y 1, un valor alto de β indica baja pérdida de carga y un valor bajo refleja alta pérdida de carga.

$$\beta = \frac{d}{D} \quad (3)$$

- Posición de las tomas de presión aguas arriba (denominada como c en la Figura 5.29), en la garganta y aguas abajo. En la tubería de entrada, la norma indica una distancia mediante otra ecuación empírica que depende del diámetro de la tubería aguas arriba (4). Para la toma de la garganta (numerada como 7 en la Figura 5.29), las ecuaciones marcan la distancia que debe haber desde el plano de transición del tramo convergente a la toma de la garganta (5); y desde el plano transitorio al cono divergente a esta misma toma (6). Esto está reflejado en el apartado 5.4.7 de la norma [7] para todo tipo de Venturi clásicos ya sean fundidos, fabricados o mecanizados.

$$c = 0.5D \pm 0.02D \quad (4)$$

$$0.5d \pm 0.02d \quad (5)$$

$$d \pm 0.03d \quad (6)$$

- Longitudes de los tramos del Venturi: convergente (7) y garganta (8)

$$2.7 (D - d) \quad (7)$$

$$d \pm 0.03 d \quad (8)$$

El Venturi del equipo original mide un total de 200 mm contando todos los tramos. Esto se tendrá en cuenta para el diseño del cono divergente del prototipo que, midiendo 14° se puede hallar su longitud mediante trigonometría, ya que la norma UNE – EN ISO 5167 – 4 no especifica nada sobre esta longitud. Importante destacar que el diámetro más pequeño de este cono no puede ser menor que el de la garganta, tal y como dice el capítulo 5.2.5 de dicho documento [7].

- R_1, R_2 y R_3 se reflejan en el apartado 5.2.9 de la norma [7], para tubos de Venturi clásicos con sección convergente mecanizada como es este caso. Representan los radios de curvatura de las transiciones de un tramo a otro. Para estos también existen expresiones, pero la propia norma recomienda que no existan dichos radios en los Venturis clásicos mecanizados, por lo cual no se han aplicado.
- Cálculo de coeficiente de descarga, cosa que se calculará una vez construido el equipo y se realicen los ensayos experimentales.

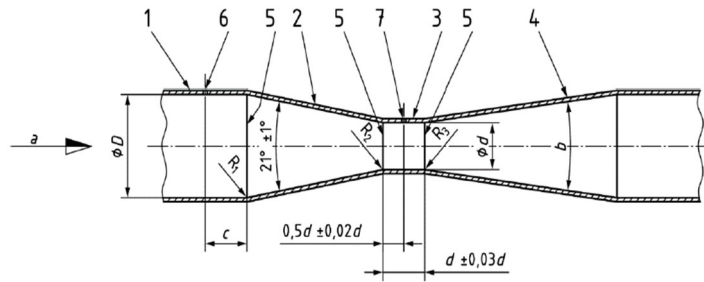


Figura 5.29 Parámetros a tener en cuenta al diseñar un Tubo de Venturi. Imagen extraída de Norma ISO 5167-4:2022 [7].

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1- Tubo de entrada aguas arriba | a - Flujo del agua |
| 2- Cono convergente | b – Angulo de tubo divergente |
| 3- Garganta | c – Distancia a la toma de presión aguas arriba |
| 4- Cono divergente | |
| 5- Planos de transición | |
| 6- Toma de presión aguas arriba | |
| 7- Tomas de presión aguas abajo | |

5.5.3 Diseño de la Placa-Orificio (diafragma) y Bridas de unión

En el caso de la Placa-Orificio se ha tomado como referencia la norma UNE-EN ISO 5167-2:2023 [6]. En un principio hicieron unos cálculos presuponiendo que el orificio no estaba biselado, sin embargo, procediendo al despiece del diafragma se ha observado con más claridad el aspecto de la placa, se trata de un orificio biselado con un ángulo de 45° . Debido a esto, se han repetido los cálculos de acuerdo a lo establecido por la norma ISO para placas con orificio biseladas. Los cálculos importantes son los siguientes.

- Espesores E y e , correspondientes al espesor de la placa y del orificio sin biselar respectivamente, se establecen en base a las expresiones (9) y (10) expuestas en el apartado 5.1.5 de dicha norma [6].

$$0.005D < e < 0.02D \text{ (siempre menor a } 0.1d) \quad (9)$$

$$e < E < 1.75 \quad (10)$$

- Holgura de la cara A de la placa (cara aguas arriba) entre esta misma y el canto de la tubería donde se coloca, cuyo criterio es el de la ecuación(11); así como su rugosidad, nombrada como Ra y establecida por la expresión (12). Esto ha sido extraído de los apartados 5.1.3.1 y 5.1.3.2 de [6] respectivamente.

$$0,005(D - d)/2 \quad (11)$$

$$Ra < 10^{-4}d \quad (12)$$

- Angulo del bisel. Tal y como se indica en el apartado 5.1.6.2 de la norma [6], el ángulo del bisel de la Placa-Orificio α ha de ser $45^\circ \pm 15^\circ$.
- Cantos G, H, I. En el apartado 5.1.7.3 de la norma [6] se aclara que el canto aguas arriba (G) debe de ser recto, es decir de $90^\circ \pm 0.3^\circ$. Por el contrario, en el apartado 5.1.7.4, en los cantos H e I correspondientes a aguas abajo no tienen por qué haber un control de calidad tan riguroso en las medidas. Esto quiere decir que no tiene importancia el hecho de haber rebabas o protuberancias en ellos, principalmente debido a que pertenecen a un área de aguas separadas como consecuencia del fenómeno de vena contracta.
- Descripción de la cara B, la cual debe de ser lisa y conservar el paralelismo con la cara A. Véase apartado 5.1.4.1 de la norma [6].
- Posición de las tomas de presión a ambos lados de la placa, teniendo en cuenta que se trata de un diafragma con partes bridadas (l_1 y l_2). Según el apartado 5.2.2.3 norma [6], la posición de las tomas dependerá del factor β anteriormente calculado de igual manera para el Venturi (3), solo que esta vez d corresponde al diámetro del orificio mientras que D sigue siendo el diámetro interior de la tubería de entrada, siendo en este caso 20 y 35 mm respetivamente dado que se ha fabricado lo más similar posible al original. El factor de la placa orificio ha sido de 0.57, menor a 0.6. Partiendo de

aquí la norma dice que para establecer la posición de la toma de presión se ha de aplicar una ecuación empírica (13):

$$l_1 = l_2^d = (25,4 \pm 1)\text{mm, para } \beta \leq 0,6 \quad (13)$$

Siendo l_1 y l_2^d dichas distancias de las tomas sobre las bridas midiendo desde la cara aguas abajo (cara B) de la placa. En la Figura 5.30 se muestra la geometría que tienen estos dispositivos; y en la Figura 5.31 se establecen las distancias de las tomas de presión respecto a las caras de la Placa-Orificio en caso de que sea bridada.

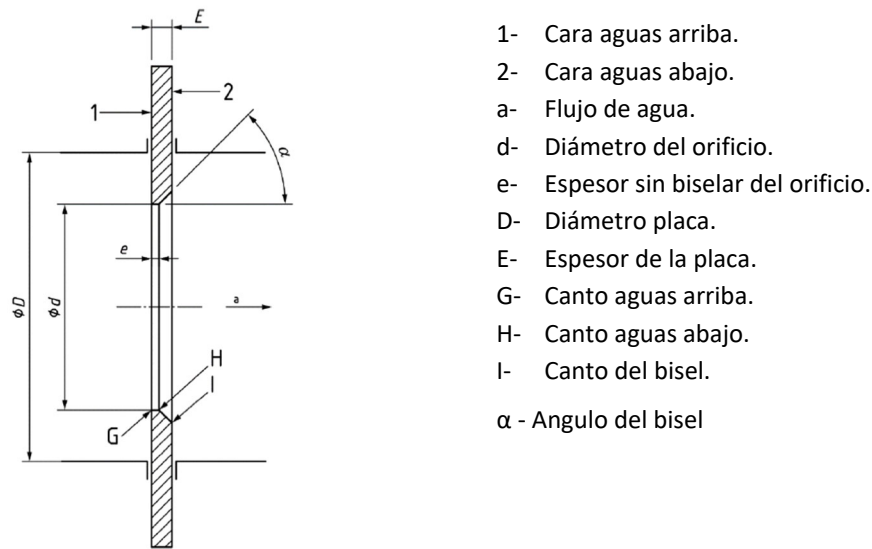


Figura 5.30 Parámetros a tener en cuenta al diseñar una placa con orificio. Norma ISO 5167-2:2022 [6].

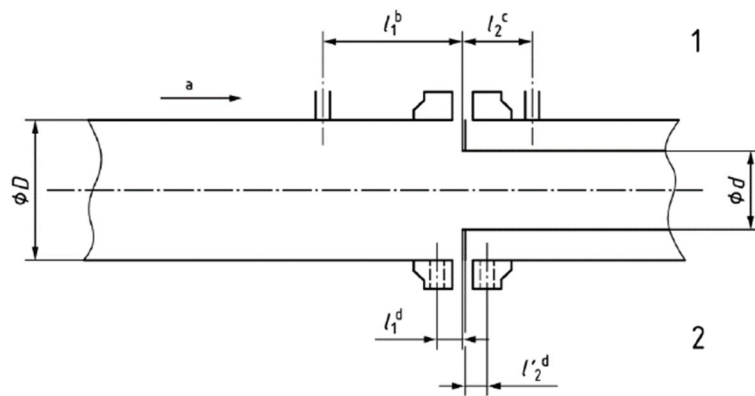


Figura 5.31 Distancia de las tomas de presión con respecto a la placa con orificio. Norma ISO 5167-2:2022 [6].

Como detalles extra debe de añadirse que los pasantes para unir las bridas y la Placa-Orificio se han diseñado para utilizar tornillos de métrica 6x60 y tuercas hexagonales de

métrica 6, además, a diferencia del equipo de Edibon, ambos elementos se han proyectado para que sean desmontables e intercambiables. Esto se conseguirá montando un tubo corto a la entrada y otro a la salida e instalando un empalme roscado de PCV en cada uno de los extremos de los dos caudalímetros, de esta forma solo habrá que desenroscarlo para sacarlo en caso de que haya que sustituirlo. En la Figura 5.32 y Figura 5.33 se visualizan los diseños finales del Venturi y del diafragma considerando todos los aspectos antes mencionados.

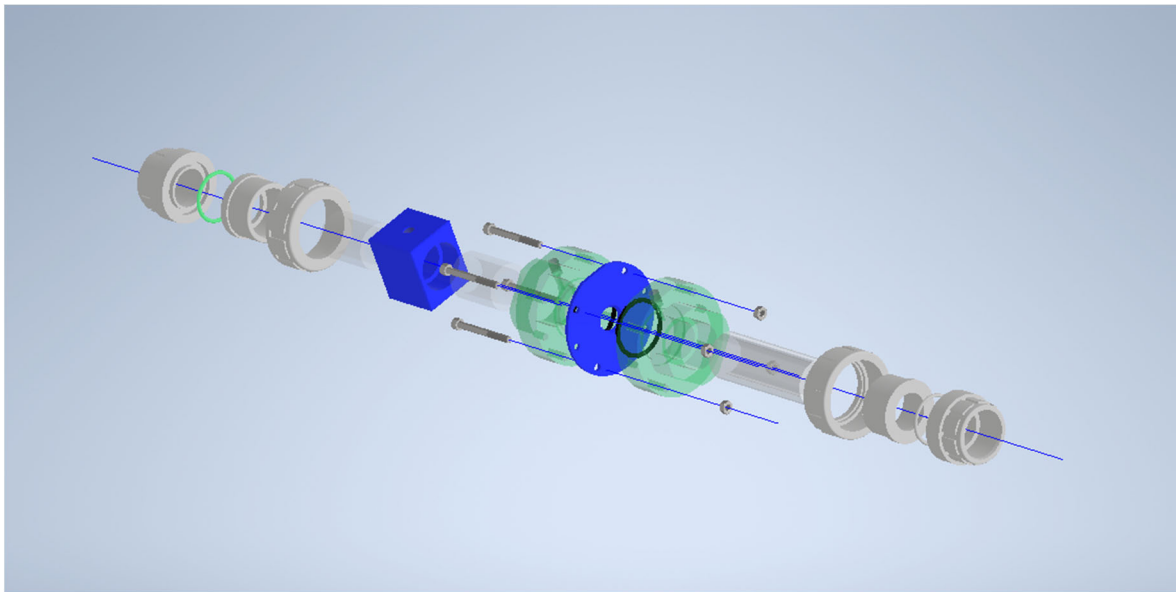


Figura 5.32 Diseño final del sistema Placa-Orificio representado en un despiece explosionado en Inventor.

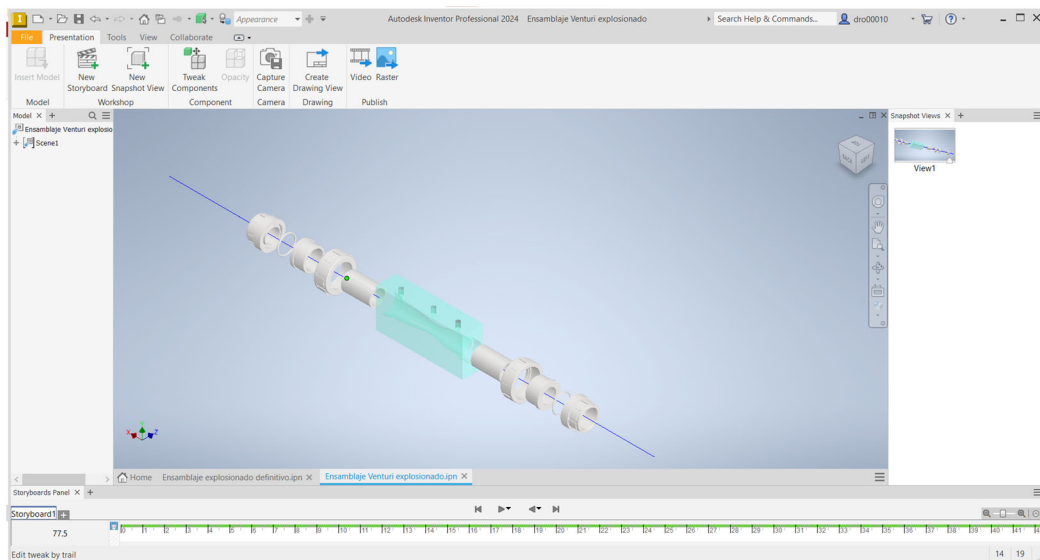


Figura 5.33 Despiece explosionado del aspecto final del Venturi una vez diseñado en Inventor.

Como antes se ha mencionado, el Venturi y las bridas de la Placa-Orificio se fabrican de metacrilato transparente y, en conclusión, para el primero se partirá de un bloque de este material de unas dimensiones aproximadas de 88x48x210 (prisma rectangular); mientras que

para cada brida se tienen otros dos bloques de 95x95x48 (prisma de sección cuadrada), dentro de las que se encontraría la Placa-Orificio, que se hará en base a una lámina delgada de metacrilato azul de espesor 3 mm. El diámetro final será de 95 mm, igual que el diámetro mayor de la brida.

5.5.4 Diseño de la toma de presión aguas abajo de Placa-Orificio

Realmente, no solo existen tomas de presión en las bridas que encierran a la Placa-Orificio, sino que también hay en el conducto aguas abajo un manguito con una tercera toma para calcular las pérdidas de carga. Inicialmente se pensó en taladrar una rosca de G 1/8 en el propio tubo para enroscarla en él, pero al ser el espesor de los tubos de metacrilato tan bajo, se ha optado finalmente por el diseño de un manguito consistente en un prisma de sección rectangular de 50x48x52 en el que se mecaniza en cada cara rectangular de 50x48 unos agujeros de diámetro 40 mm en los que se encajarían los tubos de dicho diámetro a una profundidad de 20 mm. Los 12 mm restantes serán otro agujero concéntrico, pero de diámetro 32 mm, al igual que el diámetro interior de los tubos que se van a ensamblar en él. Esto forma un rebaje de 4 mm que hace de tope y, dado que este mide lo mismo que el espesor de las paredes del tubo, no habría escalones que generen pérdidas de carga. Será en esa zona donde se taladre el orificio con rosca G 1/8 que corresponde a la toma de presión. En la Figura 5.34 se muestra el diseño de este manguito a la vez que un plano que muestra con más detalle cómo sería su interior. Importante mencionar que todas las tomas de presión ya sean del Venturi o del diafragma serían de rosca G 1/8.

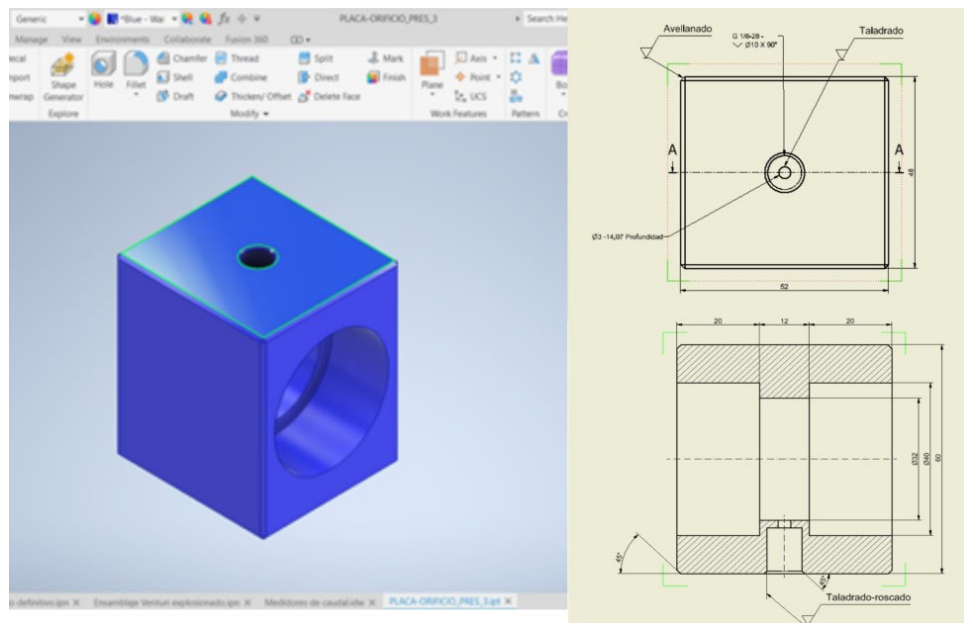


Figura 5.34 Diseño del manguito de la tercera toma para el medidor Placa-Orificio.

5.5.5 Diseño de los colectores superior e inferior

Otra parte importante del equipo son los colectores. Estos son los que reciben el agua de los conductos flexibles de poliuretano que salen de las tomas de presión y, a través de unas llaves de paso y unas conexiones rápidas conducen el fluido hacia los tubos piezométricos que serán los que midan las diferencias de presión que haya en los dispositivos. Habrá un colector en la parte inferior de los tubos piezométricos y otro superior. A pesar de que inicialmente se pensó en hacerlos mecanizando una barra de PVC, finalmente se ha optado por fabricarlos a partir de una barra de metacrilato de sección cuadrada de 30x30, de manera que serán transparentes al igual que el Venturi, el diafragma o las tuberías de los mismos. El nuevo equipo no dispondrá del rotámetro de la Figura 5.4 como en el original, por lo tanto, los ocho tubos piezométricos que tenía este, en el nuevo se reducen a seis, ergo, tres por cada medidor de caudal. En consecuencia, los colectores pueden ser más cortos, por lo que en lugar de ser una barra de aluminio de 30x30 y 210 mm de largo, el que se diseña será una barra de metacrilato transparente, también de 30x30, pero de 150 mm de longitud con una separación de 21,5 mm entre los taladros. Detalles como los tipos de rosca, son iguales que en los colectores del equipo del laboratorio descritos en el apartado 5.2, al igual que los orificios roscados que los sujetan al bastidor por sus extremos, que son de métrica 6. El resultado final en 3D se muestra en la Figura 5.35.

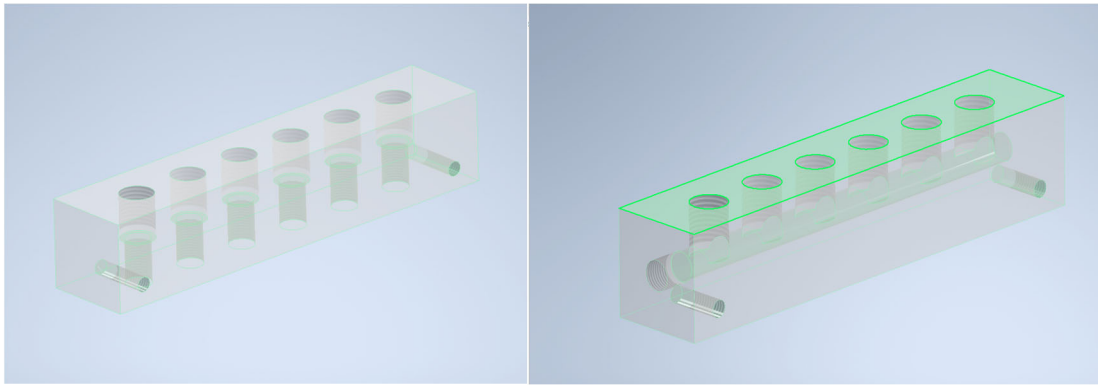


Figura 5.35 Diseños del Colector Inferior (izda) y Colector Superior (dcha) representados en 3D en Inventor.

Diseño de las reglas de medición para las presiones estáticas

También ha sido necesario el diseño de las reglas milimetradas que van pegadas al tablón de madera a la que va además atornillado el conjunto formado por los piezométricos y los colectores. Estas reglas están dispuestas justo detrás de dicho sistema para la lectura de las diferencias de altura mediante las columnas de agua que hay en los tubos. Simplemente se han dibujado previamente en AutoCAD (Figura 5.36) para su posterior impresión en papel o grabado en tiras de polietileno mediante laser, habiendo preferido lo último por ser más duradero que simplemente pegar las tiras de papel con cinta adhesiva.

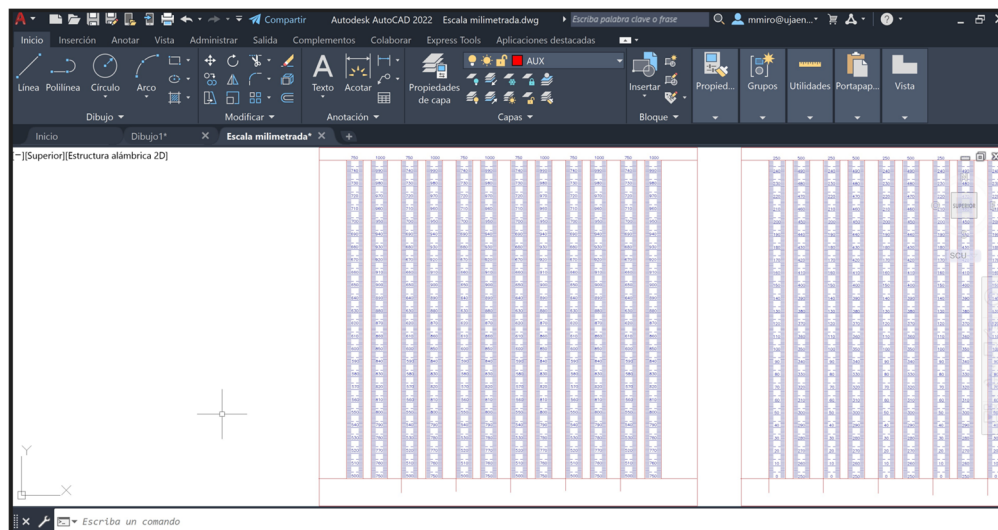


Figura 5.36 Reglas milimetradas en AutoCAD.

5.5.6 Diseño de otros elementos del equipo: tubos, bastidor, patas, etc.

Finalmente, se ha ido diseñando todo lo demás, es decir, los piezométricos, los tubos de PVC y metacrilato, valvulería, conexiones rápidas y chasis de aluminio. Dependiendo de la parte del circuito de la que se trate, se han diseñado tuberías de dimensiones específicas, siendo estas basadas en las mediciones tomadas al equipo original. En cuanto a las tuberías

de PVC, todas son de 40x35 (refiriéndose al diámetro exterior e interior respectivamente) y se han representado en Inventor con longitudes varias. Empezando por la tubería de subida hacia el diafragma que irá en lugar del rotámetro (Figura 5.37) es necesaria una tubería de 40x35 de una longitud 350 mm, rematada por dos enlaces roscados de rosca 1 pulgada en los dos extremos de este para que sea también desmontable, y otros dos tubos de 40x35 y longitud 57.5 mm para encajar todo el conjunto en el codo que entra a este y al codo que sale de él hacia el diafragma. Siguiendo con la tubería de entrada al Venturi (Figura 5.38) se ha necesitado otro tubo de 40x35 de longitud 263 mm, y uno de 32x25 de longitud 52 mm. Estos van unidos mediante una reducción de casquillo 40-32 y se termina con un empalme de macho roscado de G 1 para mangueras en el extremo del conjunto (este empalme se encola por un lado al tubo de diámetro 32 y por el otro tiene una rosca de 1 pulgada y un paso de 11 hilos por pulgada a la que se enrosca el anclaje para la manguera).

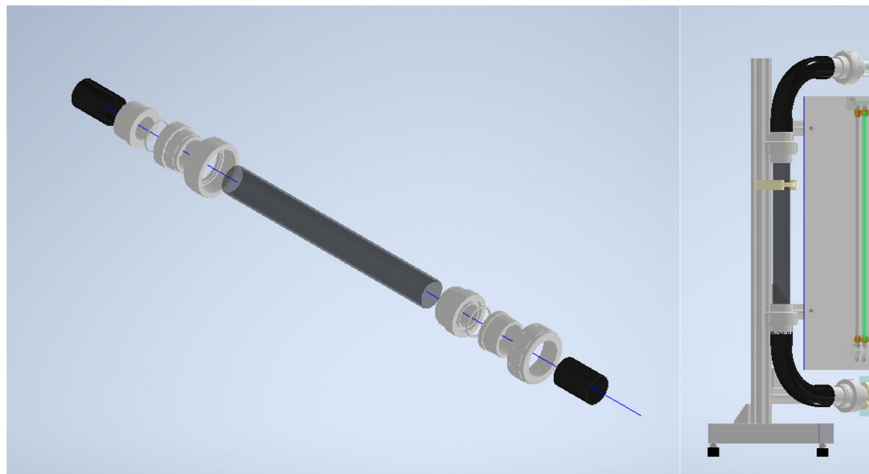


Figura 5.37 Tubería de subida hacia el diafragma en Inventor (izda) y como quedaría una vez ensamblada en el equipo (dcha).

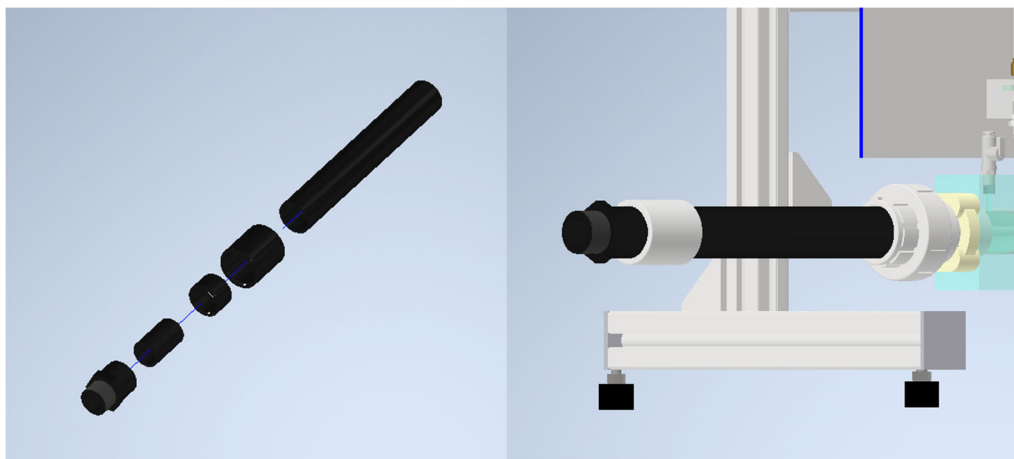


Figura 5.38 Despiece de la tubería de entrada al Venturi representado en Inventor (izda) y vista de su ensamblaje en el equipo (dcha)

El último conjunto para el que es necesario tubos de PVC sería la tubería de desagüe cuyo diseño y ensamblaje se representan en la Figura 5.39, compuesta por un tubo de este material de 40x35 de longitud 48 mm encajado por un lado al codo de radio pequeño que sale de la tercera toma de presión del diafragma, y a un enlace roscado para tubos de 40 mm por el otro.

A dicho enlace se ensambla la válvula de bola mediante empalmes de macho roscado en su entrada y su salida (empalmes roscados G 1 del mismo tipo que el usado para la tubería de entrada al Venturi), se finaliza con una espiga para mangueras encolada y encajada en el empalme de salida.

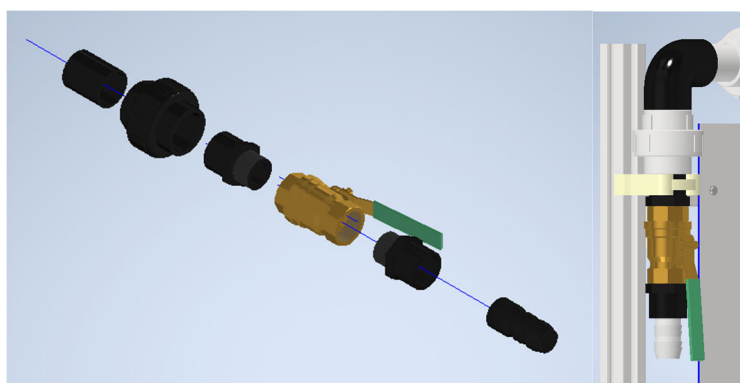


Figura 5.39 Diseño en 3D de la tubería de desagüe (izda) y vista previa (dcha). Se ha decidido cambiar la válvula de membrana por una de bola debido a su facilidad de uso y a ser más económica.

Para otras partes del circuito, se han necesitado tubos de metacrilato de 40x32 en los que se ha seguido el mismo procedimiento de diseño que para los de PVC, se toman las medidas de los tubos del equipo original y se diseñan de manera aproximada para que encajen en los elementos donde son necesarios. En este punto, los tubos de entrada y de

salida del Venturi y del diafragma son de este material transparente. En el caso del Venturi se han necesitado dos tubos de metacrilato de 66 mm de largo para montarlos en los rebajes de sus extremos, y otro de 92 mm de longitud para empalmar el sistema formado por el Venturi, los enlaces roscados y dichos tubos al codo de 90° de gran radio (radio 110) de la parte inferior, tal y como se indica en la Figura 5.40.

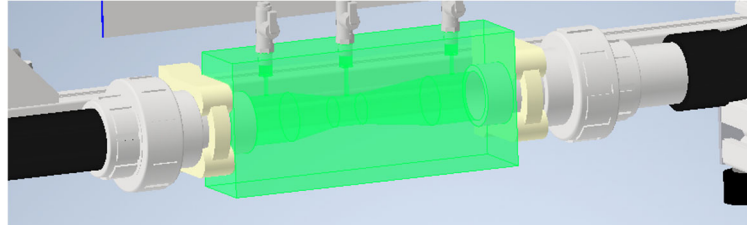


Figura 5.40 Conjunto Venturi montado finalmente en el equipo.

Dispuestos del mismo modo se encuentra el tubo de 110 mm de largo la entrada del diafragma, y en su salida está el manguito con la tercera toma unida al sistema con otros dos tubos de 49 mm de largo, todos ellos también de metacrilato de 40x32. En adición faltarían otros dos tubos de metacrilato de longitud 85 mm que van después de los enlaces roscados, estos serán los que finalmente unan el conjunto por ambos extremos desde la tubería de subida a la de desagüe mediante los codos, un codo de radio 27 (pequeño radio) por la izquierda y otro de radio 110 (gran radio) por la derecha (Figura 5.41).

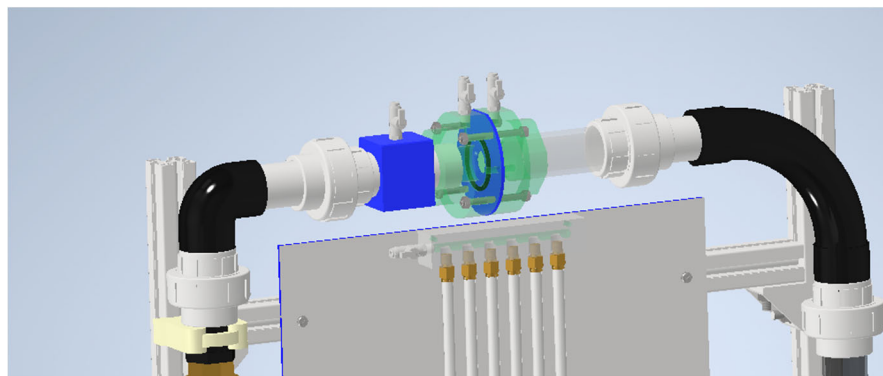


Figura 5.41 Conjunto Placa-Orificio unido al equipo unido por el lado derecho a un codo de gran radio y por la izquierda a uno de radio pequeño.

Para terminar con los conductos, se procede a diseñar los tubos piezométricos. Medidos en el equipo de Edibon dan 500 mm de largo cada uno, y al ser seis en lugar de ocho serían 3 m de tubo de diámetro exterior 10 mm en total. Estos van unidos a los colectores superior e inferior mediante las conexiones rápidas (Figura 5.42).

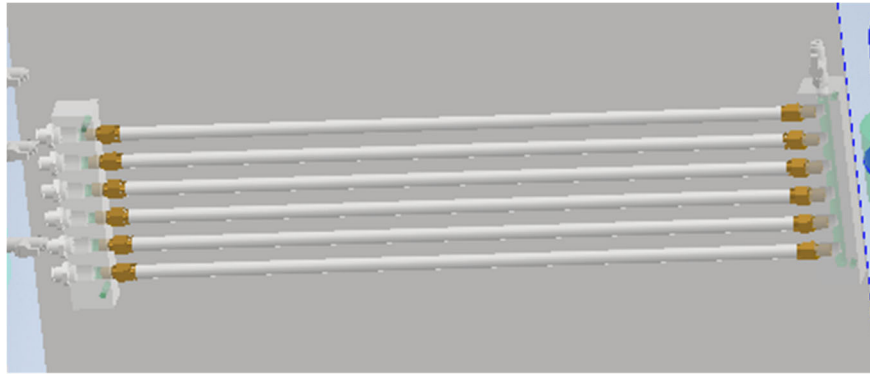


Figura 5.42 Tubos Piezométricos unidos mediante conexiones rápidas de latón a los colectores.

Para sostener todo el sistema de medición de caudal es necesario un bastidor. El chasis del nuevo equipo se ha diseñado de manera muy similar al del original, es decir, sigue siendo de aluminio y las longitudes de los perfiles Bosch utilizados siguen siendo las mismas. No obstante, existen algunas diferencias entre el bastidor de un equipo y otro, la primera es que mientras en el modelo FME-18 todos los perfiles son de 45x45, en el nuevo las únicas barras de este tipo que hay están en las patas, mientras que el resto son de 35x35. Todo esto debido a la mayor disponibilidad de estos últimos en el Taller de Máquinas y Herramientas de la EPSL. La segunda diferencia sería la eliminación del travesaño superior haciendo así más espacio para el medidor de Placa-Orificio por ser este más voluminoso que el original. Por último, la placa donde se sostienen los piezométricos y los colectores es de madera (contrachapado) en lugar de una chapa de aluminio, pero aun así las dimensiones de esta siguen siendo iguales, 413x600 y espesor 3mm.

Los perfiles se unirán con escuadras especiales de 43x43x43 y tornillos M8 de cabeza de martillo (llamados así por el hecho de que sus cabezas tienen dicha forma para poder introducirlas en los canales de los perfiles), para posteriormente sujetarlos con una tuerca hexagonal de métrica 8 desde el otro extremo. La tabla de madera se unirá directamente al bastidor mediante los canales de los perfiles usando también tornillos de martillo o tornillos con tuercas cuadradas, pero de métrica 6. El despiece y resultado se muestra en la Figura 5.43 y Figura 5.44 respectivamente.

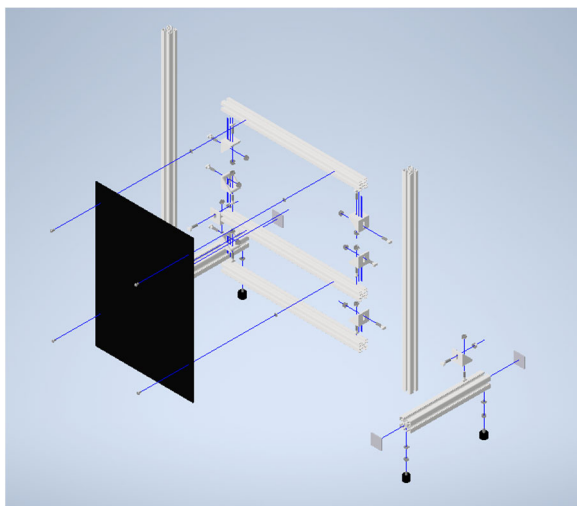


Figura 5.43 Despiece del Bastidor representado en Inventor

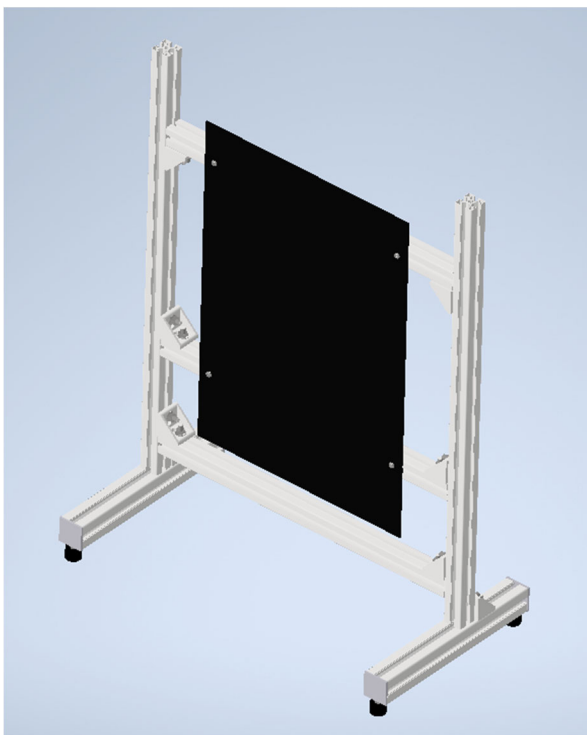


Figura 5.44 Ensamblaje del Bastidor en Inventor.

Hay un elemento en particular que ha causado contratiempos en la etapa de montaje del nuevo equipo una vez mecanizadas todas las piezas. Está relacionado con las abrazaderas que sujetan los tubos de 40 mm al bastidor, dado que no todas ellas tienen el mismo diseño y las situadas horizontalmente en el Venturi son más grandes que las que agarran los tubos verticales de subida y de desagüe. Se pudo observar que el sistema no era totalmente vertical con respecto al chasis y, debido a esto, el equipo presentaba una leve inclinación que hacía

que la tubería de subida se viera forzada y se doblase hasta tal punto que esta se deformaba y desprendía el adhesivo de los empalmes.

Esta situación se ha resuelto atornillando los tacos de metacrilato de la Figura 5.45 que actúan de separación entre las abrazaderas y el bastidor y dejará el equipo nivelado y totalmente paralelo al bastidor. Como ya se podrá deducir, incluso en una etapa tan avanzada como la de montaje, se han tenido que diseñar piezas para solucionar ciertos problemas. Estos tacos se plantearon como unas pequeñas piezas cuadradas de 30x30x19 con un agujero roscado de métrica 6 en la parte inferior de la cara cuadrada y una ranura de 22 mm de largo, también diseñada para introducir tornillos M6, en la superior para que la abrazadera pueda ajustar su posición transversalmente a los perfiles. En la Figura 5.46 se revela como sería en ensamblaje final de estos elementos.

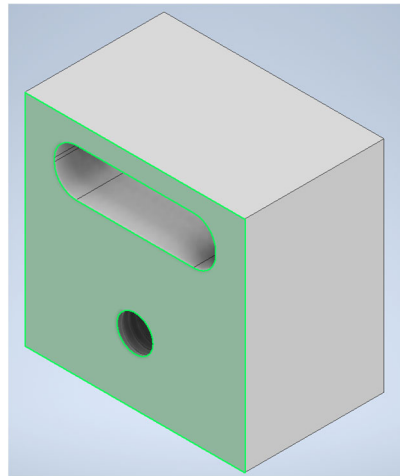


Figura 5.45 Suplemento de elevación para las abrazaderas.

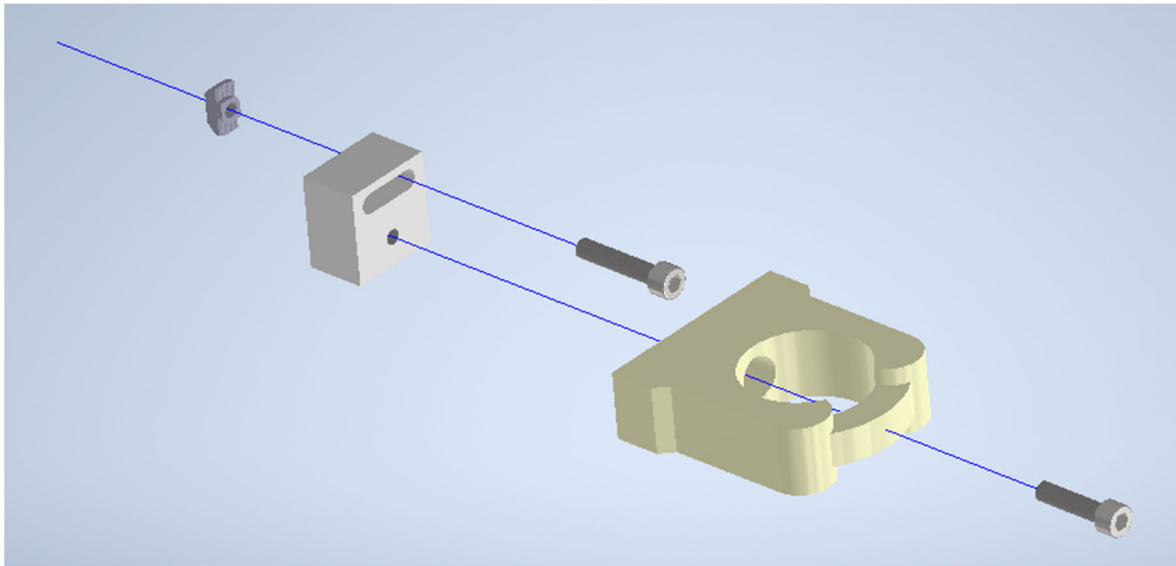


Figura 5.46 Despiece explosionado de las abrazaderas.

Para rematar el bastidor, se ha llevado a cabo el diseño de las patas que van atornilladas debajo de los perfiles 45x45 del bastidor. Son unos sencillos tacos cilíndricos de un diámetro y una altura de 30 mm a los que se le practican varios orificios concéntricos, uno de diámetro 21 mm para el protector de goma, otro de diámetro 16.5 mm para encajar la cabeza del tornillo y el último será un taladro pasante de diámetro 8 mm para el tornillo M8 que lo amarrará al chasis. Este elemento se muestra en la Figura 5.47.

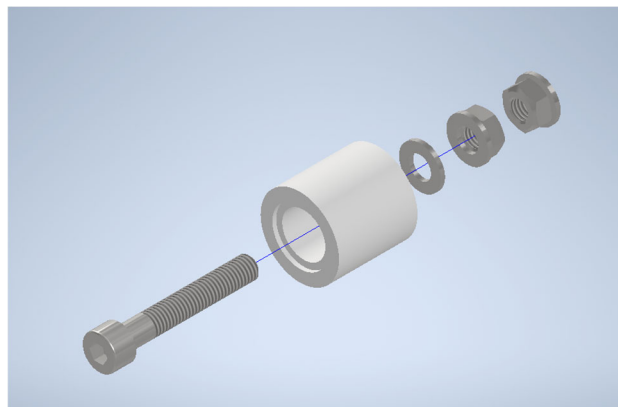


Figura 5.47 Ensamblaje explosionado de las patas.

El resto de las partes son los codos, conexiones rápidas, valvulería, tapas para perfiles Bosch, tuercas y tornillos, enlaces roscados, abrazaderas para tubos de 40 mm y casquillos de reducción. El diseño de estos elementos es comercial, es decir, están normalizados y se pueden conseguir en cualquier proveedor. Por eso en algunos casos como en los tornillos y tuercas no suelen representarse en una hoja de dibujo a menos que se esté hablando de un ensamblaje.

Utilizando los cajetines oficiales de la EPSL, se han elaborado los planos de todas y cada una de las partes que integran el nuevo equipo de medición de caudal, representando en primer lugar todo el conjunto con sus partes importantes numeradas y haciendo lo mismo con todos los subconjuntos que antes se han nombrado (Venturi, diafragma, tuberías de subida y desagüe, bastidor y abrazaderas). A la hora de realizar dichos planos se disponen de una serie de formatos de hoja y escalas normalizadas, se podrá jugar con ellas según el tamaño de la pieza pudiendo de esta manera ajustar una escala al formato, pero todo esto se tendrá que reflejar posteriormente en la casilla “escala” en el cajetín; ej: escala 2:1 A0. Este proceso de representación en planos ayuda, entre otras cosas, a ver que modificaciones se le pueden hacer a las distintas piezas para un determinado fin, ya que Autodesk Inventor permite variar las dimensiones y las cotas de los planos automáticamente una vez que se introduce el valor deseado. Las escalas que se utilicen en los planos dependerán de la norma ISO 5455:1996 [8], según esta, hay escalas de ampliación y reducción. Entre las que están normalizadas, las que más se han utilizado son 1:5 y 1:2 para reducción; y 5:1 y 2.1 para ampliación. Teniendo en cuenta del mismo modo la norma ISO 5457:1999 se ha ido jugando con los formatos de las hojas de dibujo (A0, A1, A2, A3, A4). Para una acotación y numeración adecuada se ha tenido en consideración la norma UNE-EN ISO 129-1:2019 [10] y para saber qué clase de trazos hay que usar en cada momento se consultará la norma ISO 128:2022 [11].

5.5.7 *Adquisición y compra de materiales. Tabla de planificación*

La siguiente etapa tras haber diseñado todas las partes es el aprovisionamiento de los materiales necesarios para la posterior fase de fabricación. Se procede a la realización de una lista de aquello que se necesita para construir el nuevo equipo de medición de caudales. Todos estos elementos se especifican con más detalle en una hoja de Excel para su posterior consulta y se podrá ir modificando según sea necesario. Para tener más posibilidades se preguntaría a varios proveedores para ver cuál de ellos puede tenerlos disponibles, aunque aquel que nos ha proporcionado la gran mayoría de las piezas ha sido la empresa llamada Servei Stacio, en Girona o la tienda Disman, en el polígono industrial Los Jarales de Linares. A continuación, en la tabla 5.1, se muestra la hoja de Excel con los materiales que se han tenido que conseguir en tiendas, los cuales son los que tienen el precio anotado en la casilla de coste. Los demás materiales están disponibles en el propio lugar de trabajo, por lo que no han hecho falta proveedores que suministren dichos elementos.

Tabla 5.1: Aprovisionamiento de materiales y operaciones de fabricación a efectuar.

FECHA	VENTURI	TIEMPO	OPERACIÓN	IMAGEN	ESTADO	OBSERVAC.	UDS.PIEZA	CARACT.	COSTE	TEIMO	CEIMO	C. MATERIAL
	DISEÑO MEDIDOR VENTURI	120	DISEÑO		Terminado	"				7.0 H	€185.85	€78.29
	MECANIZADO VENTURI	300	MECANIZADO		Terminado	"						
	CONECTORES RÁPIDOS D6 ROSCA 1/8		COMERCIAL		Terminado	"	6		7.52 €			
	GRIFOS		COMERCIAL		Terminado	"	7		37.14 €			
	CONECTORES RÁPIDOS D10 ROSCA 1/4 TUBOS PIEZO		COMERCIAL		Terminado	"	12		21.92 €			
	CORDÓN TÓRICO		COMERCIAL		Terminado	"	D4		7.71 €			
	BRIDAS FIJACIÓN VENTURI		MECANIZADO		Terminado	"			4.00 €			
					"							
					"							
FECHA	PLACA-ORIFICIO Y COLECTORES	TIEMPO	OPERACIÓN	IMAGEN	ESTADO	OBSERVAC.	UDS.PIEZA	CARACT.	COSTE	TEIMO	CEIMO	C. MATERIAL
	DISEÑO BRIDAS 1-2 PLACA ORIFICIO	120	DISEÑO		Terminado	"				24.0 H	€637.20	€50.00
	DISEÑO PLACA ORIFICIO-TUBERÍA	60	DISEÑO		Terminado	"						
	DISEÑO TOMA PRESION 3ª PLACA ORIFICIO-TUBERÍA		DISEÑO		Terminado	"						
	MECANIZADO BRIDAS 1-2 PLACA ORIFICIO	420	MECANIZADO		Terminado	"						
	MECANIZADO PLACA ORIFICIO	60	MECANIZADO		Terminado	"						
	COMPRA MATERIAL COLECTORES (metacrilato 30x30-1metro)		COMERCIAL		Terminado	Transparente	1	1 METRO	50.00 €			
	MECANIZADO COLECTOR INFERIOR	390	MECANIZADO		Terminado	"						
	MECANIZADO COLECTOR SUPERIOR	390	MECANIZADO		Terminado	"						
	MECANIZADO TOMA PRESIÓN 3ª PLACA-ORIFICIO-TUBERÍA		MECANIZADO		Terminado	"						
	Allen, 6x60, cabeza de 5mm, inoxidable, bridas (x4) placa-orificio		COMERCIAL		Terminado	"						
	Tuercas Métrica 6 (x4) placa-orificio		COMERCIAL		Terminado	"						
FECHA	TUBERÍAS Y Codos	TIEMPO	OPERACIÓN	IMAGEN	ESTADO	OBSERVAC.	UDS.PIEZA	CARACT.	COSTE	TEIMO	CEIMO	C. MATERIAL
	DISEÑO CONDUCTOS		DISEÑO		Terminado	"				2.4 H	€64.16	€95.60
	Codo a 90º de radio pequeño		COMERCIAL		Terminado	"	2		22.40 €			
	Codo a 90º de radio grande (x2)		COMERCIAL		Terminado	"	2		34.82 €			
	Tubo PVC 40x35x300 vertical bajada		COMERCIAL		Terminado	"			4.50 €			
	Tubo METACRILATO 40x30x500 vertical subida		COMERCIAL		Terminado	"			21.90 €			
	Tubo piezométrico D=10mm.		COMERCIAL		Terminado	"	10	TUBOS 1 M	12.18 €			
	Tubo metacrilato 40x30x160 salida venturi		COMERCIAL		Terminado	"						
	Tubería aguas arriba venturi		COMERCIAL		Terminado	"						
	Tubo metacrilato 40x30x222 placa-orificio		COMERCIAL		Terminado	"						
	Tubo metacrilato 40x30x225 placa-orificio		COMERCIAL		Terminado	"						
	Reducción 32-22		COMERCIAL		Terminado	"						
	Reducción 40-32		COMERCIAL		Terminado	"						
	CORTE DE TUBOS PIEZOMÉTRICOS	25	CORTE		Terminado	"						
	CORTE Y PEGADO DE TUBERÍAS Y Codos	120	CORTE-PEGADO		Terminado	"						
FECHA	BASTIDOR	TIEMPO	OPERACIÓN	IMAGEN	ESTADO	OBSERVAC.	UDS.PIEZA	CARACT.	COSTE	TEIMO	CEIMO	C. MATERIAL
	PERFIL BOSCH 35X35.800mm (x2)		CORTE		Terminado	"				4.8 H	€126.11	€0.00
	PERFIL BOSCH 35X35.585mm (x3)		CORTE		Terminado	"						
	PERFIL BOSCH 45X45.338mm (x2)		CORTE		Terminado	"						
	DISEÑO PATAS	45	DISEÑO		Terminado	"						
	MECANIZADO PATAS	60	MECANIZADO		Terminado	"						
	Panel 413x600	30	CORTE		Terminado	"						
	Allen, 6x20, cabeza de 5mm, inoxidable, abrazaderas (x4)				Terminado	"						
	Allen, 5x10, cabeza de 4mm, inoxidable, plancha (x4)				Terminado	"						
	Tornillo de cabeza hexagonal, métrica 8x10, escuadrillas (x4)				Terminado	"						
	Tuercas hexagonales métrica 8 (x4), para las patas				Terminado	"						
	Reglas de medición	60			Terminado	"						
	Suplementos abrazaderas tubos	90	MECANIZADO		Terminado	"						

En la tabla también se pueden apreciar los procesos de fabricación que se han seguido a lo largo de todo el proyecto. Entre los parámetros más importantes están el tiempo en minutos que ha llevado la realización de las operaciones de mecanizado, de corte y de pegado; el estado de esta (pendiente, en proceso o finalizada) y el coste de la operación si fuera preciso. De la misma manera, es imprescindible reflejar las unidades que se necesitan de cada pieza o la cantidad de material en bruto que se precise para una determinada operación. Adicionalmente, se tiene la opción de reflejar en la tabla observaciones sobre el material relacionadas con su venta y transporte o incluso servicio post venta, y características específicas del mismo tales como el diámetro de los cordones tóricos del diafragma.

5.5.8 Análisis y preparación de los procesos de mecanizado

Tras haber terminado de concretar las medidas de las piezas a través de los planos y comprobar que se han obtenido todos los materiales necesarios en la fase de aprovisionamiento, se procederá a la fase de fabricación por mecanizado de las partes principales. Los elementos principales han sido mecanizados con metacrilato, haciendo uso de una máquina de mecanizado de tres ejes de control numérico (CNC), concretamente el

modelo Lagun L650 que se indica en la Figura 5.48. Este equipo utiliza el lenguaje Fagor 8055 y se encuentra en el taller de Máquinas y Herramientas del Campus Científico-Tecnológico de Linares (EPSL).



Figura 5.48 Máquina de mecanizado de 3 ejes, mediante control numérico con una mordaza cilíndrica para mecanizar piezas de revolución y otra plana para piezas cuadradas o con caras.

Para la fabricación es importante planificar meticulosamente qué clase de herramientas se van a utilizar, para que materiales y bajo qué circunstancias, favoreciendo un mejor resultado y evitando incidentes como la rotura de herramientas o vibraciones indeseadas que afecten al acabado de la pieza. A continuación, se adjunta una tabla que recopila las velocidades de mecanizado según el material y la herramienta en uso. Constituyen valores orientativos con las pautas que se han seguido en el mecanizado general de los elementos (tabla 5.2).

Tabla 5.2: Velocidades de mecanizado según el material a mecanizar y la herramienta de operación.

avance por diente	HERRAMIENTA ACERO RÁPIDO				HERRAMIENTA METAL DURO				
	PLÁSTICOS				DESBASTE				
$fz =$	30				160				
0,1	$F (mm/min) = fz * n^{\circ}dientes * S$				$F (mm/min) = fz * n^{\circ}dientes * S$				
D (mm)	S	4	3	2	S	4	3	2	
80	119	48	36	24	637	255	191	127	103
40	239	95	72	48	1.273	509	382	255	207
32	298	119	90	60	1.592	637	477	318	259
20	477	191	143	95	2.546	1.019	764	509	414
18	531	212	159	106	2.829	1.132	849	566	460
16	597	239	179	119	3.193	1.273	955	637	517
12	796	318	239	159	4.244	1.698	1.273	849	690
10	955	382	286	191	5.093	2.037	1.528	1.019	828
8	1.194	477	358	239	6.366	2.546	1.910	1.273	1.035
10	955	382	286	191	5.093	2.037	1.528	1.019	828
6	1.592	637	477	318	8.488	3.395	2.546	1.698	1.379
14	682	273	205	136	3.638	1.455	1.091	728	591

avance por diente	HERRAMIENTA ACERO RÁPIDO				HERRAMIENTA METAL DURO				
	ALUMINIO				DESBASTE				
$fz =$	85				230				
0,1	$F (mm/min) = fz * n^{\circ}dientes * S$				$F (mm/min) = fz * n^{\circ}dientes * S$				
D (mm)	S	4	3	2	S	4	3	2	
80	338	135	101	68	915	366	275	183	239
40	676	271	203	135	1.830	732	549	366	477
32	846	338	254	169	2.288	915	686	458	597
20	1.353	541	406	271	3.661	1.464	1.098	732	955
18	1.503	601	451	301	4.067	1.627	1.220	813	1.061
16	1.691	676	507	338	4.576	1.830	1.373	915	1.194
12	2.255	902	676	451	6.101	2.440	1.830	1.220	1.592
10	2.706	1.082	812	541	7.321	2.928	2.196	1.464	1.910
8	3.382	1.353	1.015	676	9.151	3.661	2.745	1.830	2.387
10	2.706	1.082	812	541	7.321	2.928	2.196	1.464	1.910
8	3.382	1.353	1.015	676	9.151	3.661	2.745	1.830	2.387
14	1.933	773	580	387	5.229	2.092	1.569	1.046	1.364

avance por diente	HERRAMIENTA ACERO RÁPIDO				HERRAMIENTA METAL DURO				
	ACERO		DESBASTE		ACERO		ACABADO	TALADRO	
F (mm/min)=	Vc (m/min)= 30				Vc (m/min)= 110				22
0,1	F (mm/min)= fz * n°dientes * S				F (mm/min)= fz * n°dientes * S				
D (mm)	S	4	3	2	S	4	3	2	
80	119	48	36	24	438	175	131	88	88
40	239	95	72	48	875	350	263	175	175
32	298	119	90	60	1.094	438	328	219	219
20	477	191	143	95	1.751	700	525	350	350
18	531	212	159	106	1.945	778	584	389	389
16	597	239	179	119	2.188	875	657	438	438
12	796	318	239	159	2.918	1.167	875	584	584
10	955	382	286	191	3.501	1.401	1.050	700	700
8	1.194	477	358	239	4.377	1.751	1.313	875	875
10	955	382	286	191	3.501	1.401	1.050	700	700
6	1.592	637	477	318	5.836	2.334	1.751	1.167	1.167
14	682	273	205	136	2.501	1.000	750	500	500

avance por diente	HERRAMIENTA ACERO RÁPIDO				HERRAMIENTA METAL DURO				
	BRONCE		DESBASTE		BRONCE		ACABADO	TALADRO	
fz=	Vc (m/min)= 40				Vc (m/min)= 140				38
0,1	F (mm/min)= fz * n°dientes * S				F (mm/min)= fz * n°dientes * S				
D (mm)	S	4	3	2	S	4	3	2	
80	159	64	48	32	557	223	167	111	151
40	318	127	95	64	1.114	446	334	223	302
32	398	159	119	80	1.393	557	418	279	378
20	637	255	191	127	2.228	891	668	446	605
18	707	283	212	141	2.476	990	743	495	672
16	796	318	239	159	2.785	1.114	836	557	756
12	1.061	424	318	212	3.714	1.485	1.114	743	1.008
10	1.273	509	382	255	4.456	1.783	1.337	891	1.210
8	1.592	637	477	318	5.570	2.228	1.671	1.114	1.512
10	1.273	509	382	255	4.456	1.783	1.337	891	1.210
6	2.122	849	637	424	7.427	2.971	2.228	1.485	2.016
14	909	364	273	182	3.183	2.546	955	1.273	864

Para ver cómo interpretar las tablas se tomará como ejemplo los plásticos mecanizados con herramientas de acero rápido. La velocidad de corte (Vc) en este caso es de 85 m/min, pero esta es una cifra estándar para este material y esa herramienta en concreto. Realmente, tal y como se indica en la ecuación (14), estas velocidades dependen de los diámetros de las herramientas (D) en mm y de la velocidad del cabezal de las mismas, definido como S y medido en rpm.

$$V_c = \frac{\pi D S}{1000} \quad (14)$$

De esta forma, despejando S, se obtendría la velocidad del cabezal de una herramienta con un diámetro D y con la velocidad de corte estándar de 84 mm/min. Por otro lado, se tiene el parámetro F (mm/min), que corresponde a la velocidad de avance de la mesa del torno a lo largo de la dirección X (de izquierda a derecha) y la dirección Z (de arriba abajo). Dicha variable depende principalmente del número de dientes que tenga una herramienta (ya sean 4, 3 o 2) pero también de la propia velocidad del cabezal (S) en rpm, y

del avance que efectúa la mesa por diente, medido en mm y formulado como f_z . Por lo tanto, la relación entre todas ellas se establece como (15):

$$F = f_z N^{\circ}_{dientes} S \quad (15)$$

Una vez que se aplica esta expresión se puede apreciar que cuantos más dientes tengan las herramientas menos velocidad de avance le les puede permitir, Esto se puede hacer de igual manera con todas las situaciones indicadas en la tabla 5.2, por ejemplo, se pueden visualizar estos valores con aluminios mecanizados con herramientas de acero rápido o de metal duro. Como anotación extra, el metal duro tiene el inconveniente de ser mucho más costoso que los aceros rápidos, por lo que se ha priorizado la utilización de las herramientas de este tipo.

5.5.9 Mecanizado del Tubo de Venturi

Para el mecanizado del Venturi, se ha cortado el bloque de metacrilato en bruto de 48x95x210 y se ha utilizado para el mecanizado del interior de este una fresa plana de 18 mm con tres labios de tipo HSS (acero rápido) aunque también ha hecho falta un avellanador para los chaflanes a 45° practicados en las aristas del prisma. Para los conos convergente (Figura 5.49) y divergente (Figura 5.50) se usan códigos programados y simulados también en el software WinUnisoft, en el que se usa de igual manera el lenguaje de programación ISO. Los códigos que se introducen posteriormente en el CNC se muestran a continuación.

Cono convergente de 11°

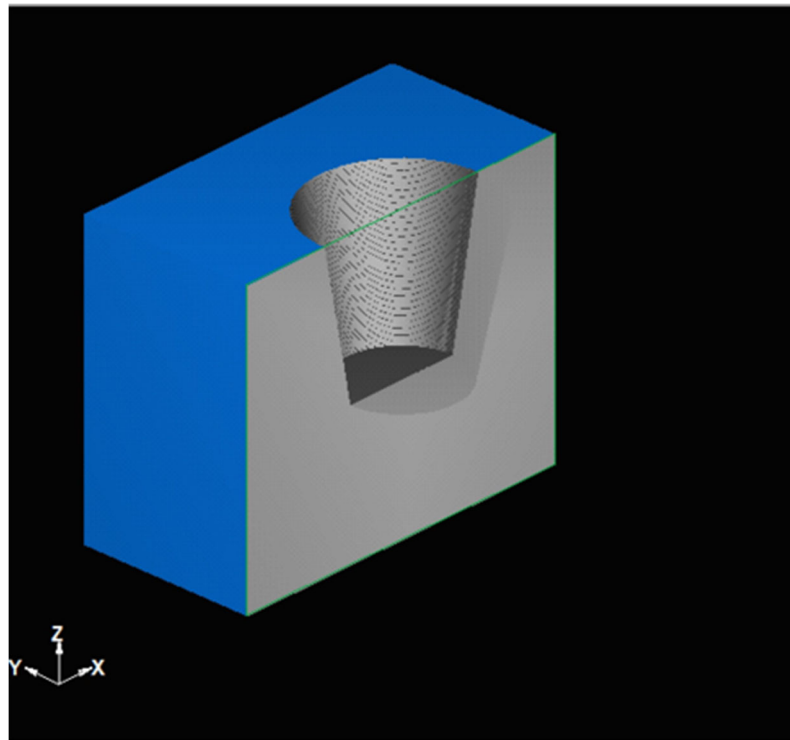


Figura 5.49 cono convergente de 11° en WinUnisoft

```
%Test1,MX,
G17
(P1= 16);RADIO SEMIBASE MAYOR CONO
(P2= 31.45);GENERATRIZ TOTAL
(P2= 0);GENERATRIZ VALOR INICIO
(P3= 30.87);ALTURA CONO
(P4= 79);ANGULO CONO ENTRE BASE Y GENERATRIZ
(P5= 0.25);INCREMENTO GENERATRIZ
(P6= 9);RADIO HTA
;
T16 D16
M6
G43 G0 Z100
X0 Y0 S3500 M3
N1 (P7=P2 * COS P4,P8=P2 * SIN P4)
(P7=P1-P7-P6,P8);P7=COORD X-RADIO, P8=COORD Z
G1 XP7 Y0 Z- P8 F2500
G93 I0 J0
N2 G3 Q360 F2500
(P2=P2+P5)
(IF P2 LT P22 GOTO N1)
(P2=P22);SE PONE ESTE BLOQUE PARA QUE HAGA LA ULTIMA PASADA
(RPT N1,N2)
G0 Z100
M30
```

Cono convergente de 7°

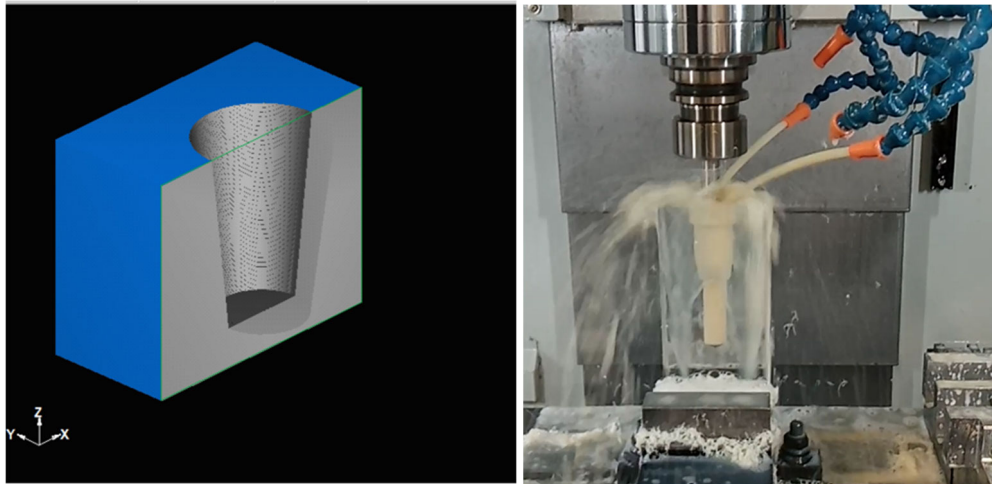


Figura 5.50 Venturi divergente de 7° en WinUnisoft (izda) y durante su mecanizado (dcha)

```
%Test1,MX,  
G17  
(P1= 16);RADIO SEMIBASE MAYOR CONO  
(P2= 49.23);GENERATRIZ TOTAL  
(P2= 0);GENERATRIZ VALOR INICIO  
(P3= 48.87);ALTURA CONO  
(P4= 83);ANGULO CONO ENTRE BASE Y GENERATRIZ  
(P5= 0.25);INCREMENTO GENERATRIZ  
(P6= 9);RADIO HTA  
;  
T16 D16  
M6  
G43 G0 Z100  
X0 Y0 S3500 M3  
N1 (P7=P2 * COS P4,P8=P2 * SIN P4)  
(P7=P1-P7-P6,P8);P7=COORD X-RADIO, P8=COORD Z  
G1 XP7 Y0 Z- P8 F2500  
G93 I0 J0  
N2 G3 Q360 F2500  
(P2=P2+P5)  
(IF P2 LT P22 GOTO N1)  
(P2=P22);SE PONE ESTE BLOQUE PARA QUE HAGA LA ULTIMA PASADA  
(RPT N1,N2)  
G0 Z100  
M30
```

Estos conos han sido mecanizados a través de incrementos de 0.25 mm en el desbaste de su generatriz, es decir, la herramienta realiza el cono progresivamente de arriba abajo mediante sucesivos arranques de material que van decreciendo su diámetro. La fresa irá

descendiendo verticalmente 0.25 mm cada vez que completa un desbaste realizando así los otros hasta llegar a la longitud programada que se pretende que tenga el cono. Se repite este proceso tanto para el estrechamiento como la expansión del Venturi. Para la garganta se ha usado la misma fresa de 18 mm antes mencionada, pero siendo este proceso para un conducto cilíndrico, por lo que el diámetro es constantemente de 20 mm. Siguiendo el mismo procedimiento que en la garganta, se realizan los tubos de entrada y salida del Venturi, pero esta vez de 32 mm y a continuación de ellos, para encajar los tubos aguas arriba y aguas abajo se realizan cajeados circulares de 40 mm, formando rebajes de 4 mm entre este y los tubos de entrada o salida del Venturi.

Las tres tomas de presión de este elemento son de rosca G 1/8 y profundidad 15 mm realizadas con el mismo procedimiento que para los del diafragma (fresado-taladrado de 8.70 mm de diámetro con una fresa de 6 y roscado con una broca que se aproxime a los 9.70 mm). La equivalencia en mm de las roscas Whitworth que se han usado a lo largo de todo el proceso de fabricación se indican en la Figura 5.51. Para esta tarea se ha preferido el uso del ciclo fijo de fresa-taladro. Por último, con una broca de se han taladrado los correspondientes orificios pasantes y concéntricos de 3 mm que será los responsables de que el agua que circula por el circuito fluya a través de cada una de las tomas. Tanto el ciclo de roscado como de cajeado usados para el Venturi y el diafragma están programados en el CNC y se encuentran en la Figura 5.52.

TABLA PARA LA ROSCA WHITWORTH PARA			
Medida nominal y paso normal			Diámetro broca agujero***
Denominación n	Hilos*	Diámetro**	
G 1/8	28	9.728	8,8
G 1/4	19	13.157	11,8
G 3/8	19	16.662	15,25
G 1/2	14	20.955	19
G 5/8	14	22.811	21
G 3/4	14	26.441	24,5
G 7/8	14	30.201	28,25
G 1	11	33.249	30,75
G 1.1/8	11	37.897	35,5
G 1.1/4	11	41,91	39,5
G 1.3/8	11	44.323	42
G 1.1/2	11	47.803	45,25
G 1.3/4	11	53.746	51,25
G 2	11	59.614	57
G 2.1/4	11	65,71	63
G 2.1/2	11	75.184	72,5
G 2.3/4	11	81.534	79
G 3	11	87.884	85,5
G 4	11	113,03	110,5

* hilos por pulgada. Una pulgada = 25,4 mm
 ** equivalencia en milímetros de la medida nominal
 *** en milímetros

Figura 5.51 Esta tabla refleja la equivalencia en mm de las roscas Whitworth, tanto de los diámetros de las brocas para los orificios como para las propias roscas. Este patrón se ha tenido en cuenta para el mecanizado de roscas en todo el proceso de fabricación.



Figura 5.52 Ciclos fijos de roscado y de cajeado programados previamente en la interfaz de la propia máquina.

5.5.10 Mecanizado del medidor Placa-Orificio y las Bridas de unión

Ya definido el patrón de trabajo que se va a seguir, se comienza esta fase por el mecanizado del diafragma y la Placa-Orificio. Para las bridas se ha partido de un bloque de metacrilato de 48x95 de la que se cortan con una sierra de cinta (Figura 5.53) dos bloques de longitud 100 mm. Siempre es preferible cortar los bloques con una longitud un poco mayor de la necesaria (de 5 a 10 mm más) ya que la máquina de CNC siempre suele cometer un cierto porcentaje de error a la hora de mecanizar con según qué herramientas.

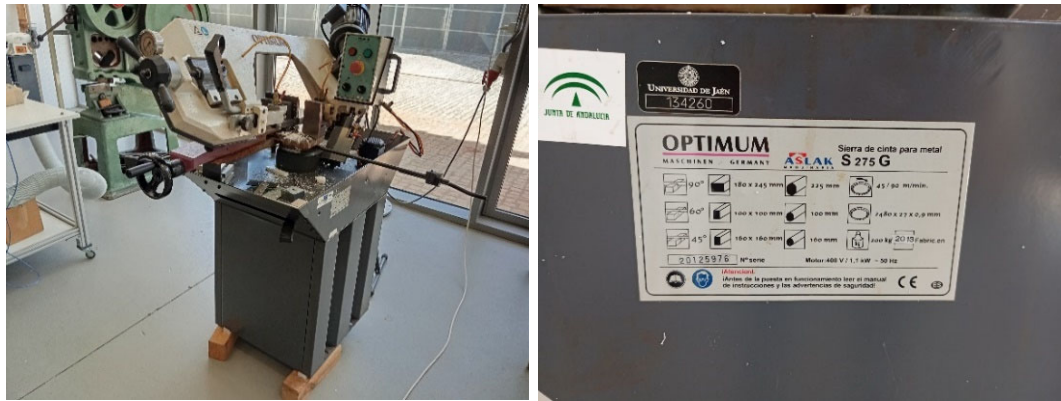


Figura 5.53 Sierra de cinta para metal en el taller de máquinas y herramientas de la EPSL.

Durante el proceso se ha tenido que cambiar la forma geométrica del cilindro menor de las bridas del diafragma para facilitar la sujeción de estas a las mordazas de la máquina a la hora de mecanizar el cilindro exterior de diámetro 95 mm, así se puede realizar el mecanizado en la misma mordaza (los dos cilindros se han mecanizado en la mordaza plana) con su consecuente ahorro de tiempo. Esto supone que dicha parte pasará de ser una sección totalmente cilíndrica de diámetro 68 mm a ser una sección cuadrada de 60x60 con las esquinas redondeadas en la que va inscrito el hueco cilíndrico donde va encajado el tubo de metacrilato de 40x32.

Además de eso, se le han realizado dos taladros extra, que no son pasantes como aquellos en los que van los tornillos de las bridas, si no que las atraviesa parcialmente para introducir unas varillas de sujeción que impedirán la holgura entre las piezas que componen el diafragma, se les suele llamar orificios guía. Sin embargo, ha habido un error en el proceso de fabricación de una de las bridas, siendo este el hecho de que la herramienta, al atacar el bloque para mecanizarlo, ha alterado su posición unos milímetros, inclinándolo así unos grados. Por mínima que sea, la alteración de la posición de referencia en la mordaza de la máquina CNC, puede hacer que la pieza salga defectuosa y no pueda cumplir su función como es preciso. Por este motivo no ha habido más alternativa que fabricar una nueva brida, por lo tanto, ha habido un gasto inesperado de material.

Para su mecanizado se han usado diferentes herramientas. El exterior e incluso el interior de las bridas han sido realizados mediante arranque de viruta con ciclos fijos de fresado y cajeado incorporados dentro de los programas de la propia máquina de control numérico. Para la ranura de la junta tórica en ambas bridas (Figura 5.54), se ha usado una fresa plana de 3 mm de tres labios de acero rápido, todos los procesos en estas piezas han

sido efectuados con esa misma herramienta, a excepción de los agujeros para los que se ha usado una broca de 6 mm. Este mecanizado de la ranura para la junta tórica ha sido programado con Autodesk Fusion360.

Código de programación para el mecanizado de ranura en bridas para juntas tórica

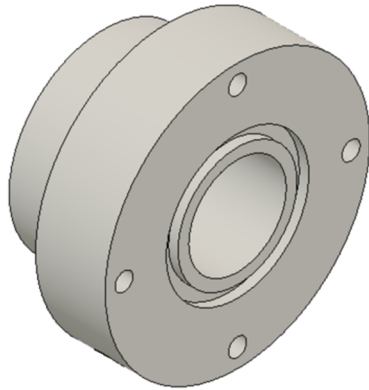


Figura 5.54 Ranura para la junta tórica en Fusion360 (izda) y durante su mecanizado (dcha)

```
%DIAFRAGMA_RANURA,MX--,
; T14 D=3 CR=0 - ZMIN=-3.4 - FRESA CON PUNTA PLANA
N10 G90 G94 G17
N15 G71
N20 G53 G0 Z0
; 2D CAJERAS2
N25 T14
N30 M6
N35 S5000 M3
N40 G17 G90 G94
N50 M8
N55 G0 X13.379 Y-18.585
N60 G43 Z15
N65 G0 Z5
N70 G1 Z1 F1000
N75 G2 X-13.379 Y18.585 I-13.379 J18.585 Z0.5
N80 X13.379 Y-18.585 I13.379 J-18.585 Z0
N85 X-13.379 Y18.585 I-13.379 J18.585 Z-0.5
N90 X22.9 Y-0.1 I13.379 J-18.585 Z-0.85
N95 X-22.9 Y0.1 I-22.9 J0.1
N100 X22.9 Y-0.1 I22.9 J-0.1
N105 G3 X23.125 Y-0.299 I0.2 J-0.001
N110 G1 X23.925 Y-0.198
N115 G3 X24.1 Y0 I-0.025 J0.198
N120 X-24.1 I-24.1 J0
N125 X24.1 I24.1 J0
N130 X23.8 Y0.3 I-0.3 J0
N135 G0 Z5
```

N140 X19.556 Y-14.085
 N145 G1 Z0.15 F1000
 N150 G3 X-19.556 Y14.085 I-19.556 J14.085 Z-0.35
 N155 X19.556 Y-14.085 I19.556 J-14.085 Z-0.85
 N160 X-19.556 Y14.085 I-19.556 J14.085 Z-1.35
 N165 X0.1 Y-24.1 I19.556 J-14.085 Z-1.7
 N170 X-0.1 Y24.1 I-0.1 J24.1
 N175 X0.1 Y-24.1 I0.1 J-24.1
 N180 X0.298 Y-23.875 I-0.001 J0.2
 N185 G1 X0.198 Y-23.075
 N190 G3 X0 Y-22.9 I-0.198 J-0.025
 N195 G2 Y22.9 I0 J22.9
 N200 Y-22.9 I0 J-22.9
 N205 Y22.9 I0 J22.9 Z-2.2
 N210 X18.526 Y-13.46 I0 J-22.9 Z-2.55
 N215 X-18.526 Y13.46 I-18.526 J13.46
 N220 X18.526 Y-13.46 I18.526 J-13.46
 N225 G3 X18.593 Y-13.879 I0.243 J-0.176
 N230 G1 Z-0.7
 N235 X19.556 Y-14.085
 N240 G3 X-19.556 Y14.085 I-19.556 J14.085 Z-1.2
 N245 X19.556 Y-14.085 I19.556 J-14.085 Z-1.7
 N250 X-19.556 Y14.085 I-19.556 J14.085 Z-2.2
 N255 X0.1 Y-24.1 I19.556 J-14.085 Z-2.55
 N260 X-0.1 Y24.1 I-0.1 J24.1
 N265 X0.1 Y-24.1 I0.1 J-24.1
 N270 X0.399 Y-23.799 I-0.001 J0.3
 N275 G0 Z5
 N280 X19.556 Y-14.085
 N285 G1 Z-0.475 F1000
 N290 Z-1.55
 N295 G3 X-19.556 Y14.085 I-19.556 J14.085 Z-2.05
 N300 X19.556 Y-14.085 I19.556 J-14.085 Z-2.55
 N305 X-19.556 Y14.085 I-19.556 J14.085 Z-3.05
 N310 X0.1 Y-24.1 I19.556 J-14.085 Z-3.4
 N315 X-0.1 Y24.1 I-0.1 J24.1
 N320 X0.1 Y-24.1 I0.1 J-24.1
 N325 X0.298 Y-23.875 I-0.001 J0.2
 N330 G1 X0.198 Y-23.075
 N335 G3 X0 Y-22.9 I-0.198 J-0.025
 N340 G2 Y22.9 I0 J22.9
 N345 Y-22.9 I0 J-22.9
 N350 G3 X-0.3 Y-23.2 I0 J-0.3
 ;N355 G0 Z15
 ;N360 M5
 ;N365 M9
 ;N370 G53 G0 Z0
 ;N375 G53 G0 X0 Y0
 N380 M30

Seguidamente, con una máquina de corte por láser como la que se muestra en la Figura 5.55, se ha fabricado la Placa-Orificio (Figura 5.56) a partir de una lámina de metacrilato azul oscuro de 2.6 mm de espesor. Este láser solamente sirve para cortes de láminas finas de algunos polímeros o de maderas finas. La placa ha sido de diámetro 95 mm, con sus correspondientes taladros para acoplarlo entre las dos bridas, y un chaflán de 45° en el orificio realizado posteriormente con un avellanador o fresa multifuncional, cuyo código ha sido programado en WinUnisoft.



Figura 5.55 Máquina de corte por láser de CO2 en el taller de máquinas y herramientas de la EPSL

Programa de mecanizado de chaflán en la placa-orificio

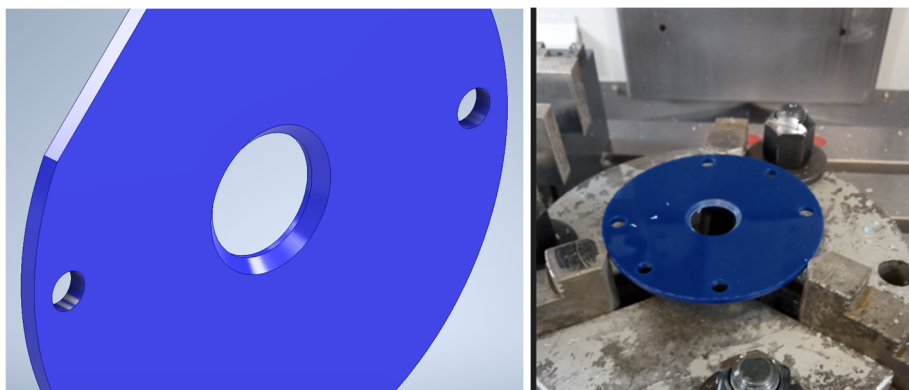


Figura 5.56 Bisel a 45° de la placa orificio.

;LOS PARAMETROS LOCALES DEL CNC NO ADMITEN P30-P40.....

;CIRCUNFERENCIA CENTRO EN X0Y0 MECANIZADA SOBRE LINEA
CERO

G17
(P3= 3000) ;VELOCIDAD DE AVANCE F
(P4= 3500) ;VELOCIDAD DE GIRO S
(P5= 10); COORDENADA DEL RADIO EN X
(P6= 0); COORDENADA Y
(P7= 0); COORDENADA CENTRO POLAR I
(P8= 0); COORDENADA CENTRO POLAR J
(P9=0) ;COORD Z DONDE TOCA PIEZA
T23 D23 M6
G90 G94 G97 FP3 SP4 M3
M8
G0 G43 Z50
X P5 Y P6
Z5
G1 Z P9
N1 G91 G1 Z-0.8
G90 G1 X P5 Y P6
G93 I P7 J P8 ; CENTRO CIRCUNF
G3 Q360
N2 G0 G40 X P5 Y P6
;(RPT N1,N2)N1
N5 G0 Z25 M9
G53 Z
G53 X Y
;G92 X0 Y0
M30

En cuanto a las tomas de presión, son dos orificios (uno en cada brida) de rosca G 1/8 y de profundidad 13 mm, realizados con un ciclo fijo fresado-taladrado de 8.70 mm de diámetro y una fresa de 6 mm para posteriormente hacer el roscado con una broca que se aproxime a los 9.70 mm, todo esto basándose en las equivalencias de mm y rosca Whitworth. Los orificios de las tomas se rematan con un taladro pasante concéntrico de 3 mm.

Una vez fabricados el Venturi y el diafragma hay que añadirles las demás partes, eso incluye el acoplamiento de las tuberías de cada uno de ellos. En esta tarea, en lugar de instalar los tubos directamente, se ha optado por hacer que el diafragma y el Venturi puedan ser desmontables, esto se ha conseguido incorporando en los extremos de las tuberías uniones roscadas de PVC para tubos de diámetro exterior 40 mm tal y como se muestra en la Figura 5.57. Los tubos se cortan con la sierra de cinta para metal y será un tubo de metacrilato 40x32x110 y dos de 40x32x48 mm para el subconjunto del diafragma, y otros dos de 66 mm de longitud para los extremos del Venturi. Importante eliminar las rebabas con una lima una

vez cortadas las tuberías. Se ha usado el pegamento especial para metacrilato, también mencionado en la Figura 5.57, cuya particularidad es la de ser muy líquido, por lo que puede cubrir fácilmente la superficie que se va a pegar, incluso penetrando en pequeñas oquedades que puedan resultar debido a la holgura entre los tubos y los codos o los enlaces roscados, lo que ayudará a evitar fugas.



Figura 5.57 Resultados del Venturi tras su fabricación, a los cuales se les ha incluido dos empalmes en los extremos para su despiece y mantenimiento (izda). Pegamento especial para metacrilato utilizado en el proceso (dcha).

5.5.11 Mecanizado de la toma de presión aguas abajo de la Placa-Orificio

Al montaje del conjunto del diafragma hay que incorporar el manguito para su tercera toma de presión. Para el mecanizado de este componente, se ha partido del prisma de metacrilato de 60x48x52 y se ha llevado a cabo en varios procesos, en el primero se mecanizan las caras exteriores con una fresa de 40 mm para asegurar el paralelismo de todas ellas. En el segundo proceso de mecanizado, con una fresa plana de acero rápido de 18 mm y tres labios y a través de las caras de 60x48, se realizan ciclos de cajeado circular, dos de diámetro 40 mm y de profundidad 20 mm, en ambas caras opuestas, donde se encajan los tubos, operando primero en un lado y después en el otro (se cambia la posición de la pieza en la mordaza). En la mitad de la pieza queda un tabique correspondiente a los 12 mm restantes, donde se practica otro ciclo de cajeado circular concéntrico, siendo ahora de diámetro 32 mm y pasante. En esa parte se taladrará la toma de presión desde el exterior de una de las caras de 48x52. En este orificio se practicará otra rosca de G 1/8, que se realizará con la fresa de 6 mm y el ciclo fresa-taladro ya mencionado para el Venturi y las bridas, así como su respectivo taladro pasante concéntrico de diámetro 3 mm. Para los chaflanes de 45° que presentan las aristas del manguito, se hace uso de la fresa multifuncional a 90°. El resultado del elemento descrito se encuentra en la Figura 5.58.



Figura 5.58 Manguito de la tercera toma de presión para la pérdida de carga en la Placa-Orificio

5.5.12 Mecanizado de los colectores superior e inferior

El mecanizado de los colectores superior e inferior se efectuará a partir de dos barras de metacrilato transparente de sección cuadrada de 30x30 y 150 mm de largo. Básicamente el trabajo consiste en el taladrado de los seis orificios roscados en cada barra para las conexiones rápidas y las llaves de paso. Para el colector superior se ha utilizado el ciclo fresa-taladro programado para 6 taladros roscados a G $\frac{1}{4}$, esto se traduce en orificios de diámetro 11.75 mm hechos con la fresa de 8 mm, y luego un roscado con macho de medidas G $\frac{1}{4}$ (13.175 mm de diámetro exterior) según la equivalencia Whitworth. A esto se le añade un orificio mecanizado con un ciclo de taladrado profundo en el que se ha usado una broca de 8 mm a una profundidad de 140 mm, este taladro constituirá un canal común que conecta con dichos con los 6 orificios roscados. En el extremo izquierdo de este taladro se instalará una llave de paso de rosca G $\frac{1}{8}$, que actuará como purga del agua, para instalar esta llave se ha practicado en el orificio de 140 mm el correspondiente roscado con una profundidad de 10 mm. Además, se han mecanizado otras dos roscas de métrica 6 con un ciclo de taladrado normal con una broca de 5 mm, para atornillar el colector a la placa del bastidor.

Para el colector inferior el proceso es un poco más simple, ya que los 6 taladros no están comunicados, sino que son pasantes. Tiene la particularidad de que dichos taladros serán roscados, por una cara a G $\frac{1}{4}$ para las conexiones rápidas y por la cara opuesta con rosca G $\frac{1}{8}$ para las llaves de las tomas de presión, por lo que se mecanizarán cambiando la pieza de posición en la mordaza, de manera que se realicen primero los orificios de G $\frac{1}{8}$ por una cara y después los de G $\frac{1}{4}$ en la cara opuesta. Lo más aconsejable para la fabricación de ambos colectores es el ciclo fijo de taladrado de agujeros dispuestos en línea recta (Figura

5.59), como su propio nombre indica, esta operación sirve para mecanizar orificios dispuestos en línea recta de forma equidistante. Para ayudar al montaje de las conexiones y las válvulas de $\frac{1}{4}$ de vuelta se ha procedido también al avellanado de los agujeros con una fresa multifuncional 90°. En la Figura 5.60 se muestran los colectores una vez mecanizados.

El Colector inferior se unirá al panel con dos tornillos de métrica 6, por lo que será necesario el correspondiente mecanizado de taladros y roscas. Esta forma de unión también se utilizará para el Colector superior.

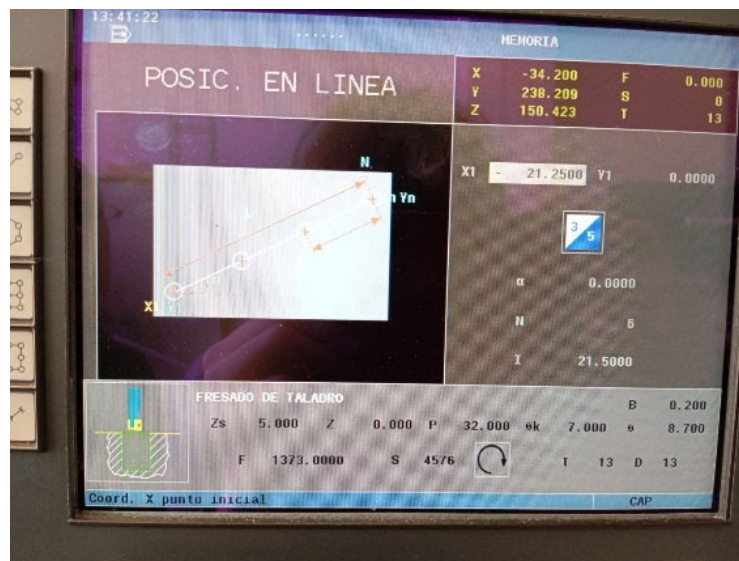


Figura 5.59 Ciclo fijo de fresado-taladrado de orificio dispuestos en línea recta.

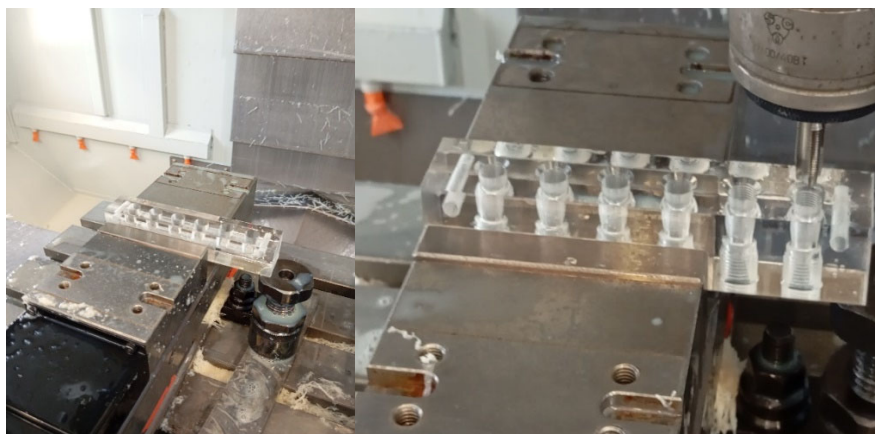


Figura 5.60 Colectores superior (izda) e inferior (dcha) en la máquina de mecanizado mediante control numérico para la operación de taladrado de los orificios y roscas.

5.5.13 Montaje del bastidor y del circuito hidráulico

El siguiente paso es construir el bastidor de aluminio que va a sostener el equipo de medición de caudal con sus tuberías, válvulas, tubos piezométricos, colectores... etc. Ello

supone en primer lugar cortar con la sierra de cinta para metal los distintos perfiles Bosch que constituyen el chasis de aluminio, a la vez que también es importante el uso de una lima para retirar las rebabas de los extremos por donde se han cortado, su uso evitará así accidentes, además de ayudar estéticamente. Como ya se ha mencionado previamente, se necesitarán dos barras de 800mm como pilares de la estructura y tres travesaños de 585 mm, todos ellos de 35x35. Las otras dos barras de 45x45x338 mm son el apoyo donde se atornillan las patas paralelamente mecanizadas, siendo éstas cuatro pequeños cilindros de 30 mm de diámetro y 30 de alto a los que se les ha aplicado dos ciclos de fresado-taladrado con una fresa de 12 mm (que al fin y al cabo esta vez han sido procesos similares al cajeado circular) y un taladrado pasante de 8 mm. El primer ciclo de fresado ha sido de diámetro 21 mm y profundidad 1.5 mm para colocar un trozo de espuma como protección para no dañar la superficie encima de la que se encuentra el equipo, el segundo es un fresado de diámetro 16.5 y de profundidad 12 mm para que la cabeza del tornillo pueda encajar adecuadamente junto con la arandela. Para finalizar, se mecaniza el orificio pasante de diámetro 8 mm donde irá la parte roscada del tornillo. Estos orificios practicados a los tacos de PVC son concéntricos, uno dentro de otro, y se ha usado el fresado-taladrado en lugar del cajeado debido a su correspondiente ahorro de tiempo.

Tal y como se planificó en la etapa de diseño, los perfiles se unirán con escuadras especiales para perfiles de este tipo, en este caso de 43x43x43. Dichas escuadras serán atornilladas a los canales de los perfiles con tornillos de cabeza de martillo de métrica 8x30 y tuercas hexagonales M8. Después se ha utilizado tornillos de métrica 6x10, también de martillo para ensamblar el panel de madera directamente a los canales de los travesaños, Para finalizar, se han incorporado las patas fabricadas en PVC ensamblándolas a los canales de los perfiles 45x45 a través de tornillos Allen de métrica 8x50.

Ya construido el chasis, es importante que todos los travesaños estén alineados, es decir, que estén lo más horizontales posible. Esto se consigue con la ayuda de un instrumento de medición como es el nivel de burbuja o nivelador, que como su propio nombre indica, está formado por un tubo con un líquido y una burbuja en su interior. Para que el travesaño este nivelado, dicha burbuja ha de permanecer en la mitad del largo del tubo.

Concluyendo con el mecanizado de piezas, se han fabricado los suplementos de las abrazaderas, o tacos de nivelación de las mismas. Estos son pequeños prismas cuadrados de 30x30x19 a las que, tal como se ha mencionado anteriormente en diseño, se les ha practicado

en la parte inferior de la cara cuadrada, a través de un ciclo de taladrado normal, un orificio roscado pasante M6 con una broca de 5 mm donde se atornillan las propias abrazaderas. Después, en la parte superior de la misma, se ha realizado un ciclo de ranurado, también pasante, con una fresa plana de 6 mm y 4 labios, de forma que ha quedado una ranura de 22 mm de extremo a extremo, se ha realizado mediante desbastes de 1 mm. Su función es permitir a la abrazadera desplazarse transversalmente con respecto al canal del perfil donde se ensambla esta para así poder ajustarla sin forzar las tuberías.

Sin embargo, se han tenido que ensanchar los agujeros de las abrazaderas con un taladro vertical para que la cabeza de los tornillos M6 que unen las abrazaderas al propio taco cupieran perfectamente, ya que inicialmente eran demasiado pequeños. También se ha tenido que torneear la llave de tubo 10 -11 para así poder meterla también dentro del agujero donde va alojada la cabeza del tornillo y apretarlos desde fuera, es decir, rebajar el diámetro exterior de la herramienta. Para clarificar lo anteriormente descrito, en la Figura 5.61 se visualiza su ensamblaje.



Figura 5.61 Tacos de nivelación de las abrazaderas.

5.5.14 Instalación de las reglas de medición para las presiones

Para las mediciones de las diferencias de altura en los tubos piezométricos, serán necesarias unas reglas milimetradas que irán adheridas a la tabla de madera, justo detrás de los tubos. Estarán diseñadas para medir columnas de agua hasta 500 mm. En principio se iban a imprimir en papel teniendo así las marcas de color rojo sobre un fondo blanco, y pegadas con cinta adhesiva. A pesar de resaltar muy bien en el negro de la tabla de contrachapado, estas reglas podrían mojarse y desprenderse, por esa razón se ha optado por hacer de nuevo uso de la máquina de corte laser con CO2 de la Figura 5.55 y grabar las

marcas y los números en polipropileno. Este material, aunque en realidad es transparente, contaba con un recubrimiento de color blanco que lo protegía de ralladuras y suciedad. Se optó por no despegar este protector, ya que el láser, durante el proceso de grabado, quema la superficie del plástico dejando marcas de color amarillo sobre el fondo blanco. Evidentemente no era conveniente quitar el protector.

La tarea consiste, principalmente en el grabado de la regla milimetrada sobre la lámina de plástico y luego el corte de ese fragmento grabado con las dimensiones adecuadas, algo para lo que es preciso ajustar manualmente el punto en el que empezar a cortar dado que esta máquina no dispone de referencias. Para el grabado es recomendable un 6% de potencia a 30 mm/s, y para el corte un 9% y 13 mm/s ya que esta última operación ha de hacerse más lentamente y con cautela para no producir una ignición no deseada en la pieza y se queme en exceso, haciéndola quebradiza. En la Figura 5.62 se muestran las reglas milimetradas en contraste con el fondo negro de la lámina de contrachapado. Para completar el sistema de medición, se han cortado los seis tubos piezométricos de metacrilato con la sierra de cinta teniendo en cuenta que cada uno debe de medir 0.5 m, lo cual no ha supuesto problema dado que el proveedor Servei-Stacio vendía tubos de diámetro exterior 10 mm de 1 m de longitud, por lo que se han necesitado en total 3 m de tubo. Esto se refleja en la Figura 5.62 junto con las reglas antes mencionadas.



Figura 5.62 Reglas milimetradas de polietileno grabadas con láser de CO₂. Justo detrás de los tubos piezométricos

Las partes que componen el nuevo equipo han sido fabricadas y de aquí se pasa al proceso de ensamblaje y pegado de tubos. Para empezar, se fueron enroscando en los colectores las conexiones rápidas de G1/4 y las llaves de paso que van desde las tomas de presión del Venturi y el diafragma. El resultado ha sido que estas últimas chocaban entre sí a la hora de enroscarlas y desenroscarlas, lo cual puede suponer un problema en un posible mantenimiento del sistema ya que habría que desmontar primero las propias válvulas. La solución ha sido invertir la colocación, ya que tanto las conexiones de las tomas como las llaves de paso son de rosca G1/8, es decir, se montaron las conexiones rápidas en el colector y las llaves de paso en las tomas de presión del Venturi. En la Figura 5.63 se visualiza cómo se hizo en primera instancia y cómo se ha resuelto dicho problema finalmente.

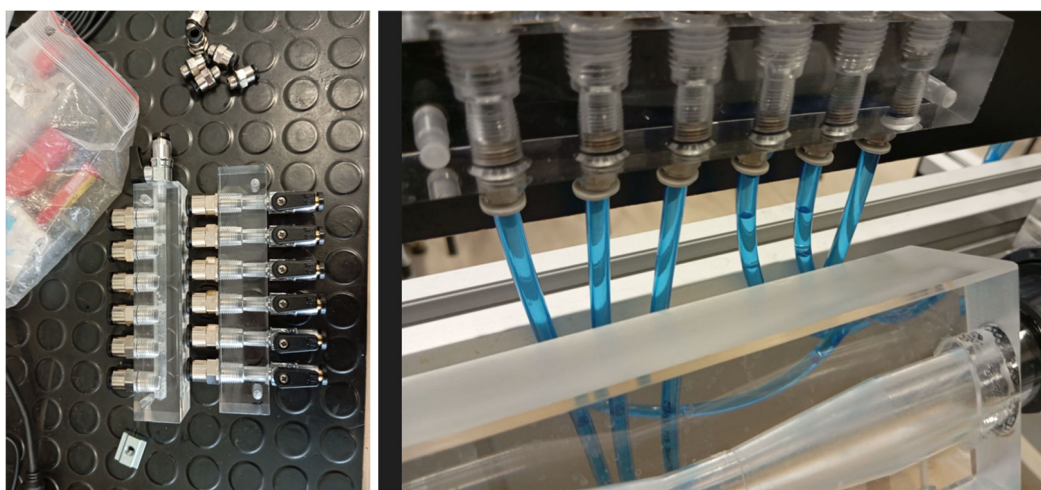


Figura 5.63 Primera disposición de las conexiones y válvulas en el colector (izda) y disposición final para solventar problemas de espacio (dcha).

Solucionado el montaje de los colectores, se continúa con los tubos verticales de subida y de desagüe, que se han hecho finalmente de PVC siendo también desmontables, al igual que el Venturi y el diafragma. Esto se ha conseguido mediante el empleo de los mismos enlaces roscados utilizados para el Venturi y el diafragma en ambos extremos de la tubería de 350 mm, encajados a su vez en los codos de gran radio a través de un par de tubos de PVC de 40x35 de una longitud de 57 mm, que corresponde a la profundidad del empalme de los codos más la profundidad de la hembra del enlace roscado.

Con respecto a la tubería vertical de desagüe, además de ser igualmente desmontable, se ha optado por instalar una válvula de bola roscada en lugar de una de membrana debido a su menor coste y a su sencillez de montaje y desmontaje. Las roscas a través de las que se acopla dicha válvula son G1", por eso se ha puesto primero una tubería de PVC de 40x35 de

longitud 48 mm, a la que ha acoplado un enlace roscado para tubos de 40 mm al que le sigue la válvula de bola a la que se enroscan dos empalmes macho, también de rosca G1”, y por último se le introduce una espiga donde se introduce la manguera de desagüe. Para el pegado de las partes tanto de la tubería de subida como la de desagüe (Figura 5.65), se ha usado adhesivo especial para PVC.

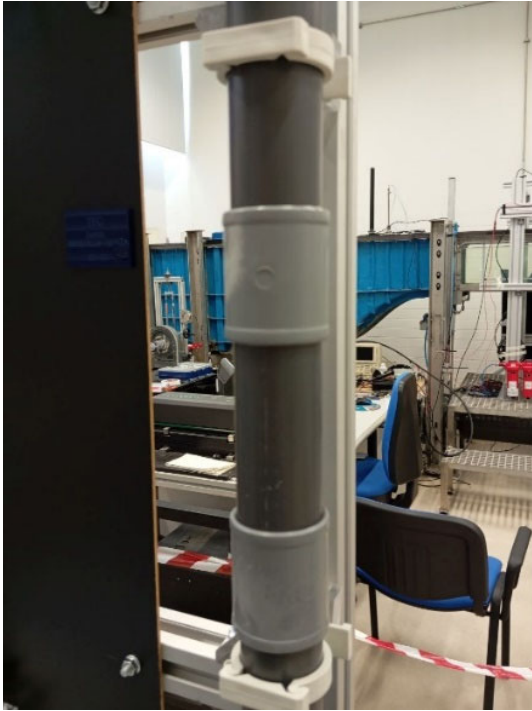


Figura 5.64 Tubería de subida al diafragma

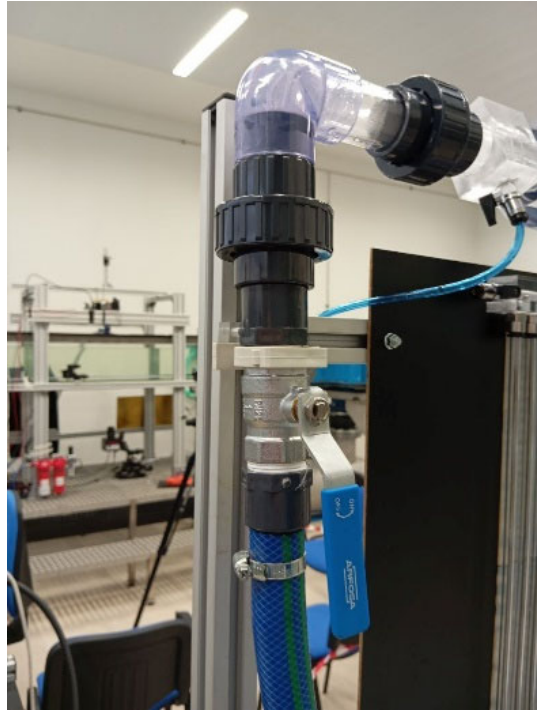


Figura 5.65 Tubería de desagüe.

También se ha diseñado y montado la tubería de entrada al equipo (Figura 5.66), que se encuentra aguas arriba del Venturi. Está formada por la hembra del enlace roscado, un tubo de PVC cuya longitud no es de tanta importancia dado que deja mucho más margen de maniobra debido a que es un conducto que viene del mismo exterior (en este caso es de una longitud 260 mm aproximadamente); y un empalme acoplado a la tubería de 40 por un lado; por el otro tiene un macho roscado G1” para poner posteriormente otra manguera que conduce el agua impulsada por la bomba.

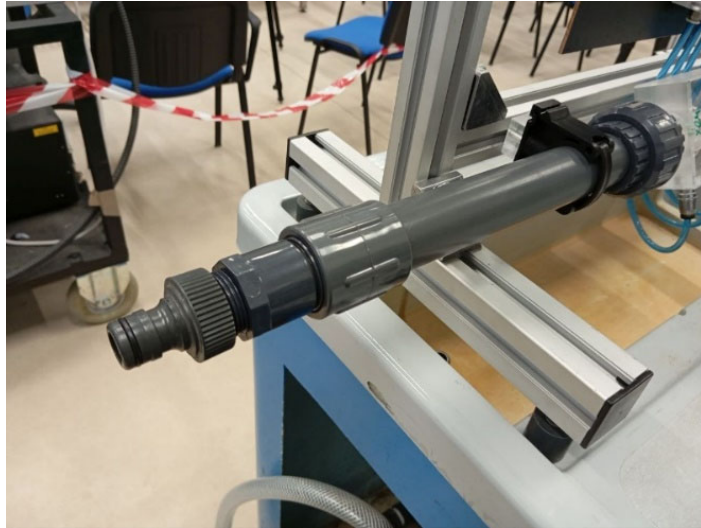


Figura 5.66 Tubería de entrada al equipo, en cuyo extremo se acopla a manguera que sale del rotámetro.

Se procede ahora a medir el bastidor de aluminio de lado a lado, más concretamente la distancia que hay desde la mitad de un perfil en un lado a la mitad del de otro, de esta manera se verifica si la longitud de los pequeños tubos que unen todos y cada uno de los componentes son correctas. Si es así, se procede ahora al montaje del equipo propiamente dicho (Figura 5.67), esto es, se ensamblarán todos sus elementos junto con los tubos flexibles de poliuretano de 6 mm de la Figura 5.68, que van desde las tomas de presión del Venturi y el diafragma hasta el colector inferior. En la Figura 5.69 se muestra el ensamblaje de todo el equipo.

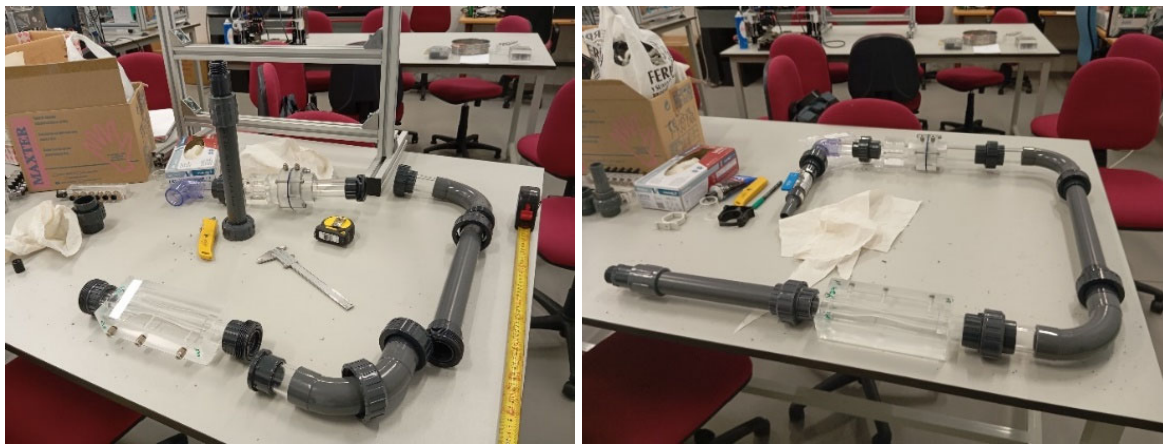


Figura 5.67 Proceso de pegado y montaje de los tubos.

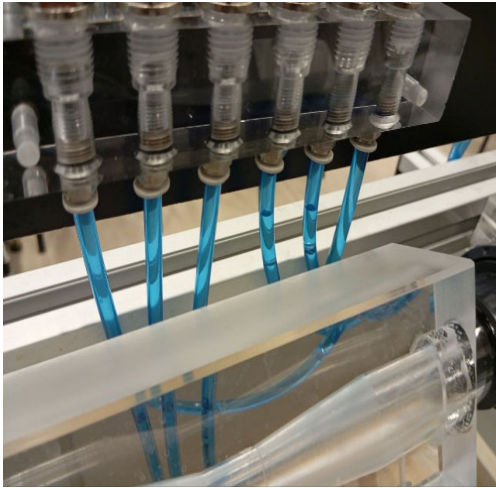


Figura 5.68 Tubos flexibles de poliuretano

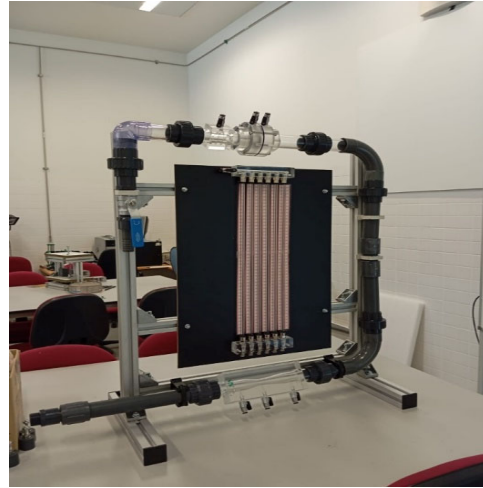


Figura 5.69 Montaje completo del nuevo equipo.

5.6 Pruebas de estanqueidad.

Es hora de realizar las pruebas pertinentes para verificar si existen fugas o cualquier incidencia. La primera prueba consistirá en un ensayo de estanqueidad de todos y cada uno de los componentes del nuevo equipo. El circuito hidráulico se muestra en la Figura 5.70.

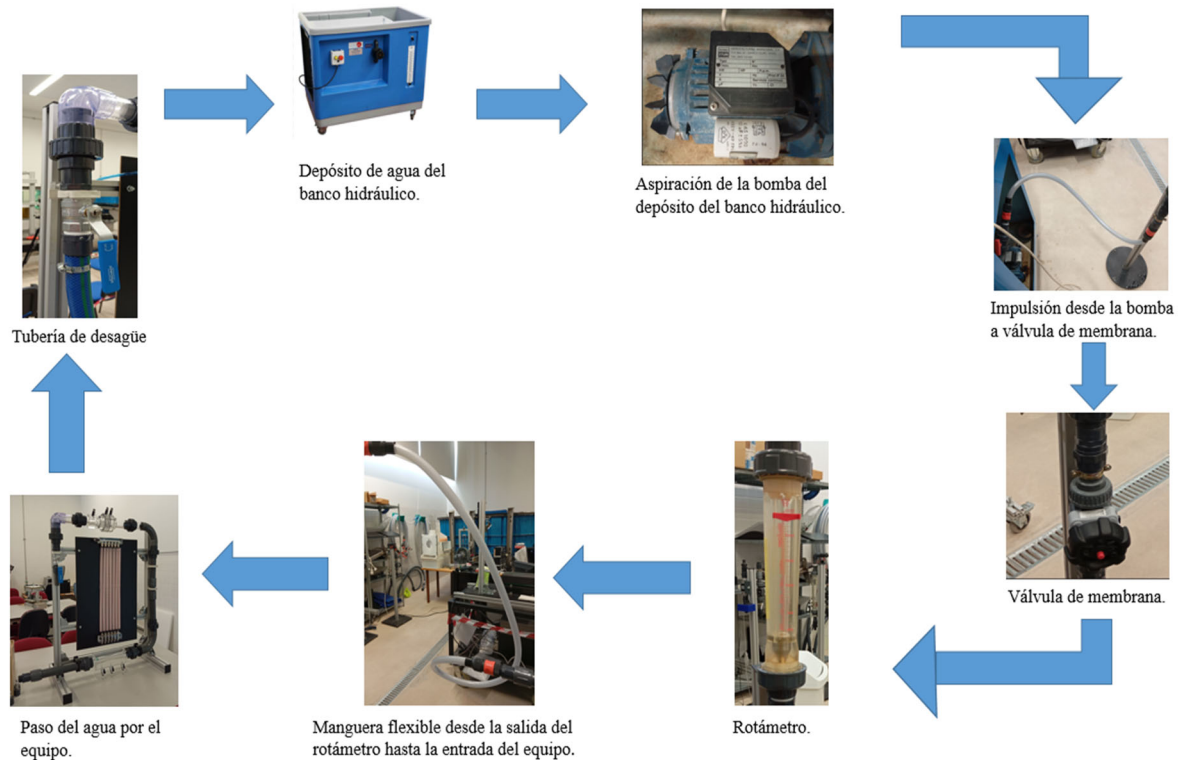


Figura 5.70 Ciclo de funcionamiento del nuevo equipo de medición de caudal.

Una vez conectado el circuito y puesta en marcha la bomba, se ha tomado en consideración que el flujo de agua por el Venturi y la Placa con Orificio no contiene burbujas que sugieran que ha entrado aire en el circuito, aunque se ha visto que existe una fuga en los manguitos de la tubería de subida. Durante la prueba inicial, las fugas de agua más significativas se observaron al abrir las llaves de paso hacia los tubos piezométricos. Dichas fugas estaban localizadas en las conexiones rápidas que unen estos tubos al colector, ya que no parecen ser lo suficientemente estancos a pesar de que los tubos estén aparentemente introducidos hasta su tope.

El problema radicaba en que el espesor de las paredes de los tubos no era el adecuado para insertarlos en las conexiones rápidas, ya que era demasiado grueso y rígido, lo que impedía al tubo introducirse completamente y ajustarse a las juntas de los racores. Se probaron diferentes métodos para poder solventar este contratiempo, por ejemplo, apretar más los piezométricos, poner teflón a las conexiones rápidas con los propios tubos (en un

principio se pensó que con la junta tórica que llevan incorporadas sería suficiente); esta solución se probó y no dio resultado. Entre las posibles soluciones que se estudiaron había tres alternativas:

1. Sustituir los tubos piezométricos de metacrilato (conectados entre los dos colectores) por tubos de poliuretano transparente de 10 mm, ya que al ser éste un material más flexible permitiría un mejor ajuste entre el tubo y el racor.
2. Hacer casquillos de metacrilato, para unir por un extremo del casquillo con un adhesivo los tubos piezométricos, y por el otro extremo del casquillo las conexiones rápidas en las que se insertaría un trozo de tubo de poliamida que, a su vez, se uniría al colector.
3. La tercera, pero más radical, sería sellar con algún adhesivo directamente los tubos a las conexiones rápidas. Esa última tendría el inconveniente de que, si no funciona como se espera, habría que desechar el tubo piezométrico junto con las dos conexiones rápidas de sus extremos.

Después de examinar las distintas opciones, finalmente se resolvió el problema de las fugas de los colectores optando por una cuarta vía, consistente en mecanizar un chaflán con un torno en los extremos de los tubos piezométricos. El mecanizado se planteó de dos maneras, la primera fue rebajar el grosor de los externos del tubo con una broca de 8 mm de manera que su diámetro interior aumentaría, método que no ha sido posible debido a que los tubos se agrietaban o rompían por la alta temperatura que provocaba el rozamiento de la broca; o a una velocidad de mecanizado demasiado alta. Por esto se ha planteado el segundo y definitivo método; achaflanar los extremos para facilitar la inserción de los tubos en el colector, disminuyendo el riesgo de rotura y asegurando así una solución definitiva a este problema.

A continuación de ensamblar de nuevo todo y de repetir la prueba de estanqueidad, se confirma que las medidas tomadas dieron el resultado requerido para la realización de los ensayos, ya no existen fugas en los colectores. En cuanto a la fuga en el tubo de subida, se han sustituido los manguitos y se ha hecho una mejor distribución del adhesivo de PVC en los puntos que unen cada parte del mismo. De esta forma se superaron los problemas de pérdida de agua de manera definitiva, tanto en los piezométricos como en la tubería que sube hacia el diafragma.

5.7 Ensayos de caracterización

Una vez conseguida la estanqueidad, la prioridad sería hacer los ensayos experimentales correspondientes para caracterizar el nuevo equipo. Se medirán las diferencias de presiones haciendo lecturas de la diferencia de altura en los tubos piezométricos, para posteriormente calcular a través de las expresiones pertinentes los caudales y el objetivo principal, el *Coficiente de Descarga* de carga en el Venturi y la Placa-Orificio, simbolizado como C_d . Queda claro que con el Principio de Bernoulli en el que se basa el funcionamiento de los aparatos de esta instalación, la presión disminuye cuando se introduce el fluido por un conducto más angosto. Teniendo en consideración esto, el coeficiente de pérdidas de carga es una manera de cuantificar cuánta presión se ha perdido en el recorrido por estos componentes, siendo el caudal teórico (16):

$$Q = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho\left(\frac{1}{A_2^2} - \frac{1}{A_1^2}\right)}} \quad (16)$$

La relación entre los caudales teóricos y las diferencias de presiones se establece en base a la expresión (16), siendo ρ la densidad del agua; y A_1 y A_2 las áreas en los distintos puntos del conducto donde se encuentren las tomas de presión. Las diferencias de presiones se expresan en Pascales multiplicando las diferencias de alturas medias de los tres ensayos en cada caudal por la densidad del agua ($\rho=1000 \text{ Kg/m}^3$) y por la aceleración de la gravedad, siendo esta 9.81 m/s^2 (17), para así, sustituyendo, hallar el caudal medio teórico Q en m^3/s .

$$P = \rho g \Delta h \quad (17)$$

El coeficiente de descarga (C_d) se calcula simplemente con el cociente entre el caudal medio que se mide con el rotámetro y el caudal medio teórico. Este parámetro es el principal que va a caracterizar al medidor de caudal, ya que permitirá la comparación para analizar que instrumento conviene más en cualquier instalación.

Para la puesta a punto del aparato es necesario seguir una serie de pasos con la finalidad de que el aire de la atmósfera y el agua se equilibren en los tubos piezométricos asegurando así una correcta lectura en ellos. En el laboratorio de Mecánica de Fluidos en la EPSL, se dispone de un banco hidráulico equipado con una bomba fabricada por Itur de 0.37 KW y 50 Hz; y un rotámetro que llega a medir hasta 2500l/h (Figura 5.71), al que se conecta el equipo de manera que una manquera va desde la misma bomba hasta el rotámetro y otra

desde este último al equipo. Antes de encender la bomba debemos tener abierta la válvula de bola y cerrar la válvula de membrana (situada en el rotámetro) para, tras conectarla, ir abriéndola gradualmente para eliminar todo el aire que haya en el circuito y desarrollar el flujo suficientemente. Se desaconseja abrir la válvula de membrana de golpe para evitar el llamado golpe de ariete, provocado por el aumento repentino de velocidad y presión en el flujo de una tubería y como consecuencia, dañándola. Han de permanecer también abiertas las válvulas de los tubos piezométricos para el llenado de estos y, de igual manera, se abrirá también la de purga para asegurar que tampoco quede aire en los colectores o en los tubos, eso evitará que las lecturas de las medidas de diferencia de alturas se vean falseadas. En la Figura 5.71 se muestra con más claridad el tipo de bomba y rotámetro que hay disponibles en el laboratorio.

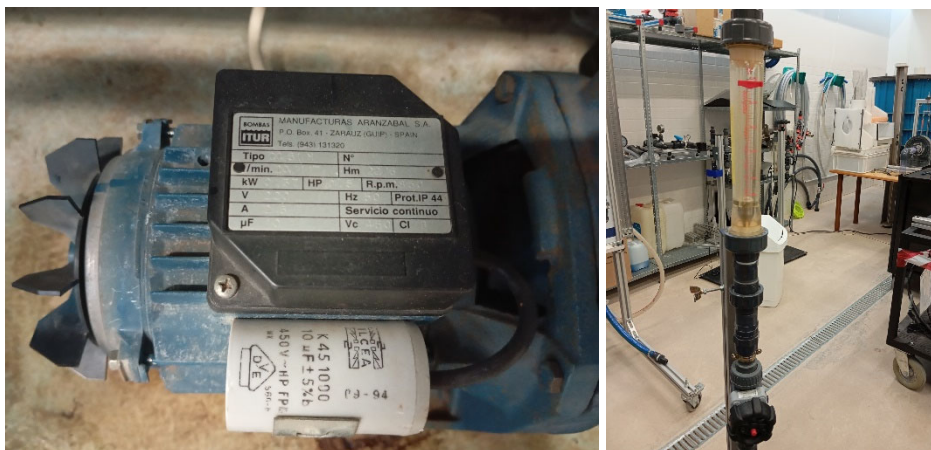


Figura 5.71 Especificaciones de la bomba del banco hidráulico (izda) y rotámetro disponible en el laboratorio de Mecánica de Fluidos en EPSL con válvula de membrana incluida (dcha).

Llenos de agua los conductos, se cierra primero la válvula de bola (Figura 5.72), después la de membrana y por último la de purga. El siguiente paso será nivelar los tubos piezométricos, esto se consigue abriendo ligeramente la llave de purga y/o válvula de membrana para que vaya entrando el aire de la atmósfera en ellos. Se nivelarán a una altura que nos permita un mayor rango de caudales a la hora de hacer las lecturas, en este caso el equilibrio óptimo será de 150 mm en todos los piezométricos. Esto permite que dicho rango sea de hasta 2000 l/h, 500 más que el equipo original a la misma altura equilibrada inicialmente. Una vez que se han nivelado, se cerrará la llave de purga.

Por último, se arranca nuevamente la bomba y se abren simultáneamente las válvulas de bola y de membrana, teniendo en cuenta que la de bola nunca se llega a abrir del todo. A partir de aquí ya se pueden regular con la válvula de membrana los caudales deseados en

cada ensayo, que se pueden medir en el rotámetro instalado en serie con dicha válvula. Se realizan ensayos con caudales desde 300 a 2000 l/h y a su vez se harán mínimo tres ensayos con cada caudal, tal y como es recomendable en cualquier estudio que se lleve a cabo en un laboratorio. Para el segundo y tercer ensayo, solo será necesario apagar la bomba, dejando el equipo en modo carga; y seguir desde el principio los pasos para ponerlo de nuevo en funcionamiento.

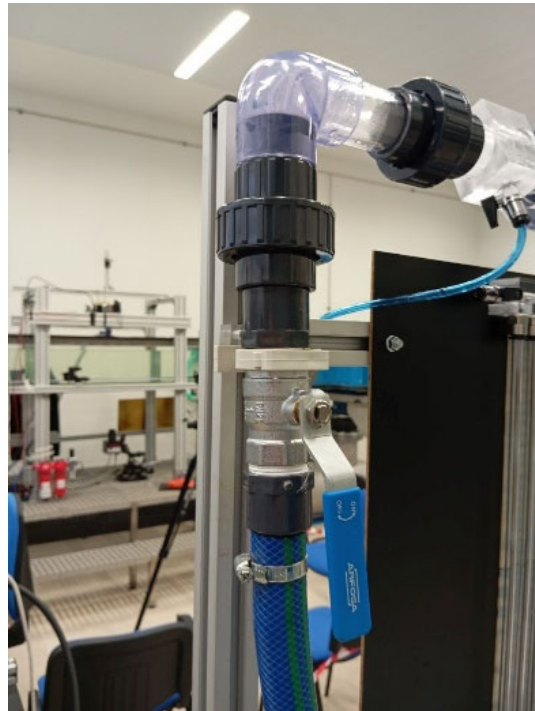


Figura 5.72 Válvula de bola

Una vez realizados los ensayos y la toma de datos, el equipo se apaga cerrando primero lentamente la válvula de bola por completo, después cerrar la válvula de membrana y finalmente apagando la bomba. Es aconsejable tener cierta cautela con dejar agua dentro del circuito cuando se apaga la bomba, ya que el metacrilato del Venturi, Diafragma y tuberías se ensucia y deteriora con el paso del tiempo si se mantiene agua en los elementos del equipo.

6 RESULTADOS EXPERIMENTALES

Antes de hacer cualquier cálculo, hay algunos datos previos de los que es necesario partir, estos son las dimensiones del Venturi y la Placa-Orificio, que vienen mencionadas en el apartado b del capítulo 5. Como anteriormente se ha dicho, se han hecho tres ensayos para cada caudal. En principio debería haber sido desde 300 a 2000 l/h, sin embargo, han existido

discrepancias a la hora de realizar las mediciones de altura en los tubos piezométricos para los caudales de 1900 y 2000 l/h. En la Placa-Orificio, para esos caudales, las lecturas no se pueden visualizar, ya que se salen del rango de medición mínimo establecido, es decir, la altura medida en ese tubo piezométrico es 0, es decir, el tubo piezométrico se vaciaba, todo esto debido a que las pérdidas de carga son mayores conforme aumenta el caudal. Esto podría resolverse estableciendo el equilibrio inicial de los piezométricos a una altura algo mayor, más específicamente hablando, 170 mm en vez de 150. Al fin y al cabo, los valores que de la medición de alturas dan igual siempre y cuando las diferencias de altura sean las mismas. En conclusión, solamente se ha podido llegar a 1900 l/h a una altura de equilibrio inicial de 150 mm. En todo caso, se trata de una mejora respecto al equipo docente existente en el laboratorio, para el que el caudal máximo que permite lectura es de 1500 l/h.

Tanto en el Venturi como en el diafragma hay tres tomas de presión a las que le corresponde sus respectivos tubos piezométricos. Al realizar las mediciones, las diferencias de alturas medidas entre el primer y segundo piezométrico corresponden a las diferencias de presiones utilizadas para hallar los caudales que pasan por ellos y el correspondiente coeficiente de descarga, mientras que las diferencias de alturas que se toman entre el primero y el tercero reflejan las pérdidas de carga que hay en el componente que se esté estudiando.

Tras tomar los datos de alturas en el equipo e introducirlos en la hoja de cálculo, se puede apreciar que las diferencias entre el caudal medio teórico que se calcula con la expresión (5) y el experimental que se mide con el rotámetro, aunque mínimas, son en algunos caudales más significativas que en otras, estas diferencias se apoyan necesariamente en las pérdidas de carga ya mencionadas. También cabe mencionar que conforme aumenta estos caudales medios, mayores serán las diferencias medias de alturas; y con ellas aumentan las diferencias medias de presiones. Ya aclaradas estas cuestiones, se precede a calcular los coeficientes de pérdidas de carga, los cuales presentan valores bastante coherentes y dentro del rango en el que se mueven estos aparatos en condiciones normales.

El Venturi ha dado un coeficiente de descarga medio de 0.845 y el diafragma 0.723, lo que garantiza un correcto funcionamiento de estos y una comparación digna entre los dos en cuanto a eficacia y rendimiento se refiere. Realmente, el coeficiente de pérdidas de carga representa un factor de corrección del flujo que oscila entre 0 y 1, donde el valor teórico (sin pérdidas) es 1 y cuanto más se acerque a este, menores serán las pérdidas en la instalación. En las tablas 6.1 y 6.2 se recopilan todos estos resultados.

PRÁCTICA DE MEDIDAS DE CAUDAL

		VENTURI								
Q (l/h)	Q _{medio} (l/h)	h1(mm)	h2(mm)	h3(mm)	Δh(mH ₂ O)	Δp(Pa)	Δp _{medio} (Pa)	Q _{medio Teórica} (l/h)	C _d	Q _{teórica} (l/h)
300	300	146	140	145	0,006	58,86	58,86	422	0,712	356
300		164	157	161	0,007	68,67				
300		170	165	169	0,005	49,05				
400	400	146	139	145	0,007	68,67	81,75	497	0,805	420
400		167	157	165	0,01	98,10				
400		173	165	170	0,008	78,48				
500	500	154	140	149	0,014	137,34	137,34	644	0,777	544
500		172	159	167	0,013	127,53				
500		175	160	170	0,015	147,15				
600	600	149	129	140	0,02	196,20	186,39	750	0,800	634
600		178	159	170	0,019	186,39				
600		178	160	173	0,018	176,58				
700	700	148	124	140	0,024	235,44	238,71	849	0,825	718
700		182	157	175	0,025	245,25				
700		184	160	176	0,024	235,44				
800	800	152	119	140	0,033	323,73	313,92	973	0,822	823
800		190	158	180	0,032	313,92				
800		190	159	181	0,031	304,11				
900	900	157	119	145	0,038	372,78	379,32	1070	0,841	905
900		197	159	185	0,038	372,78				
900		198	158	185	0,04	392,40				
1000	1000	166	118	152	0,048	470,88	493,77	1221	0,819	1032
1000		209	157	195	0,052	510,12				
1000		209	158	194	0,051	500,31				
1100	1100	173	115	156	0,058	568,98	542,82	1280	0,859	1082
1100		215	158	198	0,057	559,17				
1100		210	159	198	0,051	500,31				
1200	1200	179	115	162	0,064	627,84	634,38	1384	0,867	1170
1200		223	157	205	0,066	647,46				
1200		220	156	204	0,064	627,84				
1300	1300	189	114	170	0,075	735,75	761,91	1517	0,857	1282
1300		232	150	213	0,082	804,42				
1300		230	154	210	0,076	745,56				
1400	1400	198	113	178	0,085	833,85	866,55	1617	0,866	1368
1400		242	150	220	0,092	902,52				
1400		240	152	219	0,088	863,28				
1500	1500	210	112	187	0,098	961,38	981,00	1721	0,872	1455
1500		254	154	230	0,1	981,00				
1500		252	150	228	0,102	1000,62				
1600	1600	260	152	253	0,108	1059,48	1069,29	1797	0,891	1519
1600		268	159	240	0,109	1069,29				
1600		265	155	257	0,11	1079,10				
1700	1700	273	150	244	0,123	1206,63	1219,71	1919	0,886	1622
1700		281	157	250	0,124	1216,44				
1700		280	154	250	0,126	1236,06				
1800	1800	295	147	253	0,148	1451,88	1085,64	1810	0,934	1531
1800		296	155	265	0,141	1383,21				
1800		195	152	261	0,043	421,83				
1900	1900	303	145	268	0,158	1549,98	1536,90	2154	0,882	1821
1900		277	120	243	0,157	1540,17				
1900		306	151	273	0,155	1520,55				
								C _{d medio} =	0,845	

Tabla 6.1: Tabla de resultados del estudio de pérdidas de carga en Venturi

PLACA-ORIFICIO								
h4 (mm)	h5 (mm)	h6 (mm)	Δh (mH ₂ O)	Δp (Pa)	Δp_{media} (Pa)	$Q_{media Teórica}$ (l/h)	C_d	$Q_{teórica}$ (l/h)
142	136	140	0,006	58,86	55,59	410	0,732	296
159	154	156	0,005	49,05				
166	160	163	0,006	58,86				
143	134	137	0,009	88,29	98,10	544	0,735	393
160	150	155	0,01	98,10				
167	156	162	0,011	107,91				
145	129	136	0,016	156,96	176,58	730	0,685	528
164	146	154	0,018	176,58				
168	148	157	0,02	196,20				
138	113	124	0,025	245,25	251,79	872	0,688	630
167	141	153	0,026	255,06				
169	143	155	0,026	255,06				
135	99	115	0,036	353,16	333,54	1003	0,698	725
169	136	151	0,033	323,73				
171	138	152	0,033	323,73				
133	85	105	0,048	470,88	434,91	1146	0,698	828
172	130	150	0,042	412,02				
174	131	150	0,043	421,83				
131	79	100	0,052	510,12	523,20	1257	0,716	908
178	124	147	0,054	529,74				
178	124	147	0,054	529,74				
142	72	96	0,07	686,70	680,16	1433	0,698	1036
184	114	143	0,07	686,70				
182	114	144	0,068	667,08				
145	66	100	0,079	774,99	758,64	1513	0,727	1094
181	108	141	0,073	716,13				
187	107	140	0,08	784,80				
147	58	91	0,089	873,09	889,44	1639	0,732	1184
191	100	139	0,091	892,71				
190	98	137	0,092	902,52				
153	47	169	0,106	1039,86	1046,40	1777	0,731	1284
198	90	135	0,108	1059,48				
195	89	134	0,106	1039,86				
160	37	89	0,123	1206,63	1216,44	1916	0,731	1385
204	80	152	0,124	1216,44				
203	78	150	0,125	1226,25				
167	26	84	0,141	1383,21	1327,62	2002	0,749	1447
210	70	128	0,14	1373,40				
210	85	125	0,125	1226,25				
213	60	123	0,153	1500,93	1517,28	2140	0,748	1547
221	62	129	0,159	1559,79				
217	65	127	0,152	1491,12				
221	45	116	0,176	1726,56	1742,91	2294	0,741	1658
230	52	121	0,178	1746,18				
228	49	121	0,179	1755,99				
230	29	110	0,201	1971,81	1997,97	2456	0,733	1775
239	32	121	0,207	2030,67				
238	35	118	0,203	1991,43				
240	15	108	0,225	2207,25	2161,47	2554	0,744	1846
211	0	83	0,211	2069,91				
246	21	114	0,225	2207,25				
$C_{d media} =$						0,723		

Tabla 6.2: Tabla de resultados del estudio de pérdidas de carga en placa-orificio

Además, se incluirán a continuación los resultados graficados, una parte muy importante de la caracterización para facilitar la visualización e interpretación de los datos tabulados anteriormente. Entre ellas se encuentra las principales gráficas de ΔP en Pa frente al caudal en l/h (Figura 6.1), el Cd (coeficiente de descarga) frente al caudal Figura 6.2) y la comparación entre el caudal teórico frente al caudal real en ambos dispositivos (Figura 6.3). Se aclara que el Cd es un parámetro adimensional.

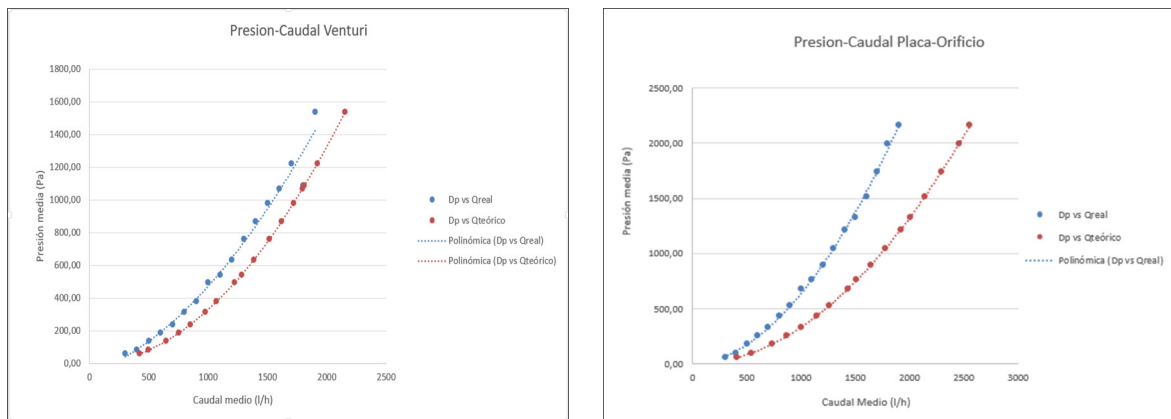


Figura 6.1 Diferencia de presión frente a caudal en Venturi y Placa orificio.

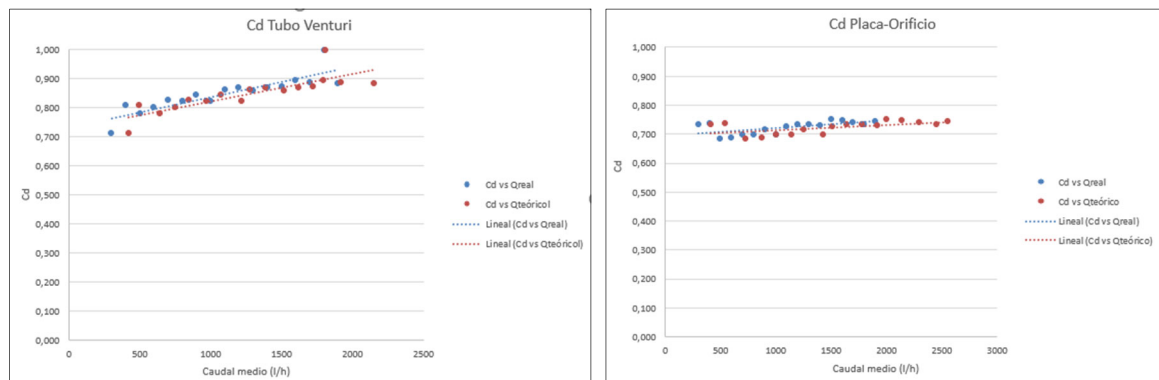


Figura 6.2 Coeficiente de descarga frente al caudal.

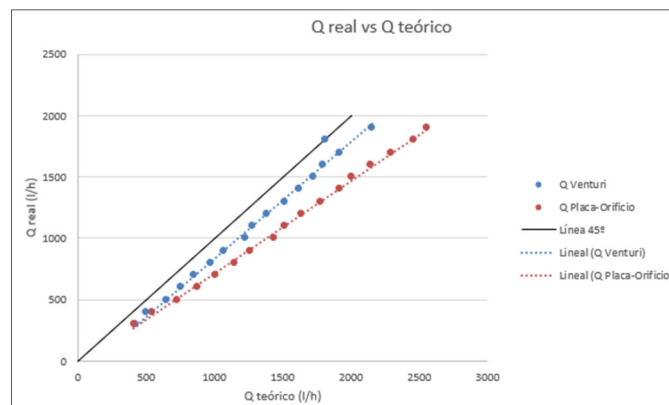


Figura 6.3 Caudales reales frente a teóricos.

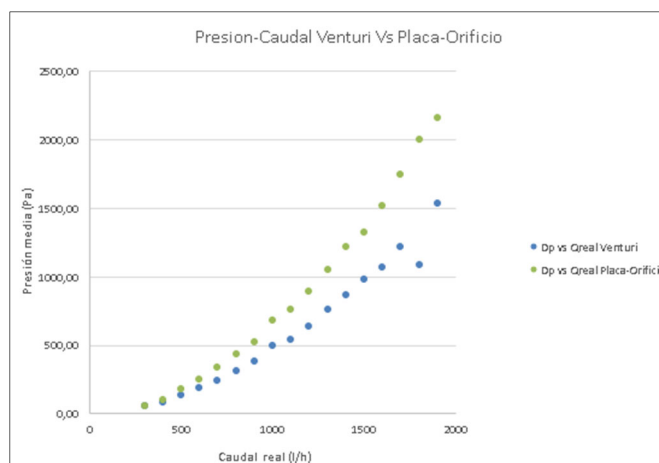


Figura 6.4 Presión-Caudal Venturi Vs Placa-Orificio

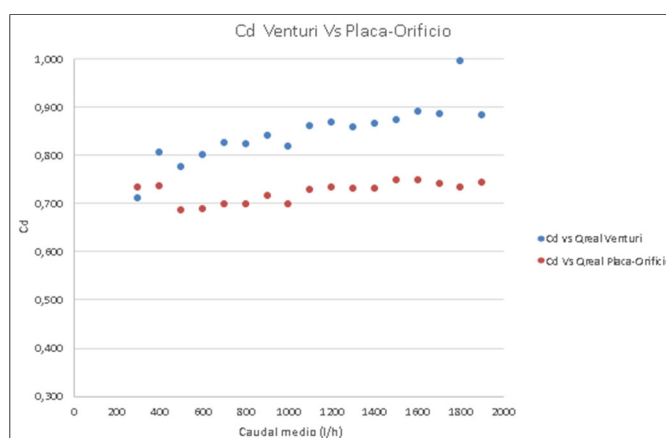


Figura 6.5 Cd Venturi Vs Placa-Orificio

Estas gráficas revelan que las curvas de ΔP en Pa frente al caudal en l/h son exponenciales siguiendo una línea de tendencia polinómica de grado 2. Esta curva, tanto en el Venturi como en la Placa Orificio, viene a significar que conforme aumenta el caudal, aumenta la diferencia de presiones medida a través de la altura de las columnas de agua de los dos primeros piezométricos de cada elemento. Como es lógico los caudales reales son mucho menores que los teóricos, a pesar de ser las diferencias de presiones iguales tal y como se ha mostrado en la Figura 6.1. El dato más importante que hay que añadir es que en una Placa-Orificio las diferencias de presión son mucho más elevadas que en un Venturi, por eso mismo el Cd en el Diafragma es más bajo que en este aquél.

Además, se comparan los caudales reales y los teóricos en la Figura 6.3 para ver cómo se diferencian entre ellos. Estando el Q real en el eje Y, y el teórico en el X, si ambos fueran iguales, la línea que forman los puntos tendría que formar un ángulo de 45° con respecto al eje de abscisas. Aunque en el Venturi se acercan más a dicho valor que en la

Placa-Orificio, en los dos casos forman un ángulo inferior a 45° , lo que ratifica el hecho de que los caudales reales siempre son inferiores a los teóricos.

En la Figura 6.4 se observa como para un mismo caudal las presiones en el dispositivo de Placa-Orificio son mayores que en el Venturi, lo cual es lógico por tratarse de una contracción brusca frente a una gradual como la del Venturi.

Por otra parte, en la Figura 6.5, se puede observar que, según lo esperado, el coeficiente de descarga, C_d , del Venturi es más alto (se acerca más a la unidad) que el de la Placa-Orificio.

Por todo lo dicho, podemos concluir que la caracterización del equipo diseñado y fabricado cumple con las expectativas fluidomecánicas, y se considera apto para la realización de prácticas docentes.

7 CONCLUSIONES

Con respecto al equipo origina fabricado por Edibon, existe la diferencia de que tanto la placa con orificio como el Venturi están diseñados con normativas ISO diferentes. El modelo FME 18 está diseñado con la norma vigente en 2003, a día de hoy está obsoleta; el prototipo construido en este proyecto se ha diseñado por tanto con la norma puesta en vigor en 2023.

Los valores del coeficiente de descarga que muestran los ensayos en ambos equipos son muy similares, tal y como se ha visto en las tablas del apartado anterior. En definitiva, los resultados obtenidos arrojan que el Venturi tiene menos pérdidas que la placa con orificio, siendo lógico ya que el agua pasa con mucha más facilidad por un conducto convergente-divergente donde la sección aumenta y disminuye de manera gradual que por una reducción tan brusca como es la placa-orificio, aunque esta última tiene la ventaja de ser de sencilla fabricación e instalación, por lo tanto, de menor coste.

Todo esto significa, que el equipo funciona tal como se esperaba, lo que lo hace estar perfectamente operativo y disponible en el laboratorio de Mecánica de Fluidos de la EPSL para realizar ensayos en futuras prácticas.

8 TRABAJO FUTURO

Se le podrían añadir modificaciones al equipo. El Venturi no tiene por qué ser de sección interior circular, sino que también se podría mecanizar un Venturi de sección rectangular, con las mismas tres tomas de presión, pero podría ser incluso más largo. Esto permite realizar ensayos con Venturis de distintos tipos y dimensiones para estudiar y comparar sus comportamientos. También se podrán sustituir las partes desmontables del equipo por otra clase de medidores de caudal tales como rotámetros, caudalímetros digitales, Placas orificio de distintas dimensiones... etc.

Asimismo, se puede completar el trabajo llevando a cabo ensayos de simulación computacional de flujos (CFD), basados en el diseño realizado en este TFG. Este tipo de ensayo serviría para completar la formación práctica de los estudiantes.

9 BIBLIOGRAFÍA

- [1] EAS BARCELONA, *¿Qué es el efecto suelo?* Disponible en: <https://easbcn.com/que-es-el-efecto-suelo/>.
- [2] GILES, Ranald V. EVETT, Jack B. LIU, Cheng. *Mecánica de los Fluidos e Hidráulica, Shaum*. Traducido por Jaime MONEVA MONEVA (Trad). 3ª ed. Madrid: McGraw-Hill, 1994. ISBN 0-07-023316-0.
- [3] FM FORMACIÓN, *¿Qué es un pie de rey y cómo utilizarlo?* Disponible en: <https://www.fabricacionmecanica.es/que-es-un-pie-de-rey/>
- [4] GROOVER, Mikell. *Fundamentos de la manufactura moderna*. Traducido por Carlos Roberto CORDERO PEDRAZA, Javier ENRÍQUEZ BRITO, y Jesús Elmer MURRIETA MURRIETA (Trads). 3ª ed. México: McGraw-Hill, 2007. ISBN 978-970-10-6240-1.
- [5] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 5167-1:2022, *Medición del caudal de fluidos mediante dispositivos depresión diferencial intercalados en conductos en carga de sección transversal circular. Parte 1-Principios y requisitos generales*.
- [6] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 5167-2:2022, *Medición del caudal de fluidos mediante dispositivos de presión diferencial intercalados en conductos en carga de sección transversal circular Parte 2-Placas de orificio*.
- [7] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 5167-4:2022, *Medición del caudal de fluidos mediante dispositivos de presión diferencial intercalados en conductos en carga de sección transversal circular Parte 4-Tubos Venturi*.
- [8] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 5455:1996, *Dibujos técnicos-Escalas*.
- [9] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 5457:1999, *Documentación técnica de productos Formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo*.
- [10] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 129-1:2018, *Documentación técnica de los productos (TPD). Representación de dimensiones y tolerancias. Parte 1: Principios generales*.
- [11] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 128:2022, *Documentación técnica de productos (TPD). Principios generales de representación*.

[12] KALPAKJIAN, Serope. SCHMID, Steven R. *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Traducido por Jaime ESPONOSA LIMÓN (trad). 5ª ed. México: Pearson Educación, 2008. ISBN 978-970-26-1026-7.

[13] RIVAS ACOSTA, Iván. JUÁREZ NÁJERA, Raúl. *Tubos Venturi, Dall y tobera*. En línea. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), 2001. ISBN 968-5536-03-1. Disponible en:
http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1174/IMTA_083.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

[14] RUIZ SOLORIO, Geraldo, *Historia del tubo de Venturi*. XXII Congreso Nacional de Hidráulica. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 2012. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/371206838_Historia_del_tubo_Venturi.

[15] VERA COELLO, Marcos. IGLESIAS ESTRADÉ, Inmaculada. SÁNCHEZ PEREZ, Antonio L. MARTÍNEZ BAZÁN, Carlos. *Ingeniería Fluidomecánica*. Madrid: Paraninfo, 2012. ISBN 978-84-9732-904-0.

10 ANEXOS

10.1 Anexo. Sierra de cinta.

SIERRAS FIJAS | Arranque de viruta

S 210 G / S 275 G / S 275 G Vario

OPTIMUM
MASCHINEN - GERMANY

Sierras de cinta para trabajos con metal, con arco de sierra giratorio para corte en ángulo, sistema de refrigeración de serie y dos velocidades de la cinta. El modelo 275 G Vario incorpora variador de velocidad.

Arco de sierra giratorio para corte en ángulo, 2 velocidades y bajada de corte por pistón hidráulico



Manómetro
S 275 G / S 275 G Vario
- Control sencillo y correcto de la tensión de la banda de sierra.

Guía de sierra de banda
- Cinta guiada en 5 puntos mediante rodamientos de bolas para una mayor precisión y durabilidad.
- Cepillo para limpieza de la cinta.

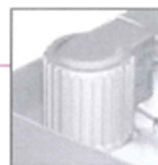


Mordaza de acción rápida
- Ajustable mediante volante.
- Agarre de la pieza mediante rápida acción manual.



Panel de control
- Pulsador de parada.
- Interruptor para la bomba refrigerante.
- Interruptor de selección de velocidad.
- Modelo Vario con potenciómetro.

- Certificado de conformidad CE del sistema eléctrico.
- Con filtro EMC para uso en zonas mixtas de población.



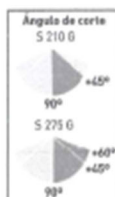
Sistema de refrigeración
- Equipado de serie.

Banco
- Robusto.
- Equipado de serie.

S 275 G Vario

Modelo	S 210 G	S 275 G	S 275 G Vario
Código	3300210	3300275	3300278
Potencia del motor	1 CV / 750 W / 400 V	1,5 CV / 1,1 kW / 400 V	2 CV / 1,5 kW / 230 V
Capacidad de corte a 90°	170 mm	225 mm	225 mm
Capacidad de corte a 90°	210 x 140 mm	245 x 180 mm	245 x 180 mm
Capacidad de corte a 45°	125 mm	160 mm	160 mm
Capacidad de corte a 45°	125 x 100 mm	160 x 140 mm	160 x 140 mm
Capacidad de corte a 60°	—	100 mm	100 mm
Capacidad de corte a 60°	—	100 x 100 mm	100 x 100 mm
Desarrollo de la hoja de sierra	2.880 x 20 x 0,9 mm	2.480 x 27 x 0,9 mm	2.480 x 27 x 0,9 mm
Velocidad de la hoja de sierra	40 / 80 m/min.	45 / 90 m/min.	20 - 90 m/min
Dimensiones mín. l x an x al	1.200 x 530 x 1.320 mm	1.400 x 530 x 1.360 mm	1.400 x 530 x 1.360 mm
Peso neto	152 kg	185 kg	200 kg

Las máquinas están construidas de acuerdo con las normas CE.



ACCESORIOS INCLUIDOS

Hoja de sierra bimetalica, cilindro de bajada hidráulica, sistema de refrigeración por bomba de taladrina, microinterruptor para desconexión final automática, banco.

ACCESORIOS OPCIONALES

Hoja de sierra	Código
- 6-10 ZZ (S 210 G)	3357514
- 6-10 ZZ (S 275 G / S 275 G Vario)	3357524
- 5-8 ZZ (S 275 G / S 275 G Vario)	3357511

TALADROS POR ENGRANAJES | Arranque de viruta

ASLAK
metal

B 40 GSP SERIE INDUSTRIAL OPTIMUM

MACHINEN - GERMANY

Con sistema de refrigeración y expulsor automático de la broca, de diseño robusto y macizo de fundición, con un motor eléctrico de poca rumorosidad y gran potencia.

Sistema de avance mecánico automático.
Bomba de refrigeración de serie.

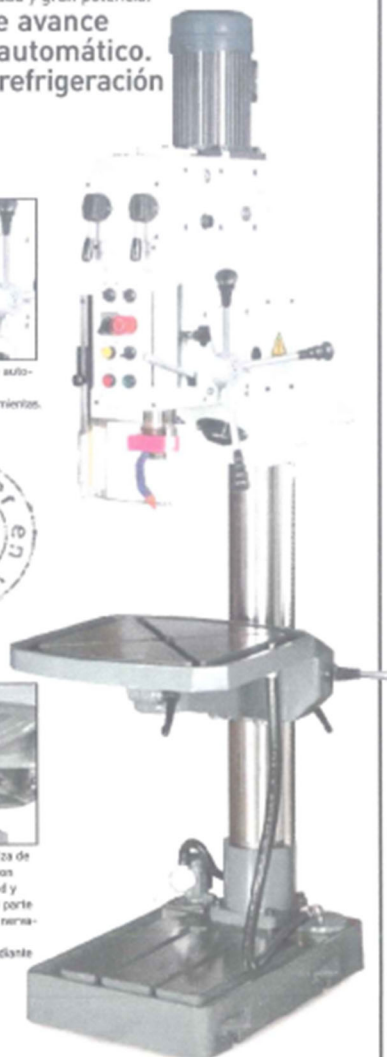


2 velocidades de avance automático de la broca.
Cambia sencilla de herramientas.



Mesa de taladrado maciza de grandes dimensiones, con superficie de alta calidad y ranuras tipo T en cruz y porte inferior con numerosas normadas.

Regulable en altura mediante cremallera.
Giratoria 360° sobre sí misma y respecto a la columna.



Modelo	B 40 GSP
Código	3034403
Potencia del motor	2 CV / 1,5 kW / 400 V
Ø máx. taladro fundición/acero	35 / 35 mm
Tipo cono morse	MT 4
Revoluciones del husillo	50 - 1.450 r.p.m.
Dimensiones (l x an x al)	935 x 540 x 2.290 mm
Peso neto	500 kg

Las máquinas están construidas de acuerdo con las normas CE.

B 40 GSM SERIE INDUSTRIAL OPTIMUM

MACHINEN - GERMANY

Con sistema de refrigeración y expulsor automático de la broca, de diseño robusto y macizo de fundición, con un motor eléctrico de poca rumorosidad y gran potencia.

Sistema electromagnético de avance automático e inversor de giro para roscar.
Bomba de refrigeración de serie.



Mediante un pulsador situado en la palanca de bajada de la pinela, accionamos la inversión de giro del husillo para hacer roscar.
Cambio sentido de giro en manivela para roscar.



Avance automático de la broca.
Cambio sencilla de herramientas mediante dispositivo de extracción rápido.



Modelo	B 40 GSM
Código	3034400
Potencia del motor	2 CV / 1,5 kW / 400 V
Ø máx. taladro fundición/acero	35 / 35 mm
Tipo cono morse	MT 4
Revoluciones del husillo	50 - 1.450 r.p.m.
Dimensiones (l x an x al)	935 x 540 x 2.290 mm
Peso neto	500 kg

Las máquinas están construidas de acuerdo con las normas CE.

10.3 Esmeriladora

a.1.4. ESMERILADORA

Se oferta el siguiente material:

- Esmeriladora QSM 200 de Optimum con las siguientes características:



- Banco SM anclado al suelo:



- Banco SM 3107100
Para QSM 150 hasta SM 250. Dimensiones l x an x alt: 320 x 270 x 820 mm.

Expediente nº 2014/25

10.4 Centro de Mecanizado CNC Lagun L650

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

▪ MESA

Superficie de trabajo	800 x 460 mm
Ranuras en "T"	5 x 18 mm x 80 mm
Peso máximo sobre la mesa	400 kg
Altura de la mesa al suelo	915 mm

▪ CURSOS

Curso longitudinal X	650 mm
Curso transversal Y	510 mm
Curso vertical Z	610 mm

▪ CABEZAL

Gama de velocidades	8000 rpm
Cono del eje principal	MAS 403 BT 40
Tipo tirante mandrino	MAS 403 P40T-1
Distancia mín./máx. del eje a la mesa	100 ÷ 710 mm
Distancia del centro del eje a la superficie de la guía	550 mm

▪ TRANSMISIÓN DE EJES

Husillos a bolas	Ø 32 x 12 mm
Transmisión	Directa
Lubricación	Aceite

▪ GUÍA LINEAL X

Número de guías lineales	2
Número de patines	4
Distancia entre guías	320 mm
Lubricación	Aceite

▪ GUÍA LINEAL Y

Número de guías lineales	2
Número de patines	4
Distancia entre guías	685 mm
Lubricación	Aceite

▪ GUÍA LINEAL Z

Número de guías lineales	2
Número de patines	4
Distancia entre guías	295 mm
Lubricación	Aceite

▪ AVANCES RÁPIDOS

Longitudinal	36000 mm/min
Transversal	36000 mm/min
Vertical	36000 mm/min

▪ ALMACÉN DE HERRAMIENTAS

Nº de herramientas	16 htas.
Sistema de selección	NO Random / Bidirectional
Tiempo cambio de herramienta	6 s
Tiempo cambio de herramienta viruta a viruta	13 s
Diámetro máximo con herramientas contiguas	Ø 100 mm
Diámetro máximo con herramientas alternas	Ø 130 mm
Longitud máxima de herramienta	250 mm
Peso máximo de la herramienta	8 kg
Peso total de las herramientas	87 kg

▪ MOTORES

Potencia del eje principal S1 / S6	7,5 / 9 kW
Potencia servomotores X, Y, Z (Fagor/Heidenhain/Fanuc)	3,6 / 2,6 / 1,2-1,8 kW
Bomba refrigeración	0,75 kW
Bomba limpieza carenado	0,75 kW
Motor almacén de herramientas (No random)	0,07 kW
Bomba de engrase centralizado	0,15 kW

▪ PRECISIÓN

Posicionamiento	± 0,005/300 mm
Repetibilidad	± 0,003 mm

▪ GENERAL

Superficie en planta (ancho x fondo)	2200 x 2370 mm
Altura máxima	2660 mm
Peso neto	3700 kg
Presión de aire requerida	6 ÷ 7 bar
Capacidad máxima depósito taladrina	210 l
Potencia total instalada (FAGOR/HEIDENHAIN/FANUC)	23/20/21 kW

10.5 Anexo. Cortadora-Grabadora láser CO2



Teil 1 Technische Daten

Mechanik

Arbeitsbereich	11.8"x 7.8" / 300 x 200 mm
Tischgröße	13.7"x 9" / 350 x 230 mm
Max. Werkstückhöhe (Kein Motortisch, Standard Laserkopf)	0.6-1 inch / 17- 27mm
Max. Gravurgeschwindigkeit	19.6 inch/sek. / 500 mm/sek. Standard
Schneidgeschwindigkeit	abhängig von Material, Dicke, Laserleistung
Max. Belastung des Werkstücktisches	10 kg
Nettogewicht	20kg (287lbs)
Durchmesser der Fokuslinse	12mm
Reflektordurchmesser	20mm
Strahlkombinierer-Durchmesser	20mm

Dimension

L x B x H	27.5"x 19.6"x 9.8" / 700 x 500 mm x 250 mm
-----------	--

Kontrollsystem

Laserleistung	einstellbar von 0 - 100% (normalerweise 10-100%)
Schnittstellen-Hardware	Verbindung zum PC herstellen Ethernet: Verbindung zum PC
Schnittstellensoftware	LaserDRW

Laserausrüstung

Lasertyp	Sealed CO2 Glaslaserrohr
Wellenlänge	Laserleistung: 40W 50W 10, 6µm

Kühlsystem

Wasserkühlsystem	Wasser kühlt
------------------	--------------

Spannung, Leistung, Sicherung

Spannung	230 Volt, 50 Hz, einphasig
Leistung	500W
Empfohlene Sicherung	15A (220V)

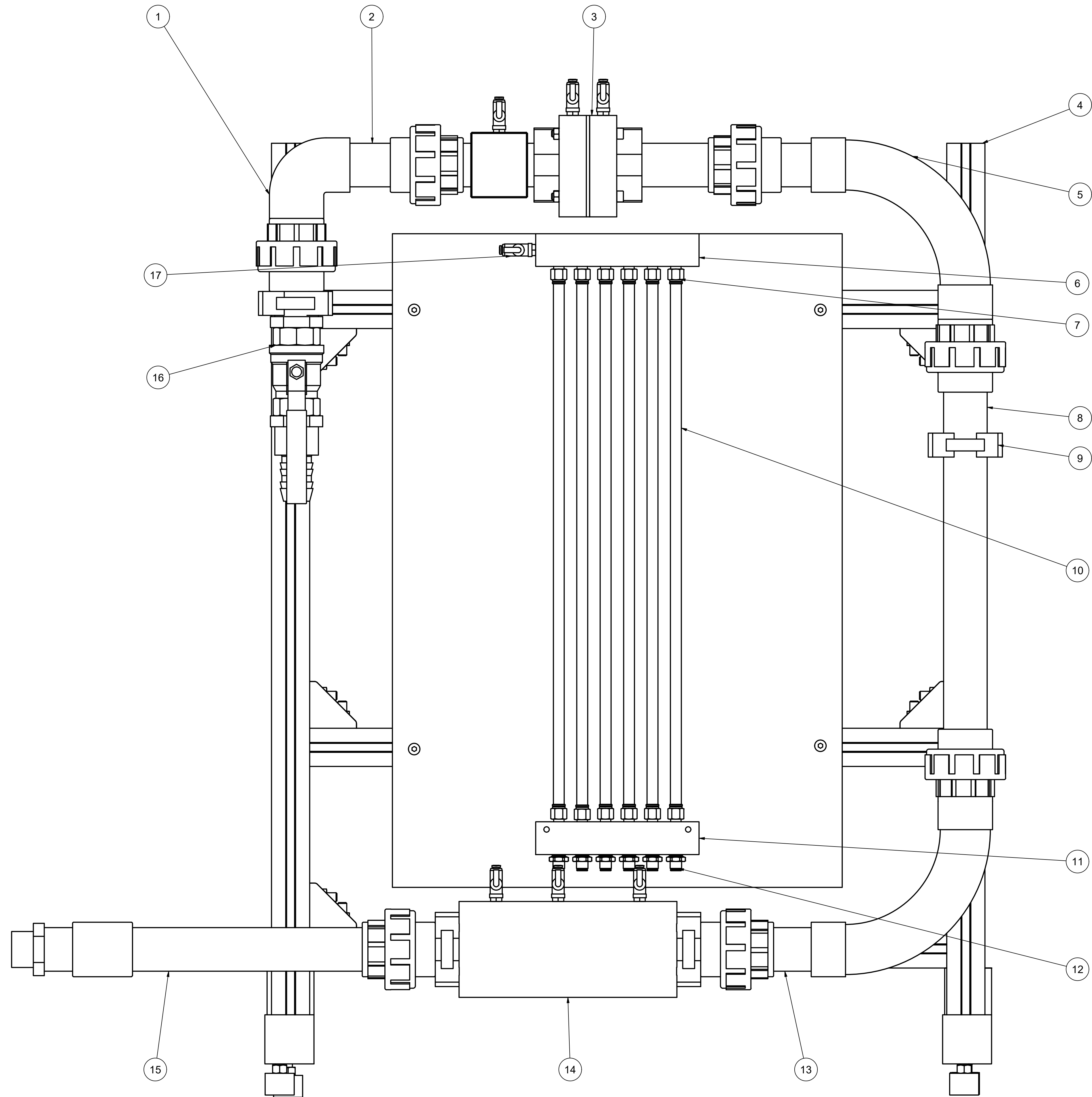
Umgebungsbedingungen

Umgebungstemperatur	+5°C to +25°C / 59°F to 77°F
Feuchtigkeit	40% bis max. 70%, nicht kondensierend

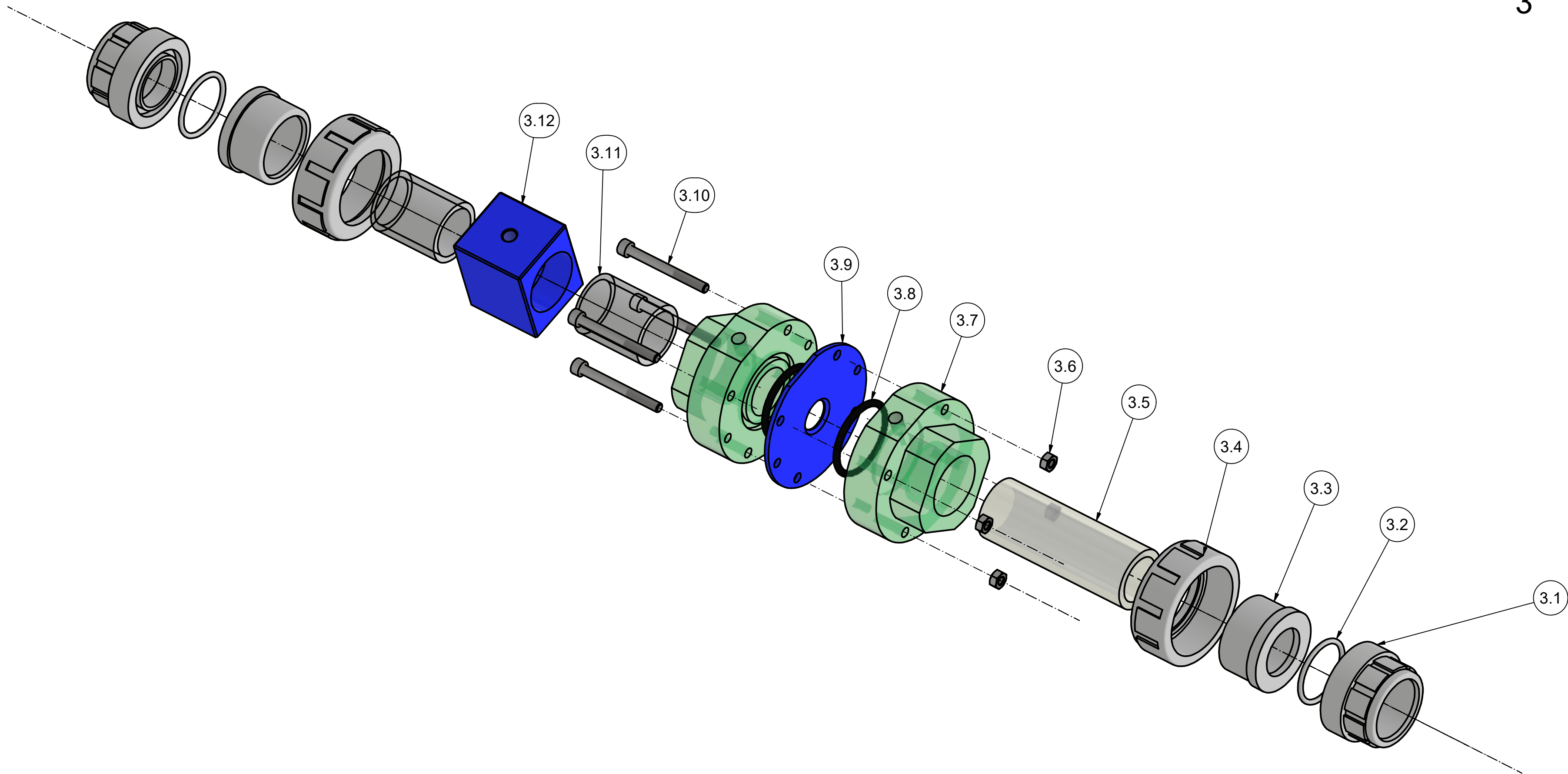
Lasersicherheit

Laserklasse	CDRH Lasersicherheit Laserklasse 4 (H) CE-konform, FDA-zugelassen
-------------	---

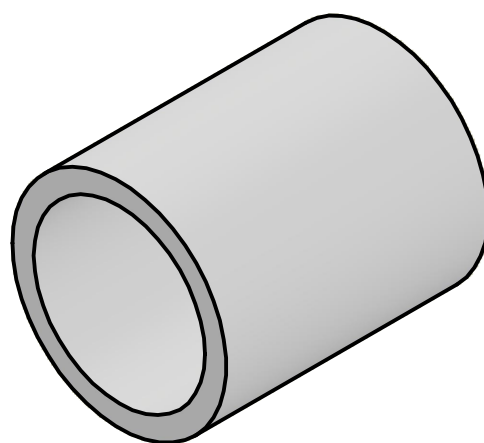
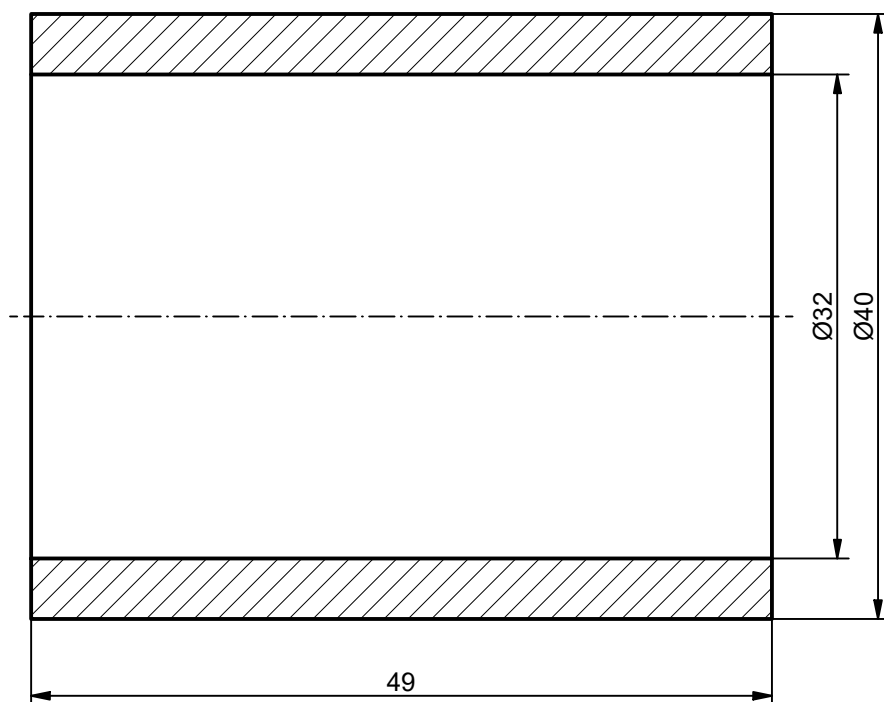
11 Planos.



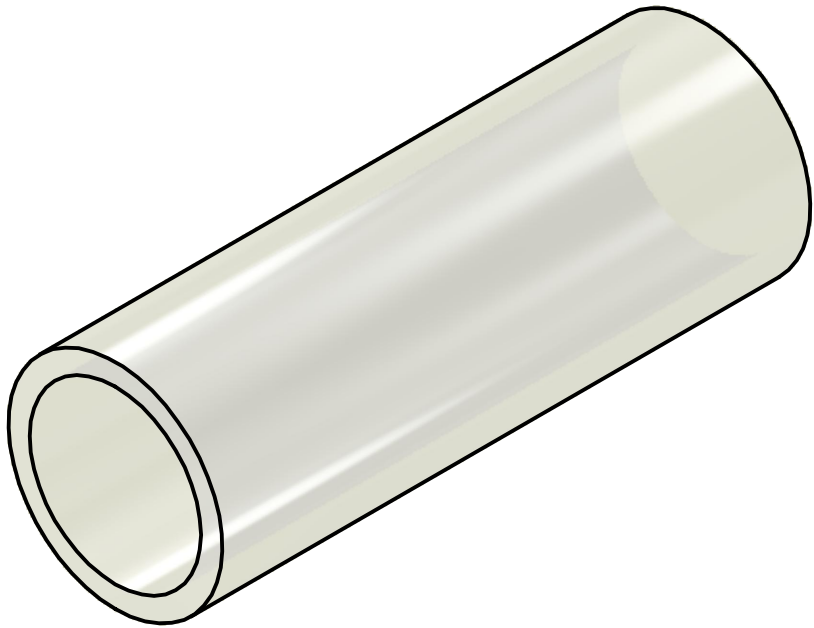
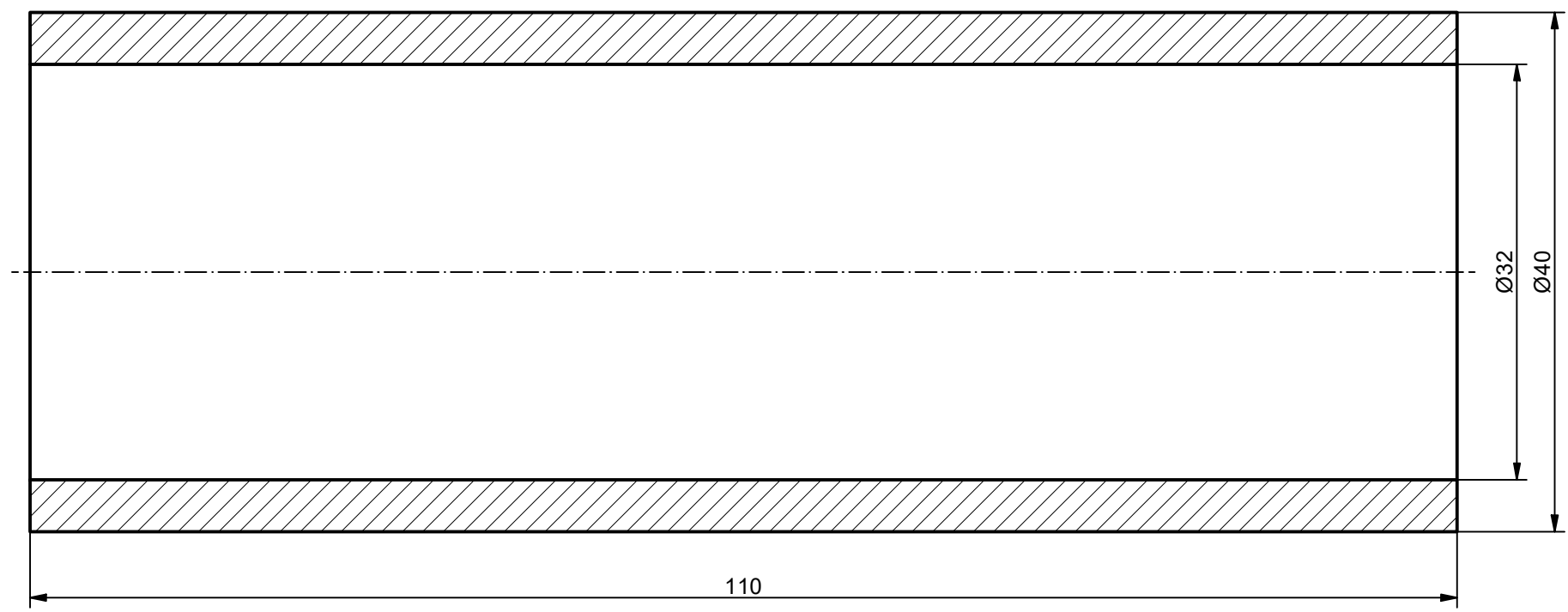
17	7	Llaves de paso	QH-QS (USA)-ball valve
16	1	Tubería de desagüe	
15	1	Tubería entrada al venturi	
14	1	Tubo de Venturi	
13	1	Tubo metacrilato 40x32x92	
12	6	Conexiones rápidas de 1/4	
11	1	Colector taladrado de metacrilato	
10	6	Tubo piezométrico	
9	4	Abrazaderas para tubos de 40 mm	
8	1	Tubería vertical de subida	
7	12	Conexiones rápidas de latón	Male Connector
6	1	Colector comunicado de metacrilato	
5	2	Codo 90 radio grande	
4	1	Bastidor	
3	1	Diafragma	
2	2	Tubo metacrilato 40x35x85	
1	1	Codo 90 radio pequeño	
Marca Ctd.		Designación	Descripción
DIBUJADO	FECHA	NOMBRE	FIRMAS
COMPROBADO	08/05/2024	D. Redecillas	
C. CALIDAD			
ESCALA	DESIGNACIÓN	Nº DE PLANO	
1:2		1/50	
A1	Medidores de caudal. Venturi	SUSTITUYE A	
		SUSTITUIDO POR	



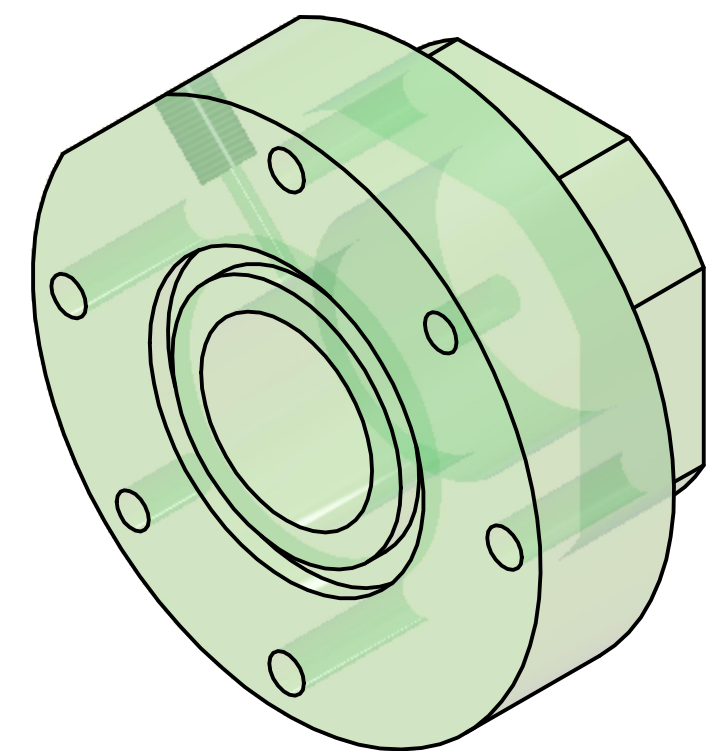
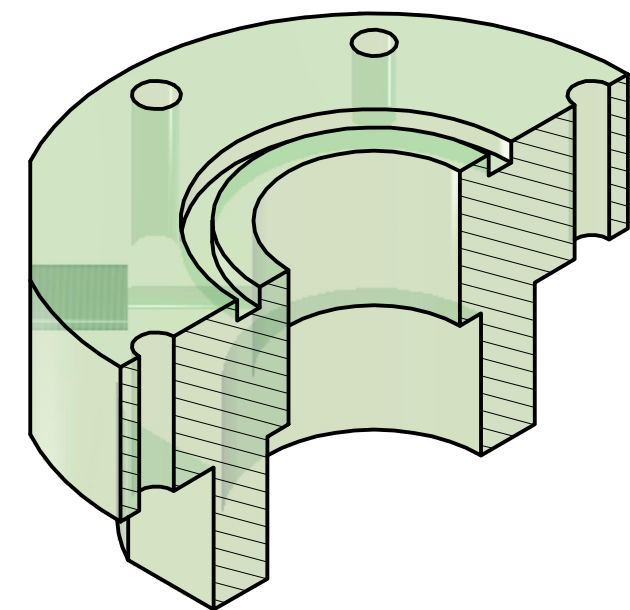
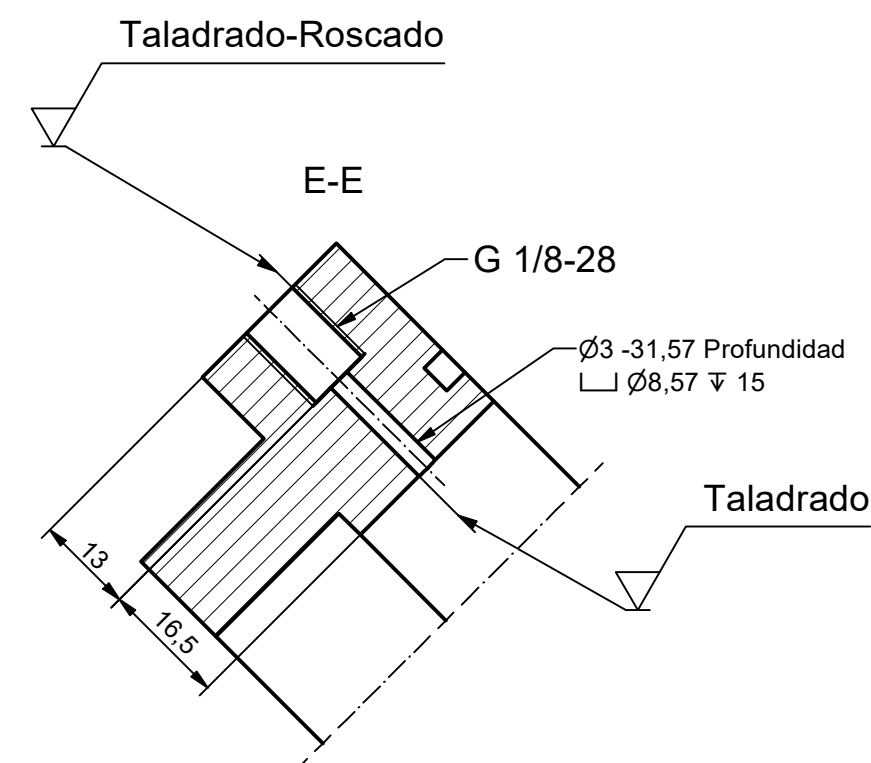
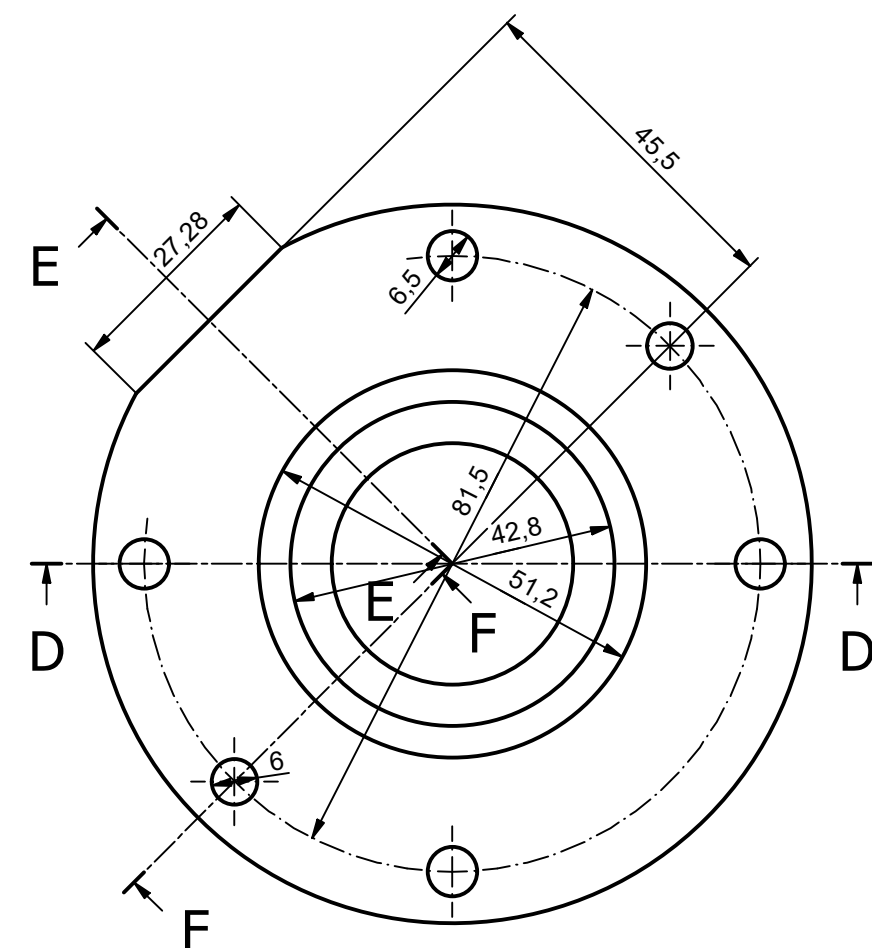
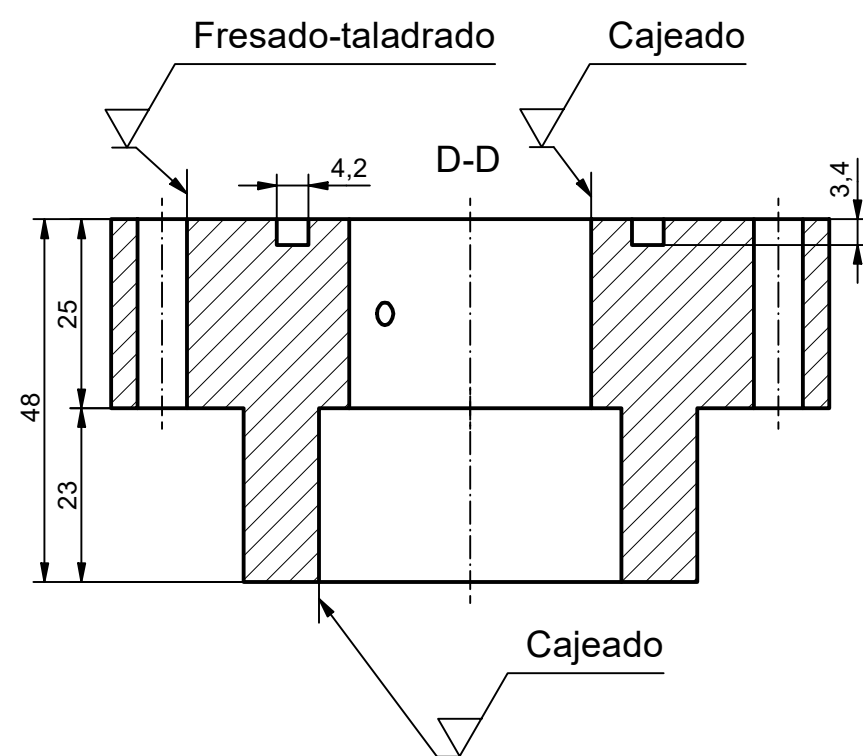
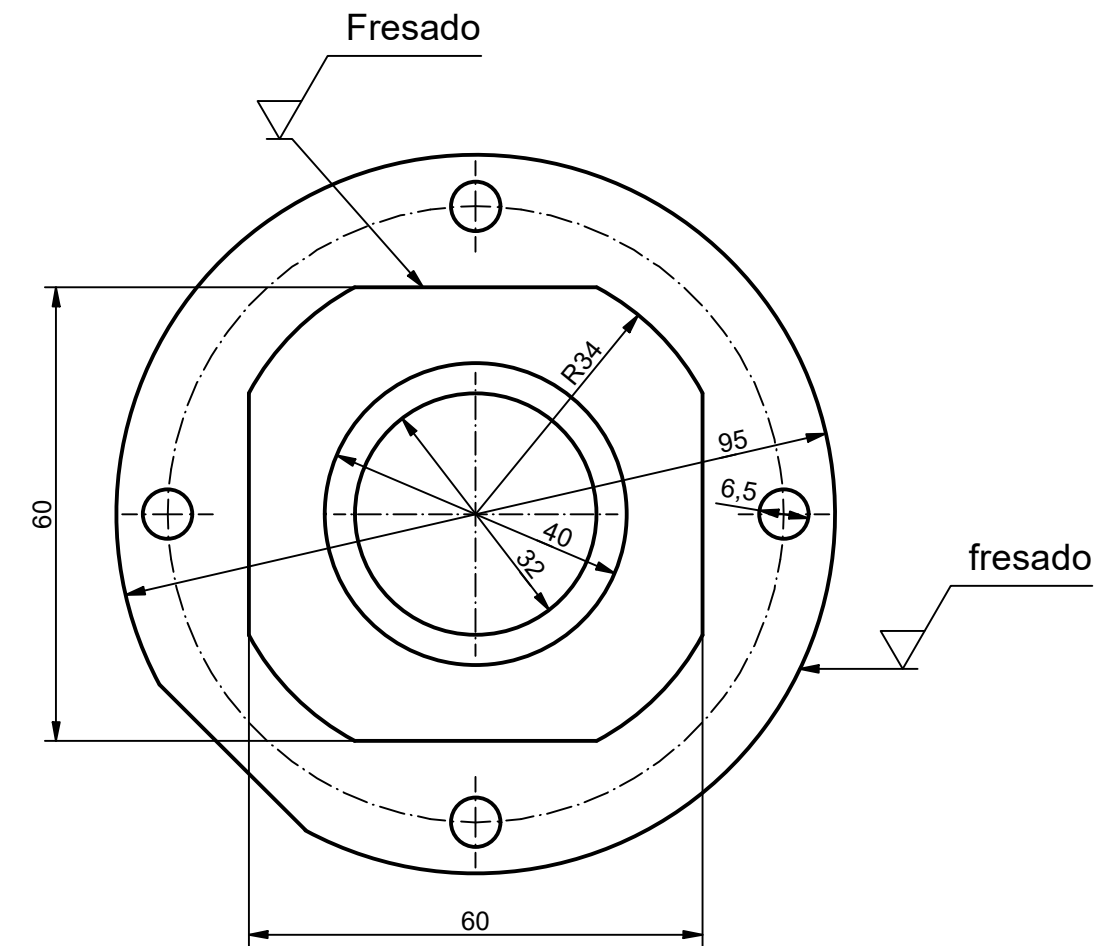
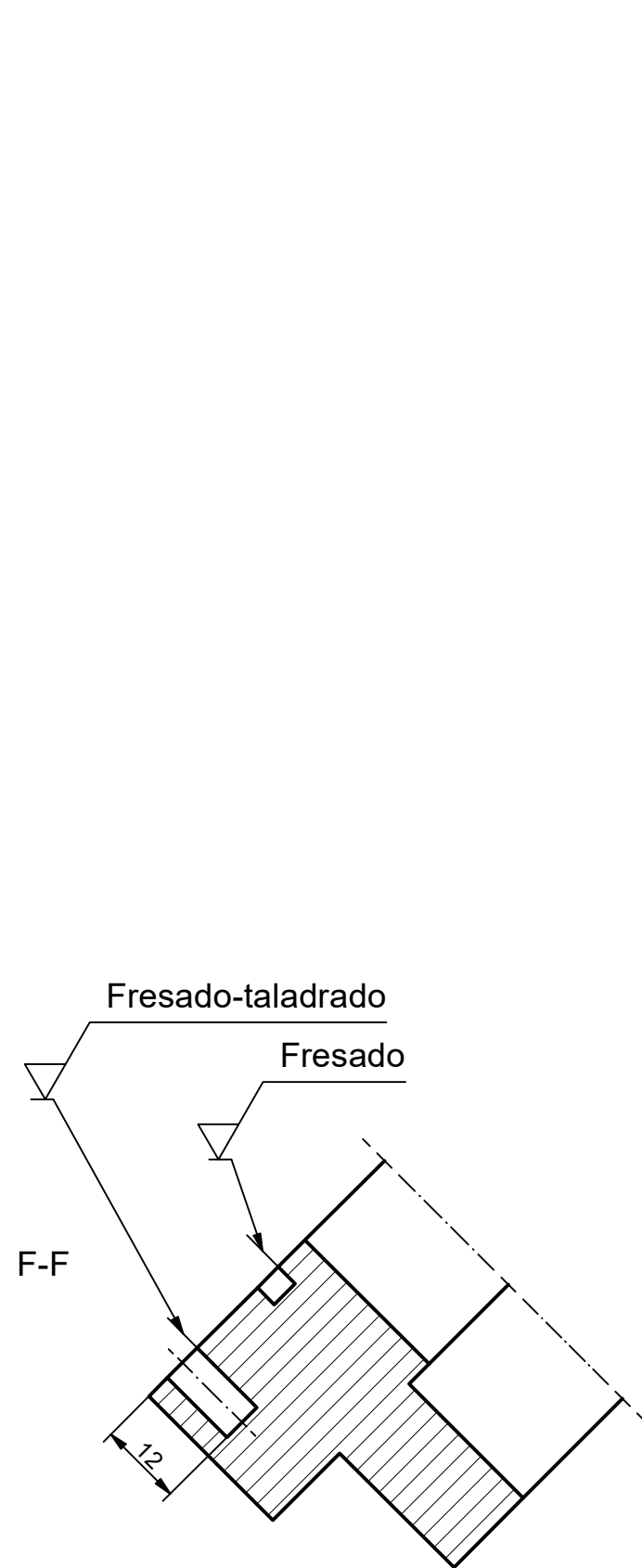
3.12	1	Placa-orificio toma 3	
3.11	2	Tubo metacrilato 40x32x49	
3.10	4	BS EN ISO 4762 - M6 x 60	Hexagon Socket Head Cap Screw
3.9	1	Placa con orificio	
3.8	2	Junta tórica diafragma	
3.7	2	Bridas diafragma	
3.6	4	BS 3692 - M6	Precision hexagon nuts
3.5	1	Tubo metacrilato 40x32x110	
3.4	2	Enlaces tuberías 40. Pieza 4	
3.3	2	Enlaces tuberías 40. Pieza 1	
3.2	2	Enlaces tuberías 40. Junta tórica	
3.1	2	Enlaces tuberías 40. Pieza 2	
Marca	Ctd.	Designación	Descripción
		FECHA	NOMBRE
		D. Redecillas	FIRMAS
DIBUJADO			
COMPROBADO			
C. CALIDAD			
ESCALA	DESIGNACIÓN	Nº DE PLANO	
1:2	Ensamblaje diafragma	2/50	
A2		SUSTITUYE A	
		SUSTITUIDO POR	



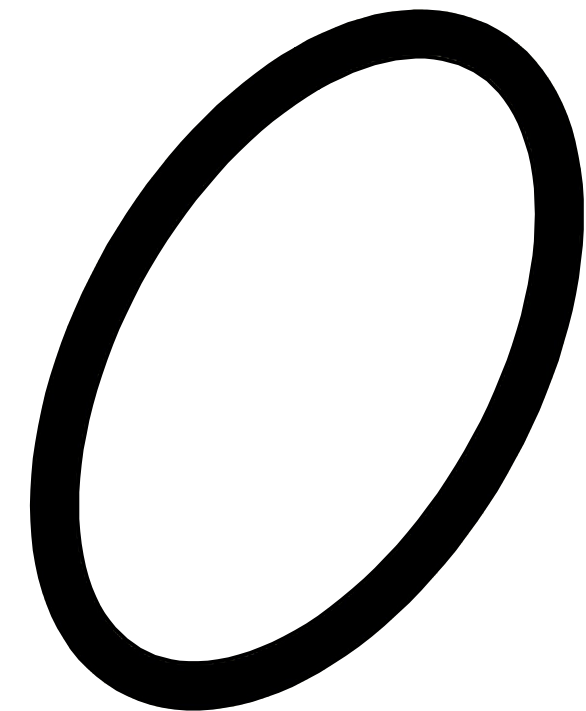
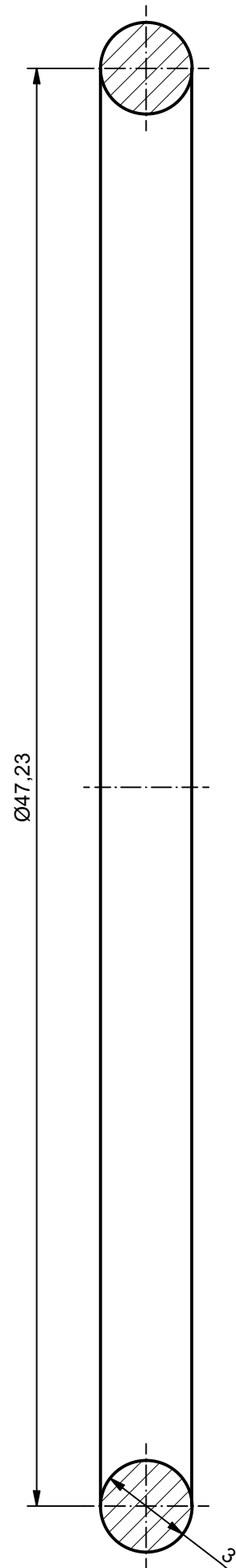
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN
DIBUJADO	8/06/2024	D.Redecillas		
COMPROBADO				
C. CALIDAD				
ESCALA	DESIGNACIÓN Tubo metacrilato 40x32x49			Nº DE PLANO 3/50
2:1 A4				SUSTITUYE A
				SUSTITUIDO POR



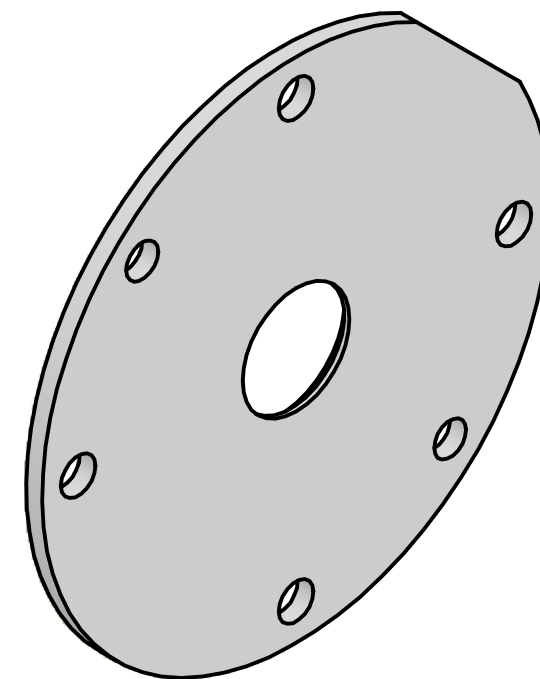
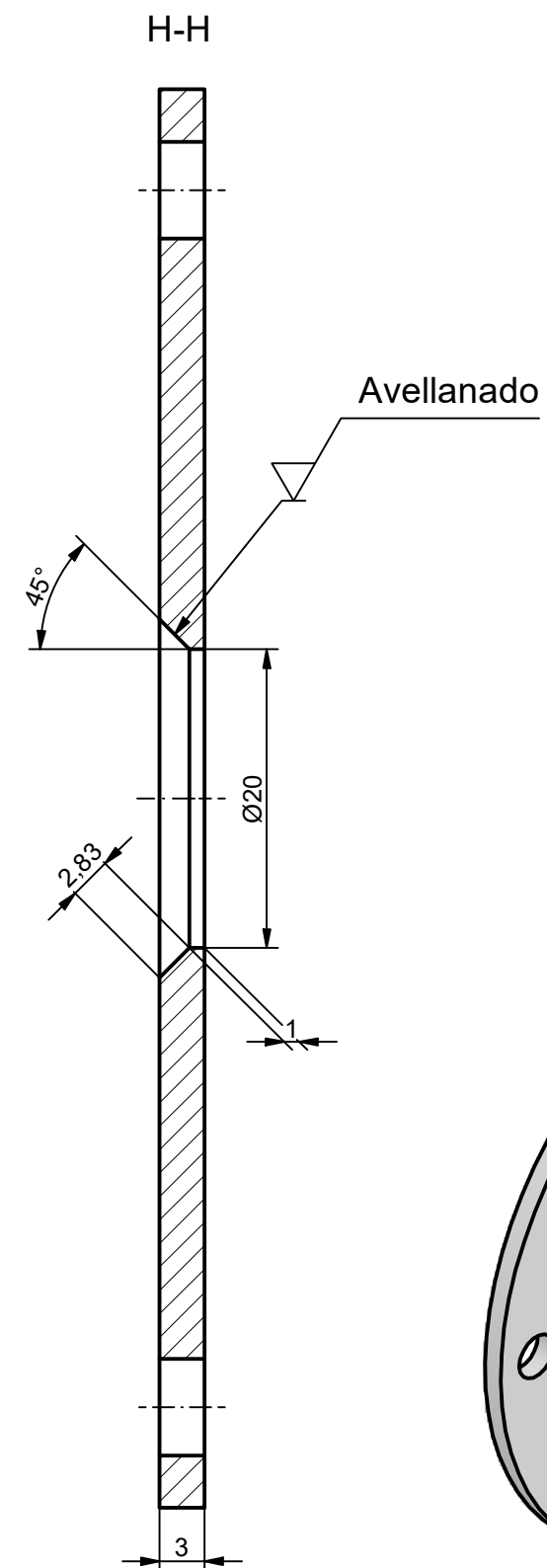
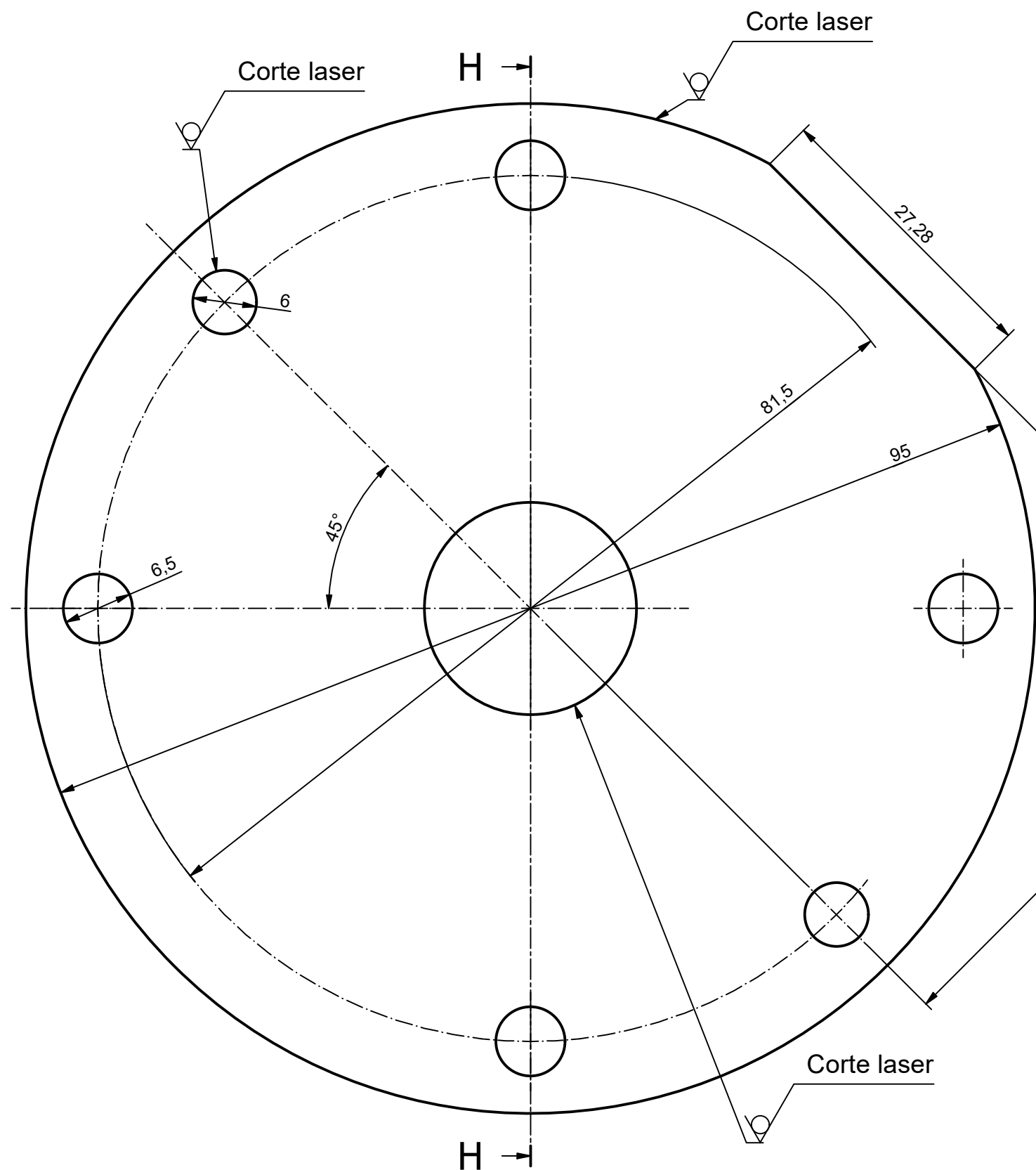
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN	
DIBUJADO	17/04/2024	D. Redecillas			
COMPROBADO					
C. CALIDAD					
ESCALA	DESIGNACIÓN				Nº DE PLANO
2:1 A3	Tubo metacrilato 40x32x110				4/50
					SUSTITUYE A
					SUSTITUIDO POR



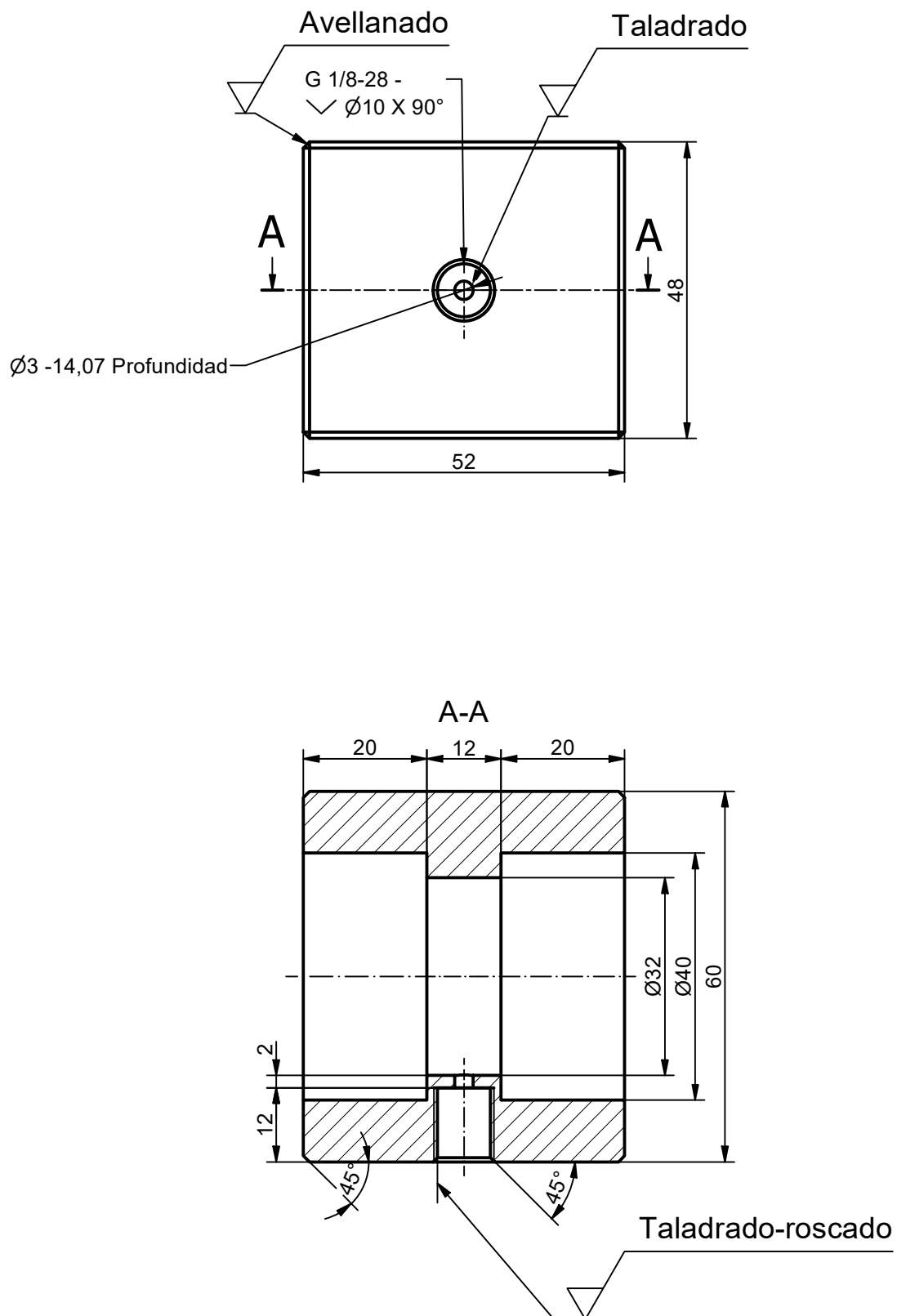
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN	
DIBUJADO	20/04/2024	D. Redecillas			
COMPROBADO					
C. CALIDAD					
ESCALA	DESIGNACIÓN			Nº DE PLANO	
1:1 A2	Bridas Diabragma			5/50	
				SUSTITUYE A	
				SUSTITUIDO POR	



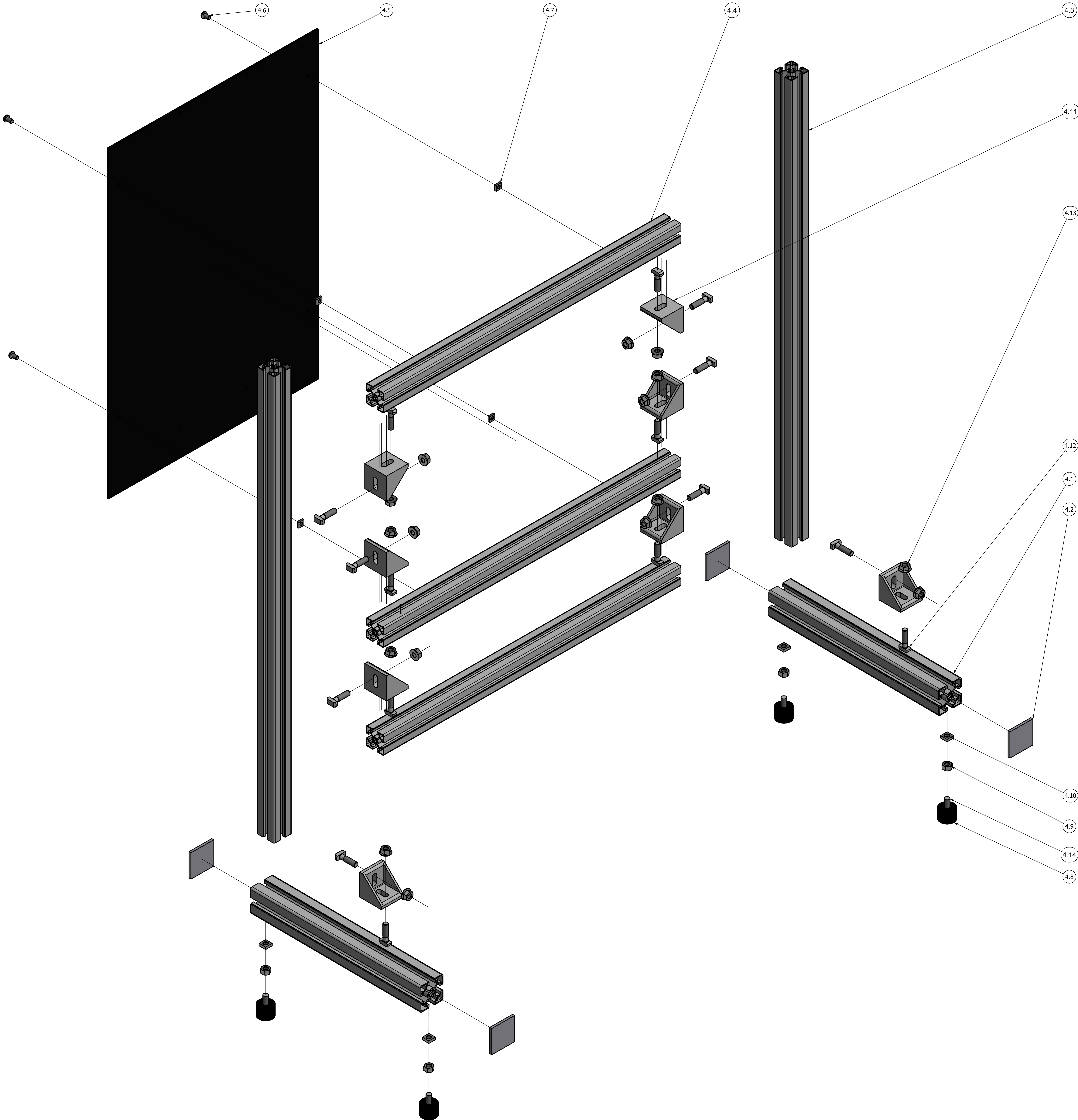
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN	
DIBUJADO	21/03/2024	D. Redecillas			
COMPROBADO					
C. CALIDAD					
ESCALA	DESIGNACIÓN				Nº DE PLANO
5:1 A3	Junta tórica diafragma				6/50
				SUSTITUYE A	
				SUSTITUIDO POR	



	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN
DIBUJADO	10/04/2024	D. Redecillas		
COMPROBADO				
C. CALIDAD				
ESCALA	DESIGNACIÓN			Nº DE PLANO
2:1 A3	Placa con orificio			7/50
				SUSTITUYE A
				SUSTITUIDO POR

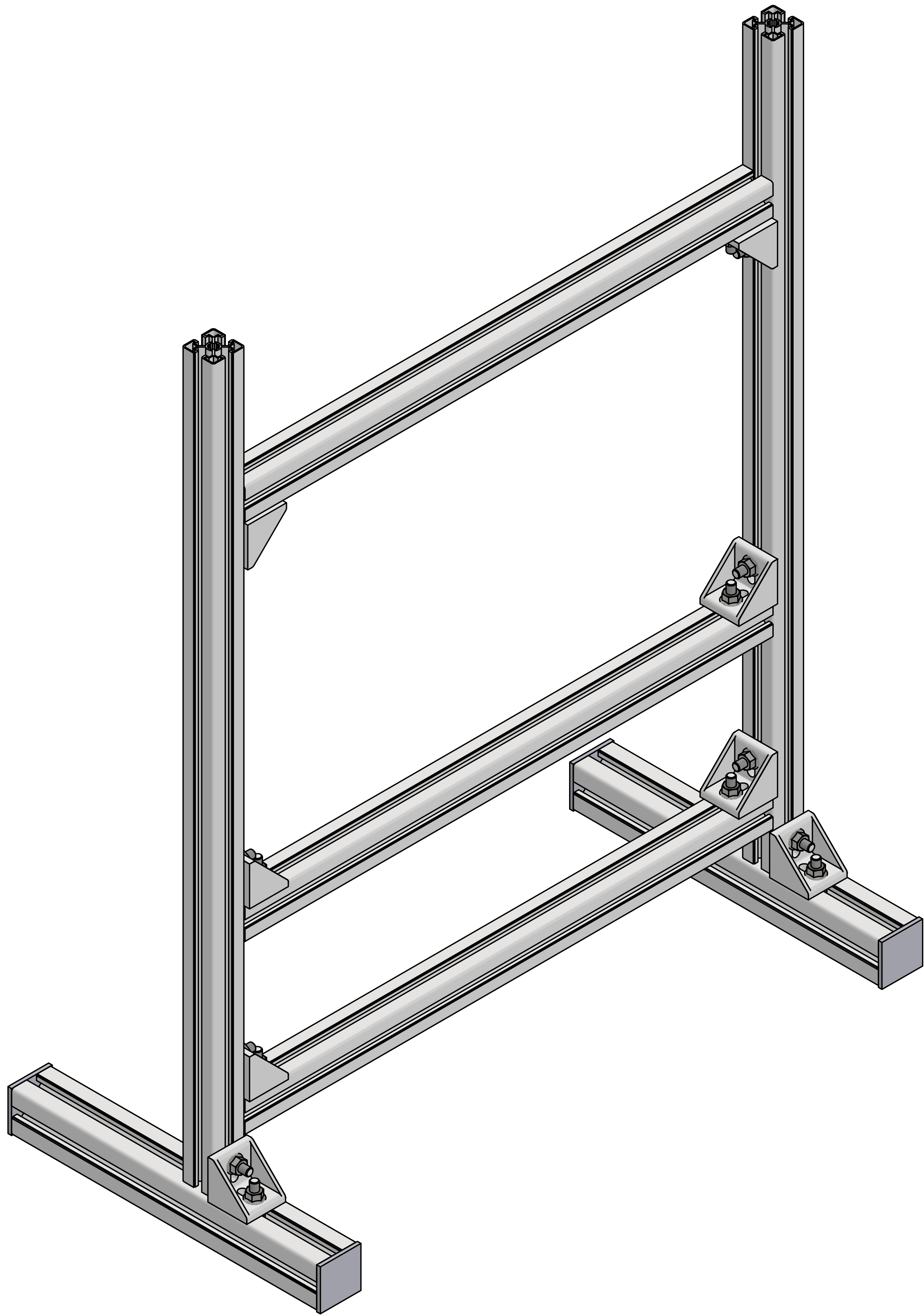
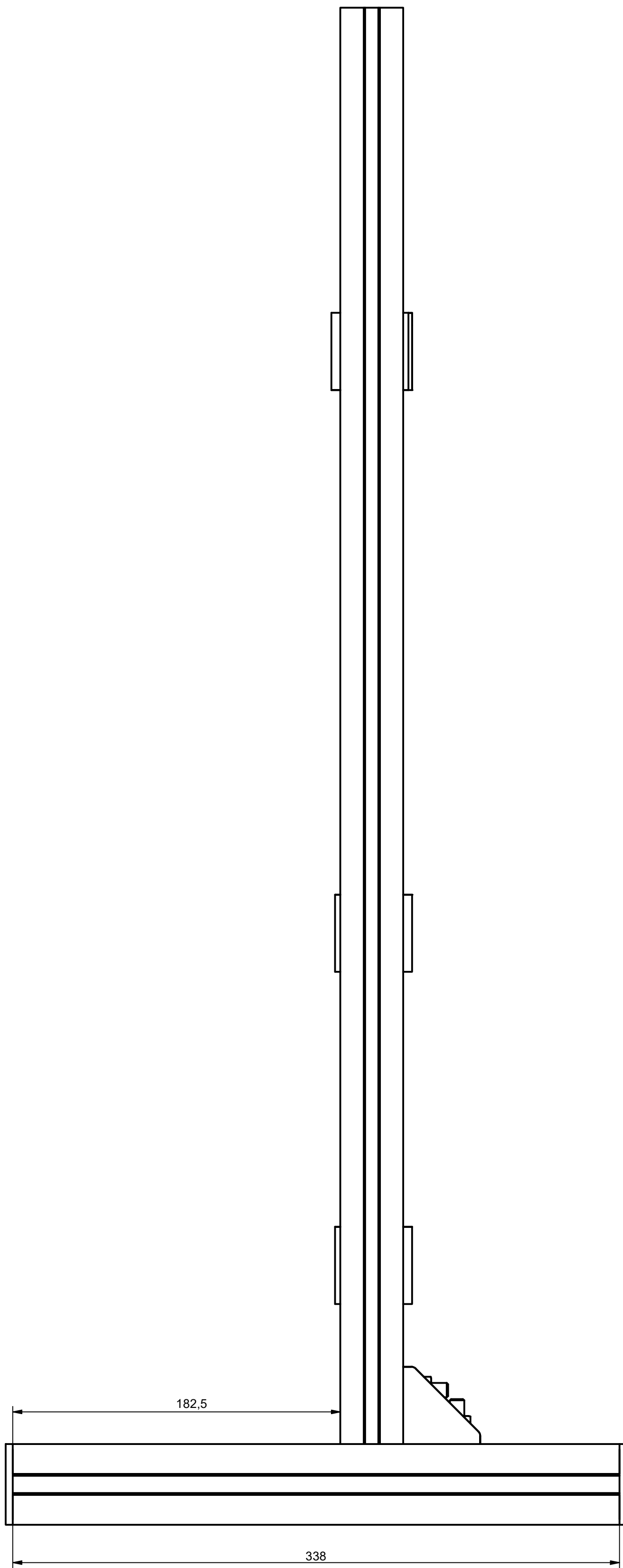
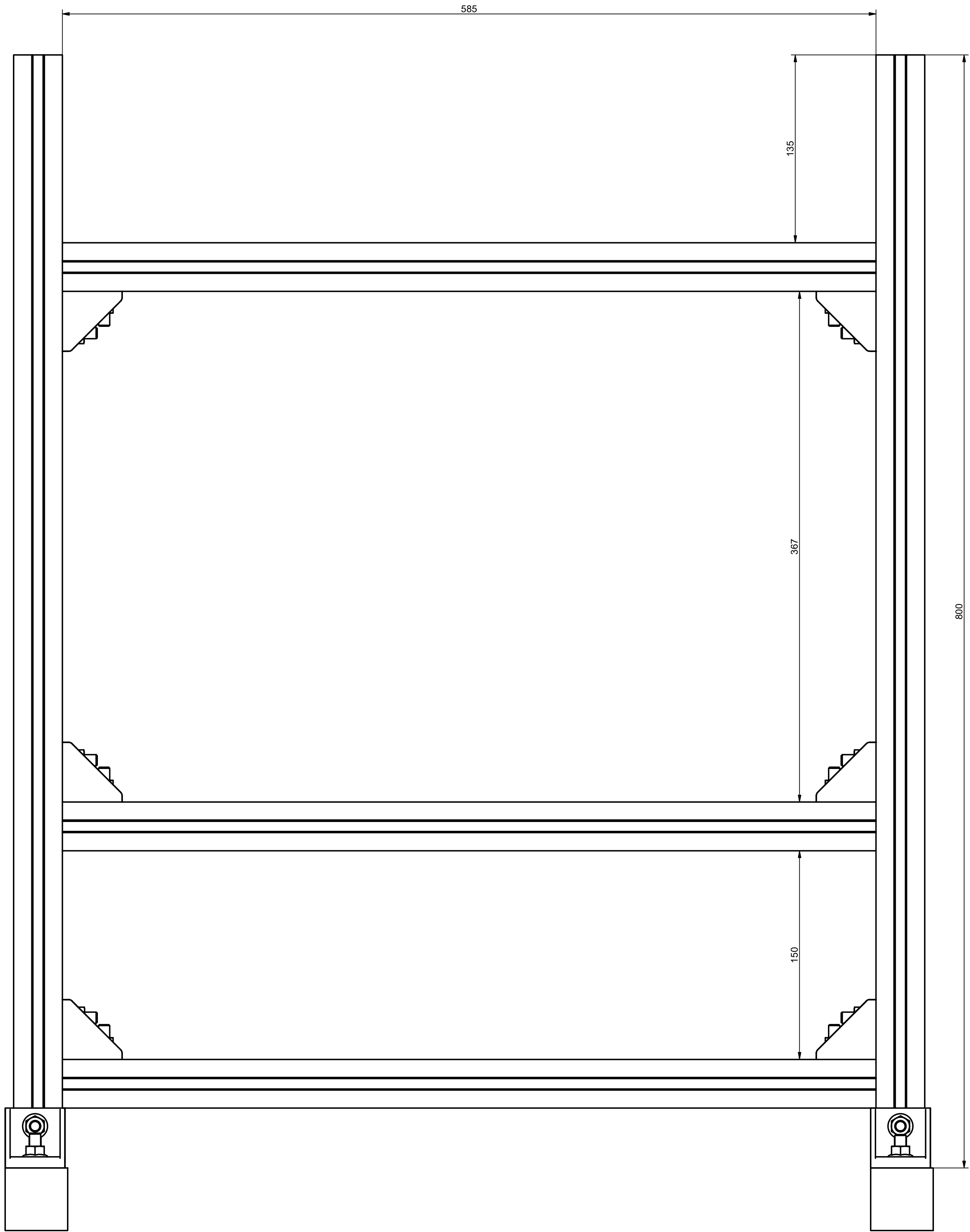


	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN	
DIBUJADO	23/05/2024	D.Redecillas			
COMPROBADO					
C. CALIDAD					
ESCALA	DESIGNACIÓN Placa-orificio toma 3				Nº DE PLANO
1:1					8/50
A4					SUSTITUYE A
					SUSTITUIDO POR

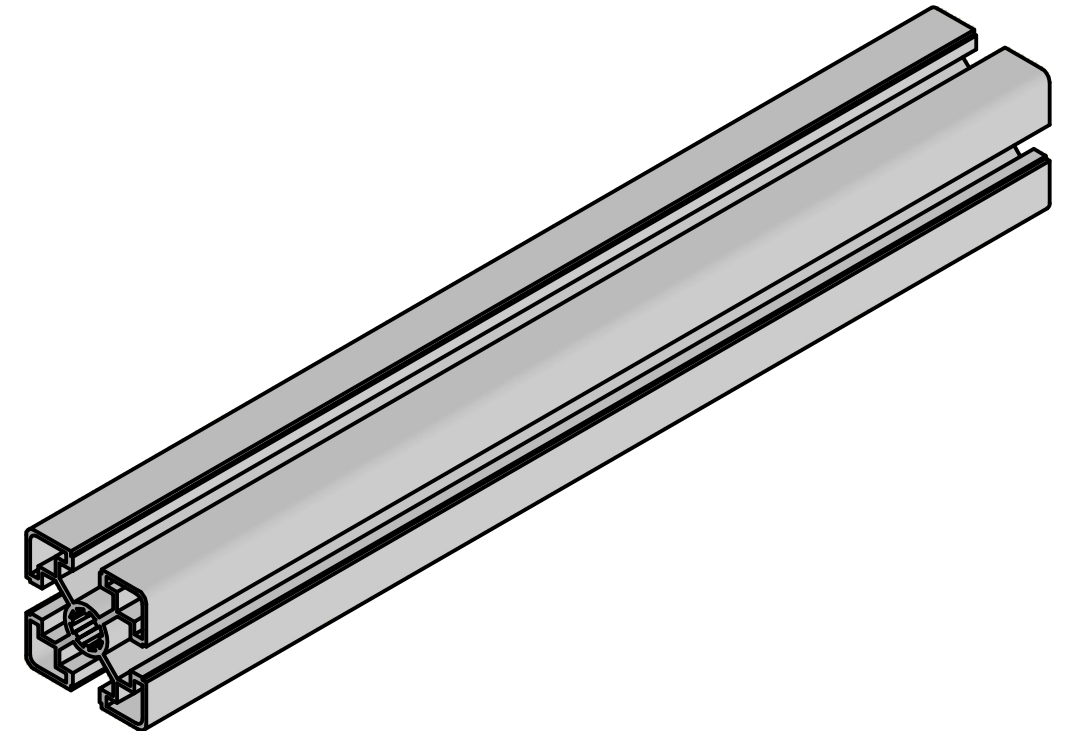
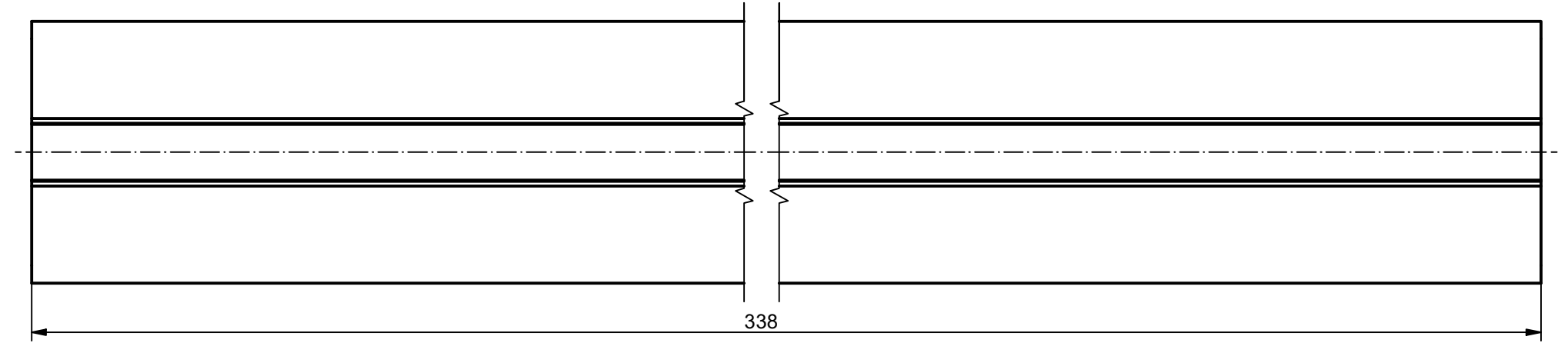
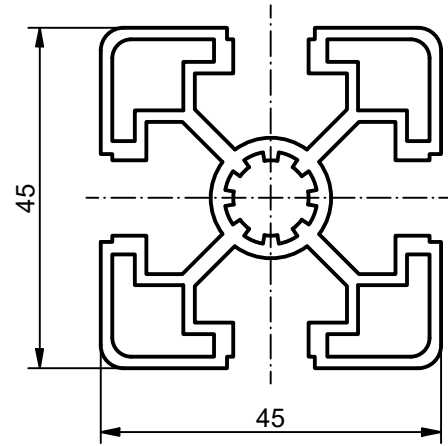


PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
4.1	2	PERFIL_BOSCH_45x45 338mm	
4.2	4	Tapas para perfiles Bosch 45x45	
4.3	2	PERFIL_BOSCH_45x45 800mm	
4.4	3	PERFIL_BOSCH_35x35 585mm	
4.5	1	Plancha de madera	
4.6	4	BS 4168 - M6 x 10	Hexagon socket countersunk and button head screws - Metric series
4.7	4	AS 1474 - M6	Square Nut
4.8	4	patas.Taco	
4.9	4	ANSI B18.2.4.2M - M8x1,25	Metric Hex Nuts Styles 2
4.10	4	AS 1474 - M8	Square Nut
4.11	8	Escuadras perfiles Bosch	
4.12	16	tornillo_din_261-m8x30	
4.13	16	DIN EN 1661 - M8	Hex Nut
4.14	4	AS 1420 - 1973 - M8 x 50	

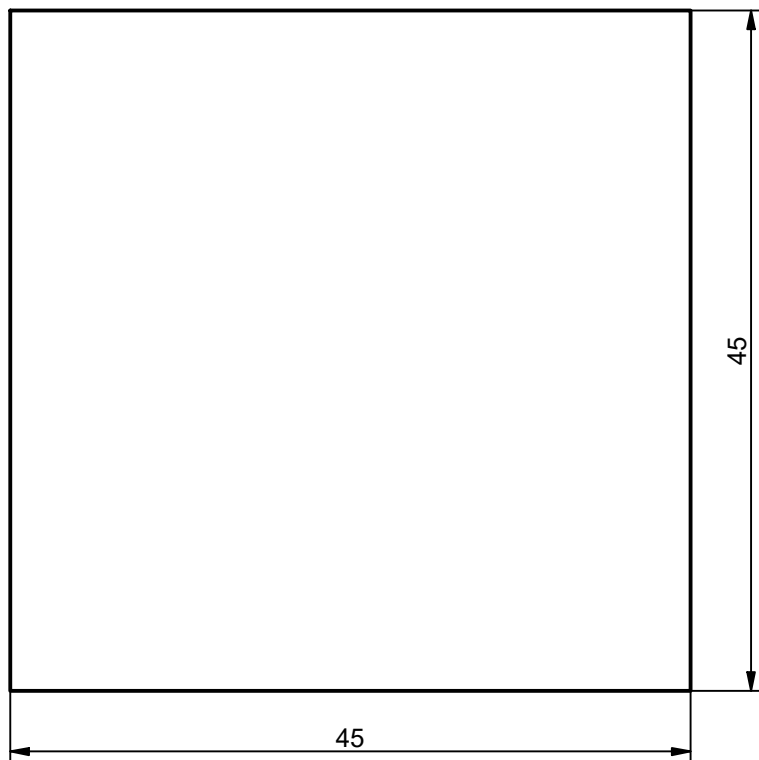
DIBUJADO	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	
COMPROBADO	24/04/2024	D. Redecillas		
C. CALIDAD				
ESCALA	DESIGNACIÓN	Nº DE PLANO		
1:2		Bastidor		9/50
A0				SUSTITUYE A
				SUSTITUIDO POR



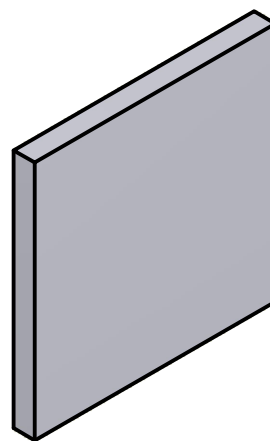
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES Universidad de Jaén
DIBUJADO	13/03/2024	D. Redecillas		
COMPROBADO				
C. CALIDAD				
ESCALA	DESIGNACIÓN			Nº DE PLANO
1:2 A0	Chasis de aluminio			10/50
				SUSTITUYE A
				SUSTITUIDO POR



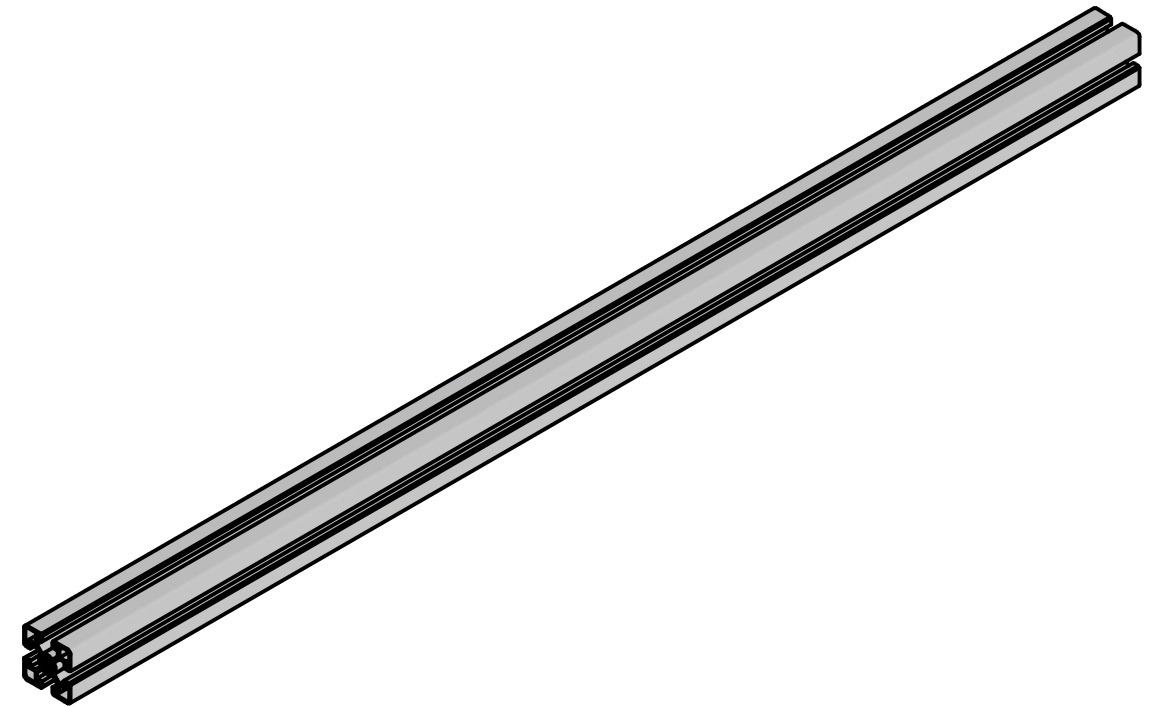
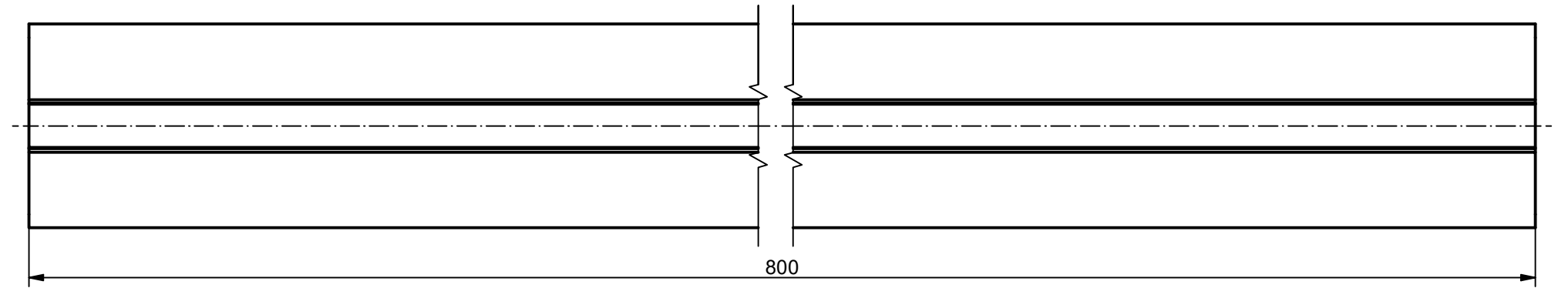
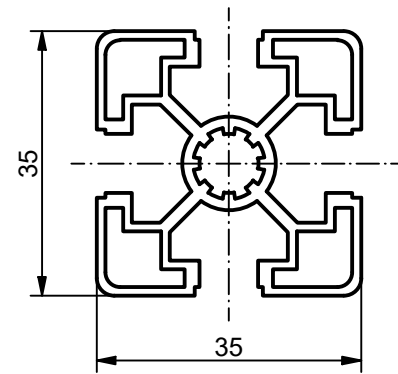
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN
DIBUJADO	23/03/2024	D.Redecillas		
COMPROBADO				
C. CALIDAD				
ESCALA	DESIGNACIÓN			Nº DE PLANO
1:1 A3	Perfil Bosch 45x45x338			11/50
				SUSTITUYE A
				SUSTITUIDO POR



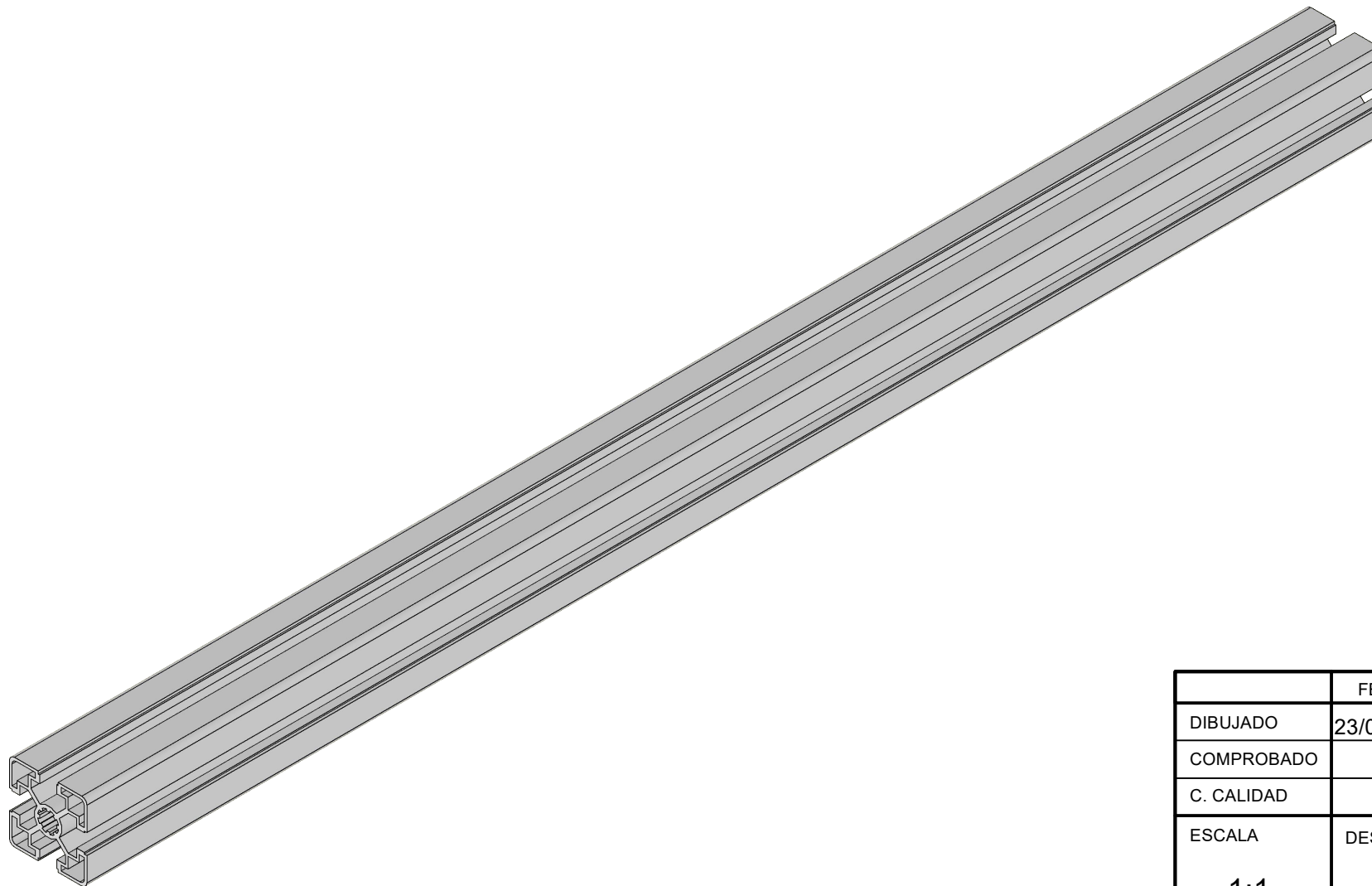
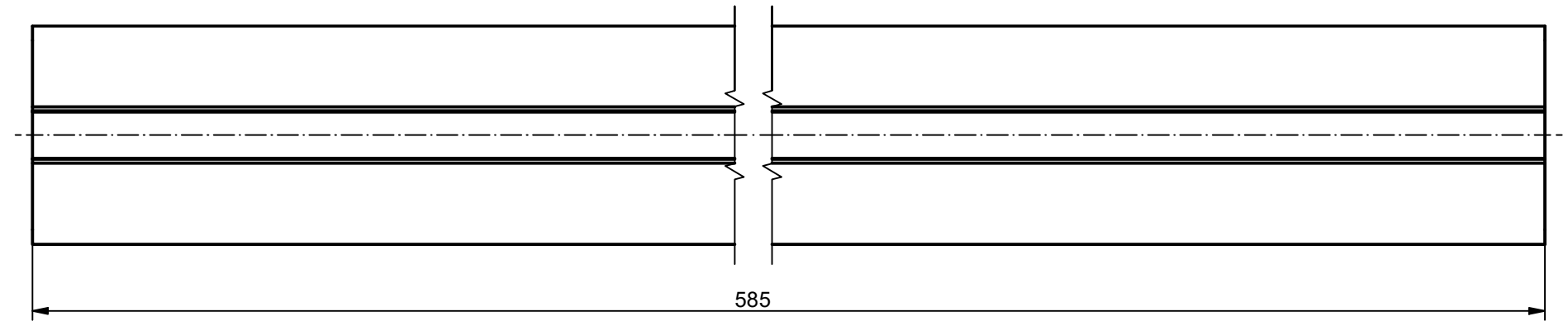
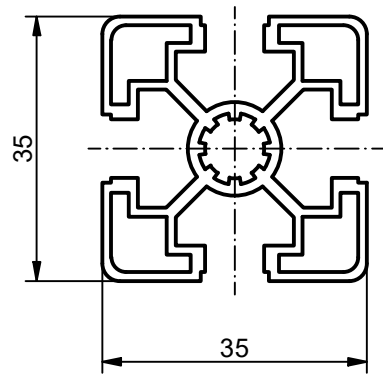
Espesor 4 mm



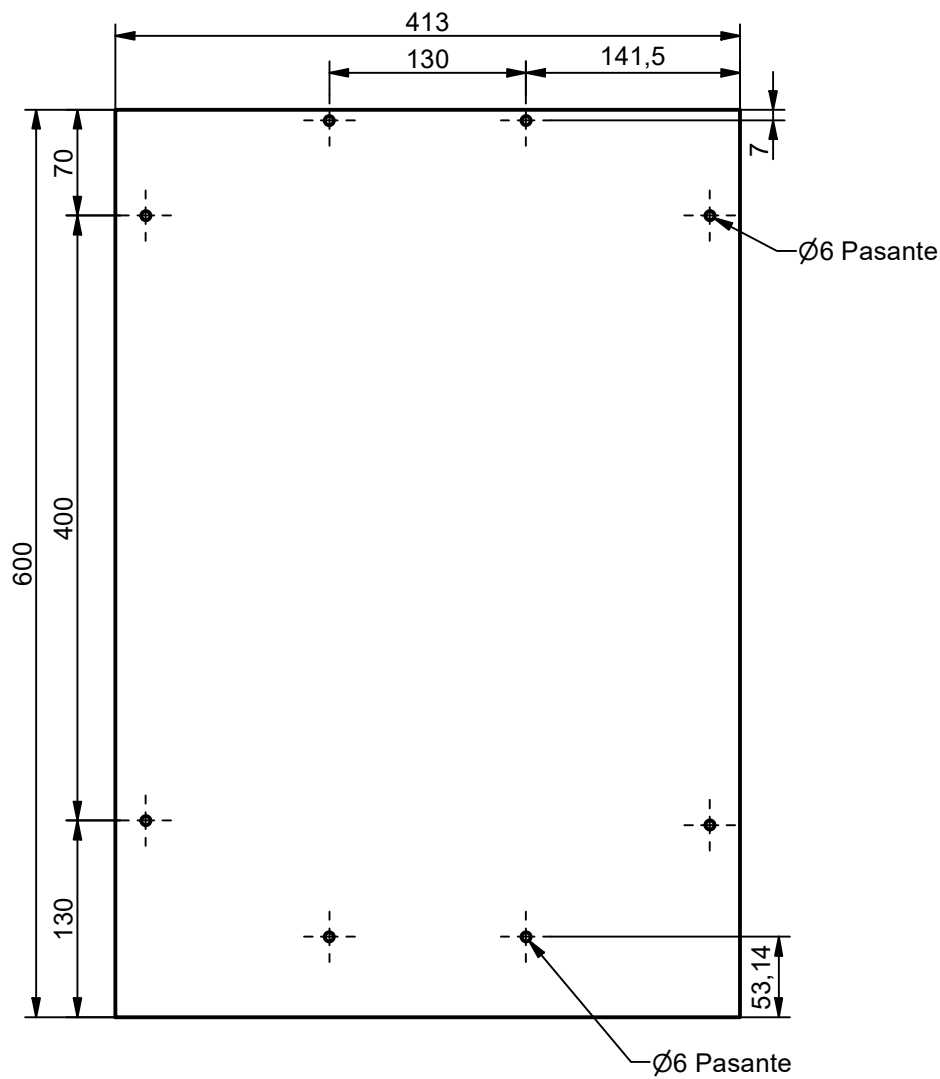
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN	
DIBUJADO	21/04/2024	D. Redecillas			
COMPROBADO					
C. CALIDAD					
ESCALA	DESIGNACIÓN				Nº DE PLANO
2:1 A4	Tapas de perfiles bosch 45x45				12/50
					SUSTITUYE A
					SUSTITUIDO POR



	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN	
DIBUJADO	23/03/2024	D. Redecillas			
COMPROBADO					
C. CALIDAD					
ESCALA	DESIGNACIÓN			Nº DE PLANO	
1:1 A3	Perfil Bosch 35x35x800			13/50	
				SUSTITUYE A	
				SUSTITUIDO POR	



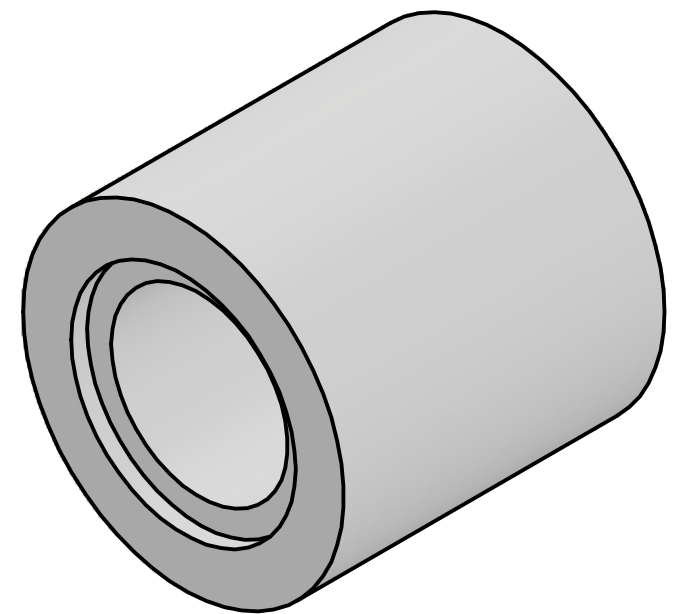
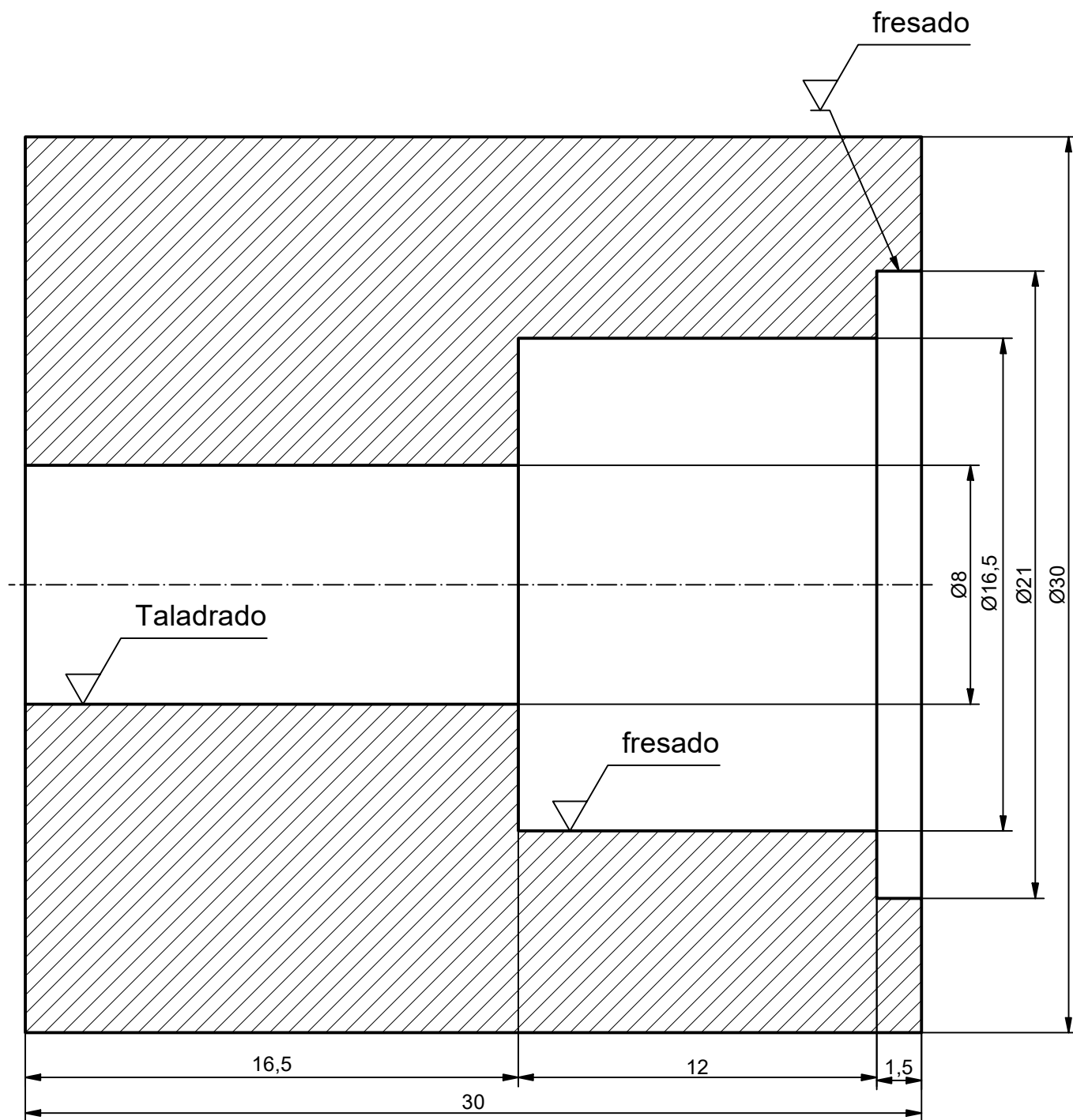
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN
DIBUJADO	23/03/2024	D. Redecillas		
COMPROBADO				
C. CALIDAD				
ESCALA	DESIGNACIÓN			Nº DE PLANO
1:1 A3	Perfil Bosch 35x35x585			14/50
				SUSTITUYE A
				SUSTITUIDO POR



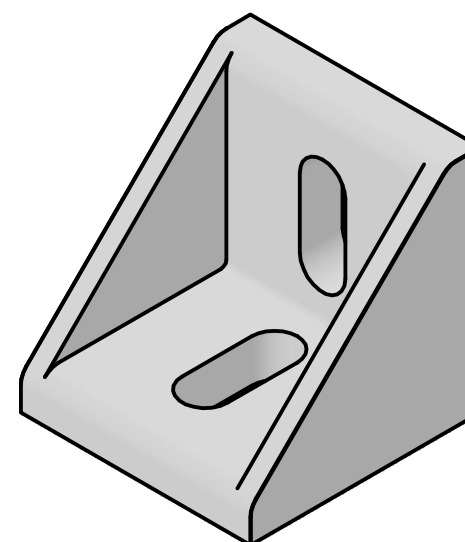
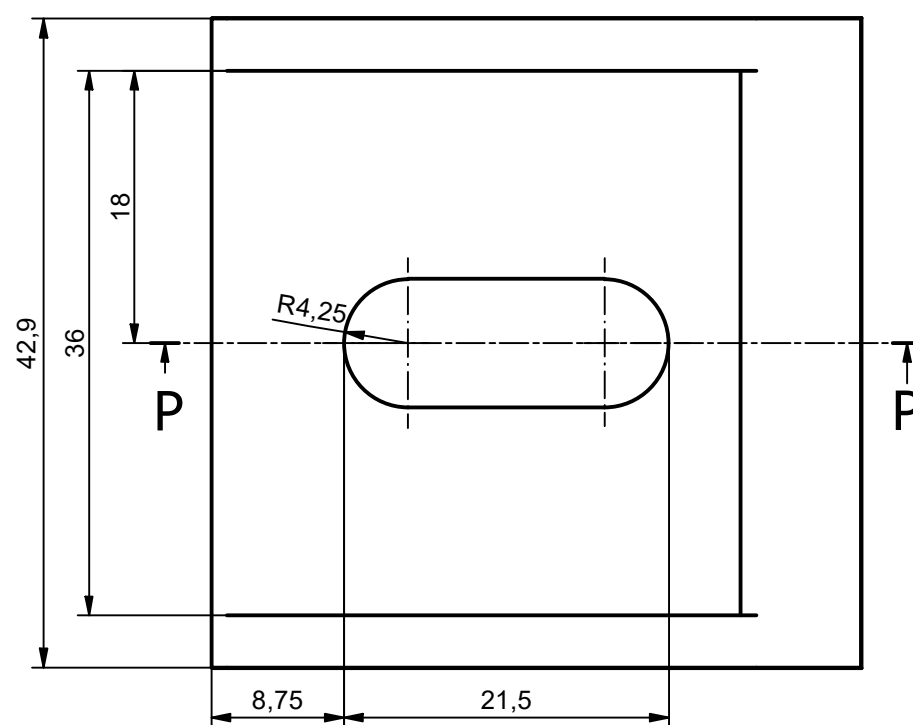
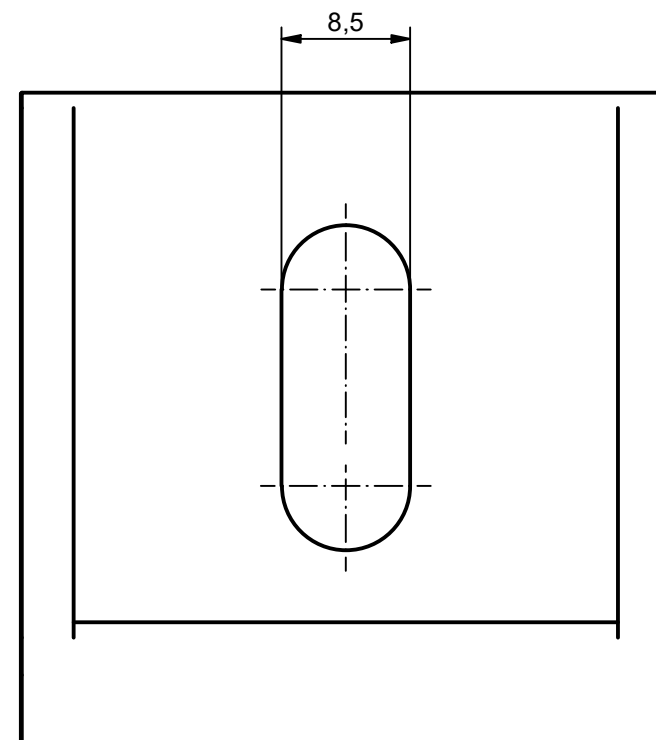
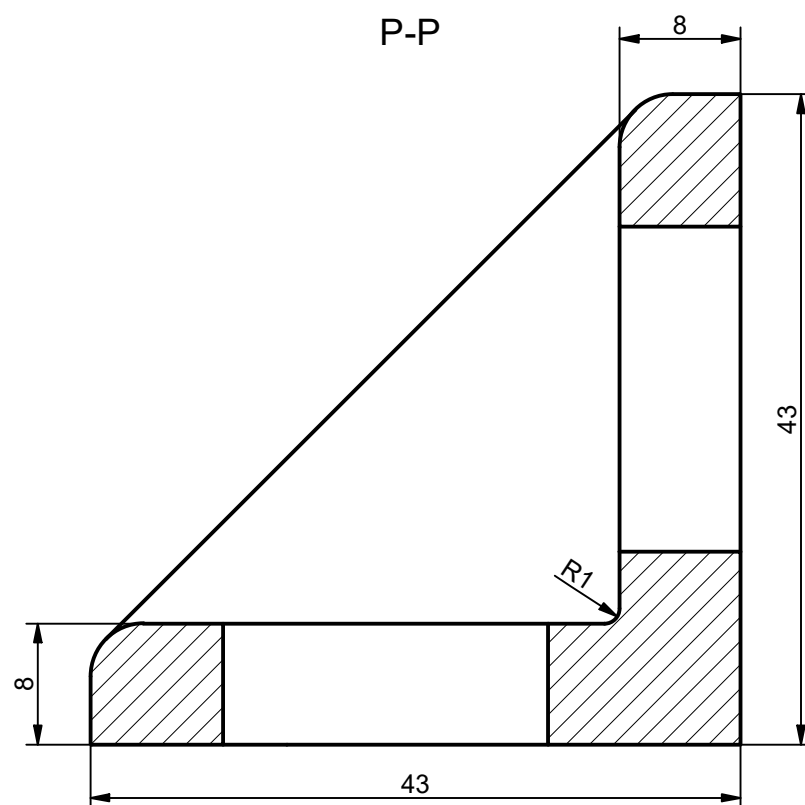
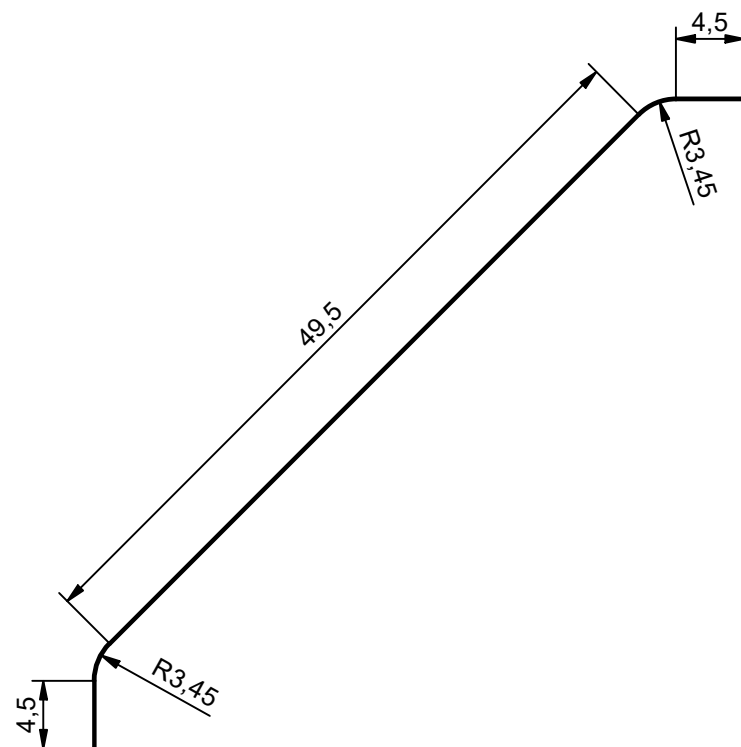
Espesor 3 mm



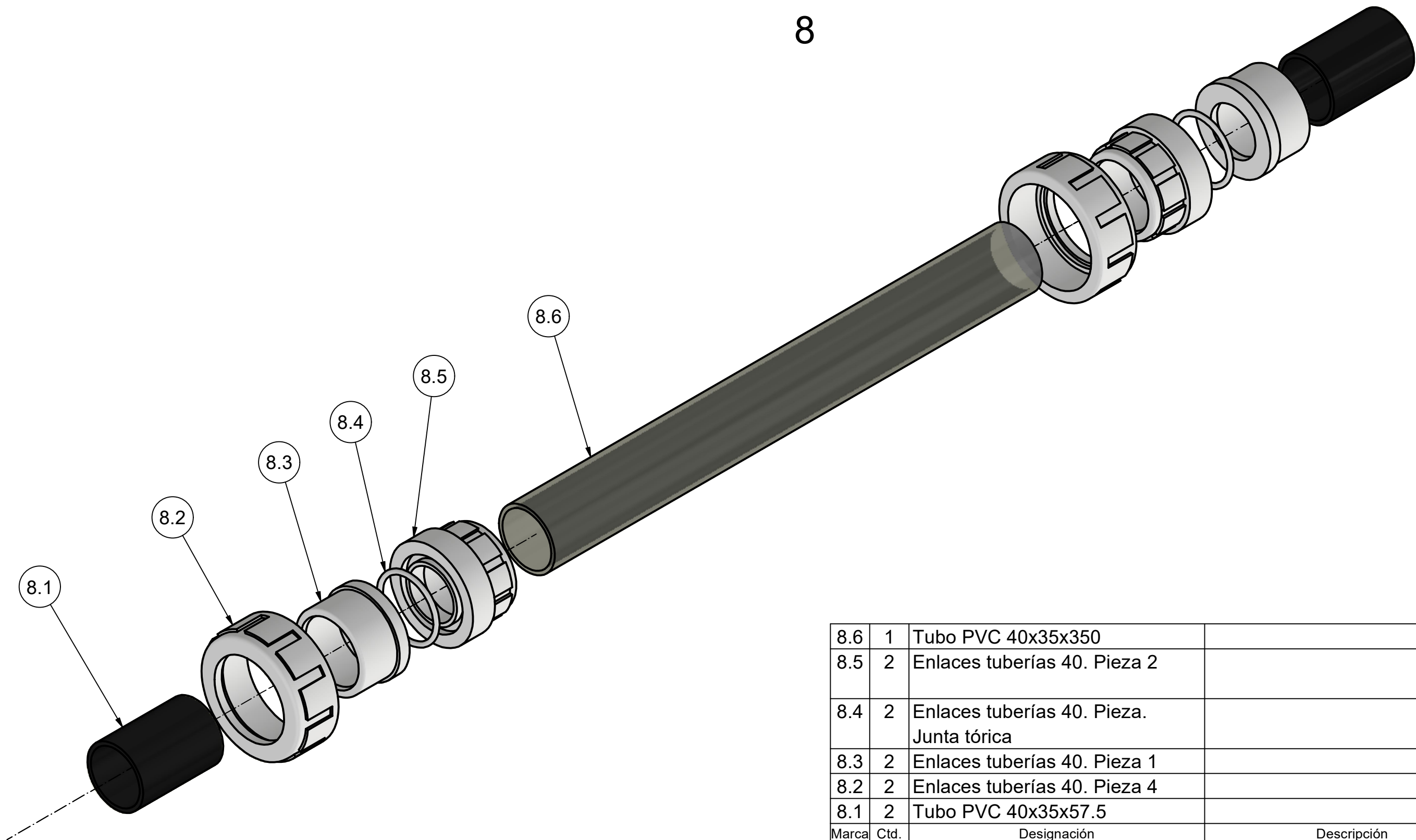
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN
DIBUJADO	26/03/2024	D. Redecillas		
COMPROBADO				
C. CALIDAD				
ESCALA	DESIGNACIÓN Plancha de madera			Nº DE PLANO
1:5 A4				15/50
				SUSTITUYE A
				SUSTITUIDO POR



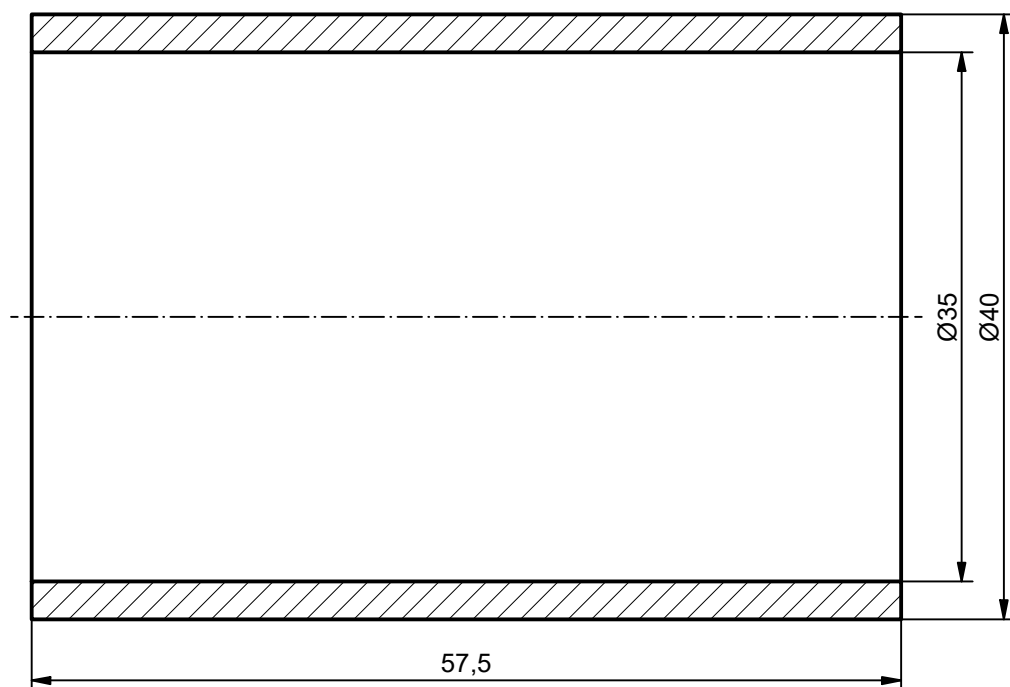
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN
DIBUJADO	23/04/2024	D.Redecillas		
COMPROBADO				
C. CALIDAD				
ESCALA	DESIGNACIÓN			Nº DE PLANO
5:1 A3	Patatas. Taco			16/50
				SUSTITUYE A
				SUSTITUIDO POR



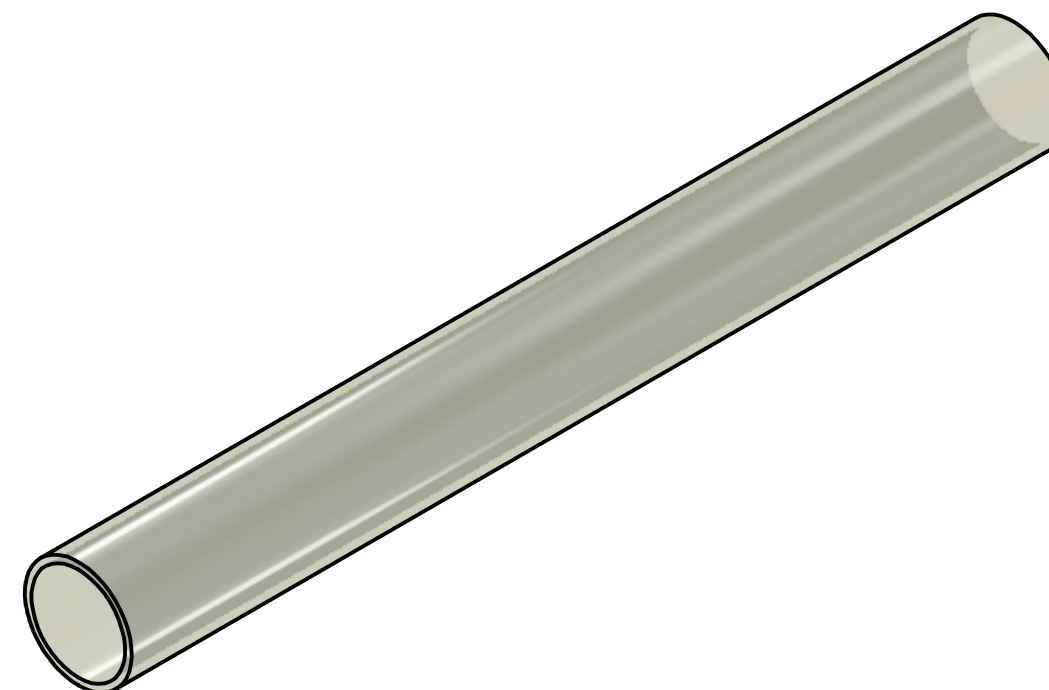
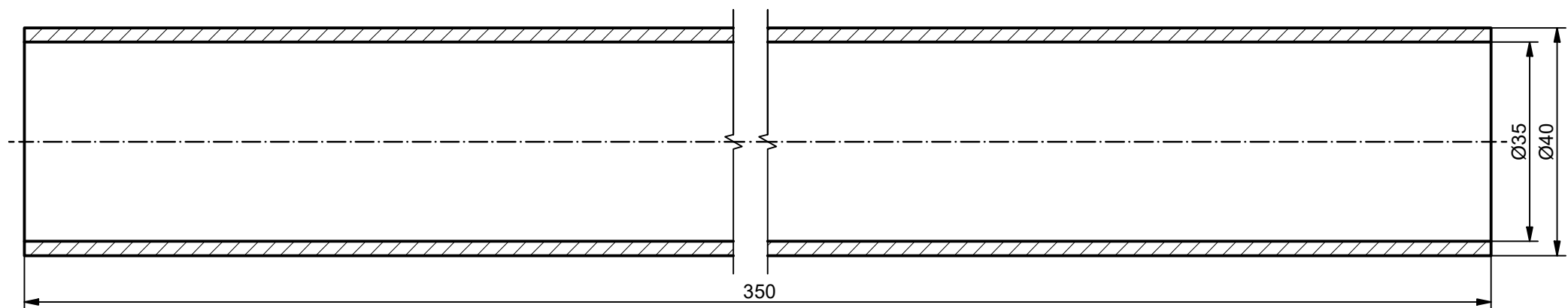
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN	
DIBUJADO	21/04/2024	D. Redecillas			
COMPROBADO					
C. CALIDAD					
ESCALA	DESIGNACIÓN			Nº DE PLANO	
2:1 A3	Escuadras perfiles Bosch			17/50	
				SUSTITUYE A	
				SUSTITUIDO POR	



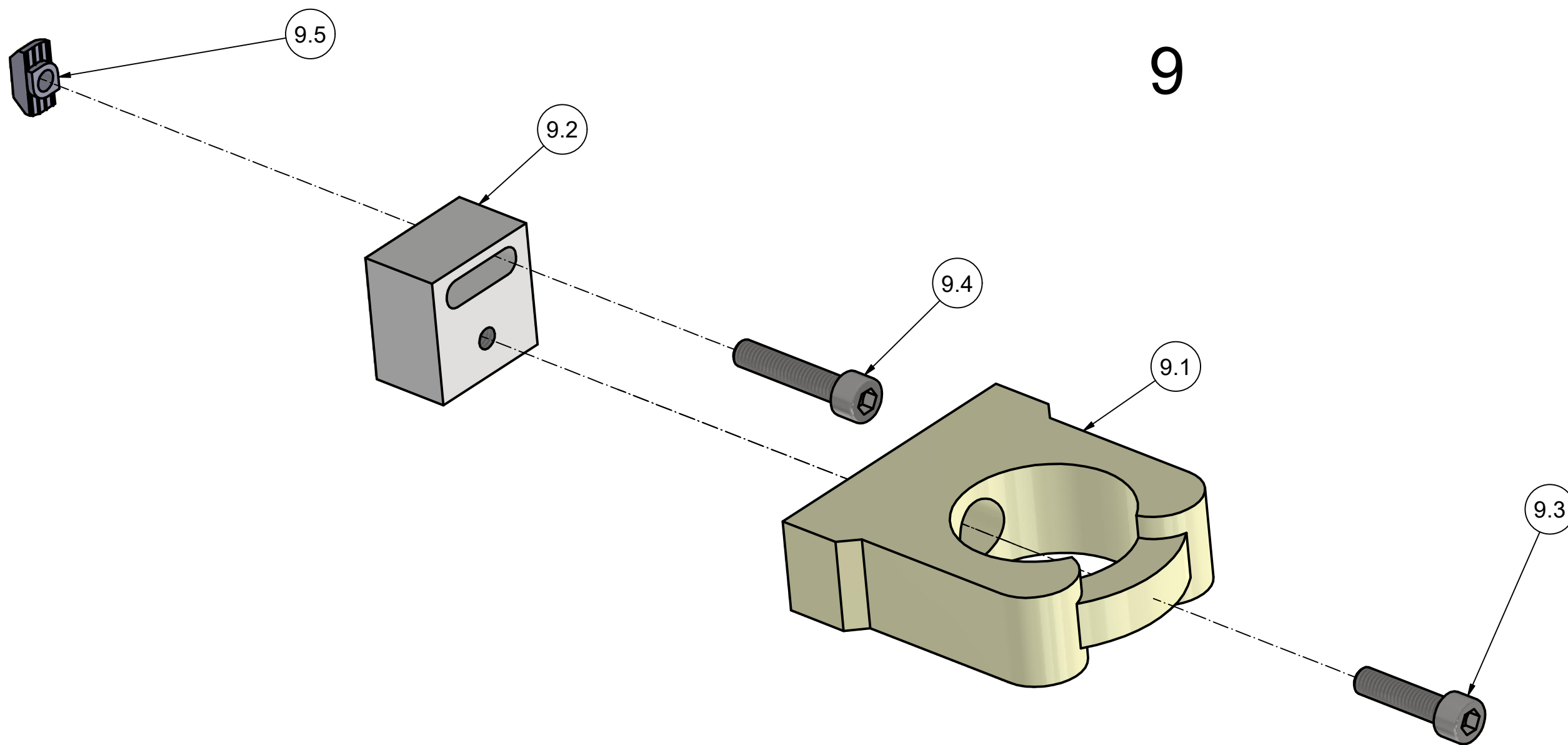
8.6	1	Tubo PVC 40x35x350	
8.5	2	Enlaces tuberías 40. Pieza 2	
8.4	2	Enlaces tuberías 40. Pieza. Junta tórica	
8.3	2	Enlaces tuberías 40. Pieza 1	
8.2	2	Enlaces tuberías 40. Pieza 4	
8.1	2	Tubo PVC 40x35x57.5	
Marca	Ctd.	Designación	Descripción
		FECHA	NOMBRE
DIBUJADO		24/04/2024	D. Redecillas
COMPROBADO			
C. CALIDAD			
		FIRMAS	
		 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN	
ESCALA		DESIGNACIÓN	
1:2 A3		Tubería vertical de subida	
		Nº DE PLANO	
		18/50	
		SUSTITUYE A	
		SUSTITUIDO POR	



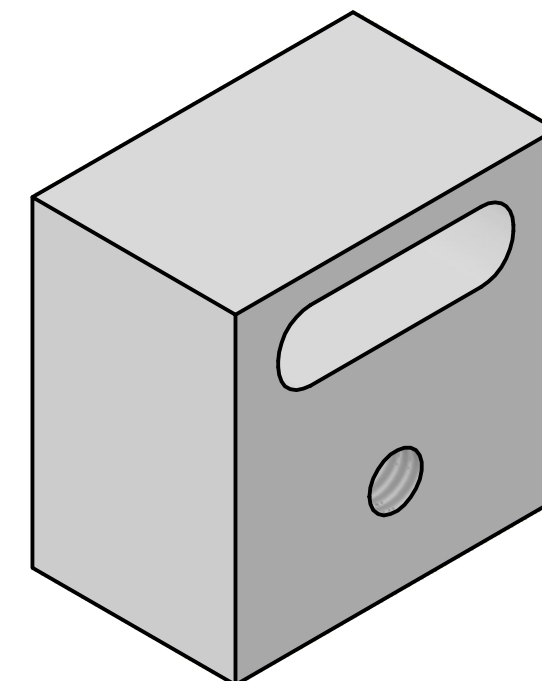
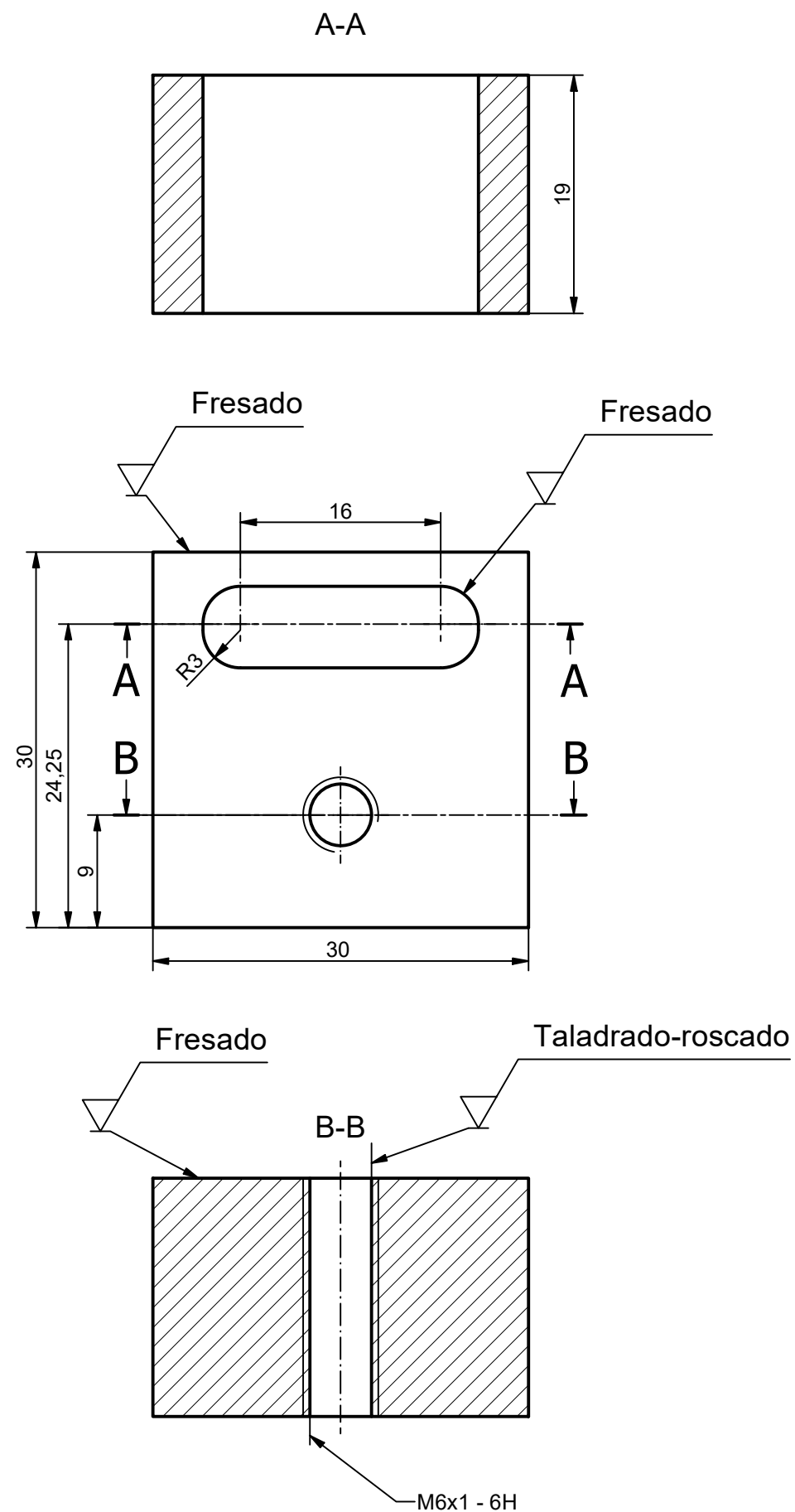
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN
DIBUJADO	24/04/2024	D. Redecillas		
COMPROBADO				
C. CALIDAD				
ESCALA	DESIGNACIÓN Tubo PVC 40x35x57,5			Nº DE PLANO 19/50
2:1				SUSTITUYE A
A4				SUSTITUIDO POR



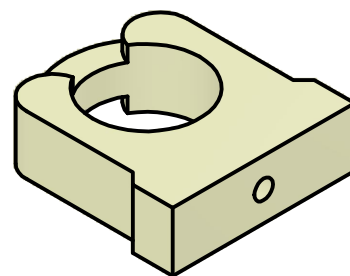
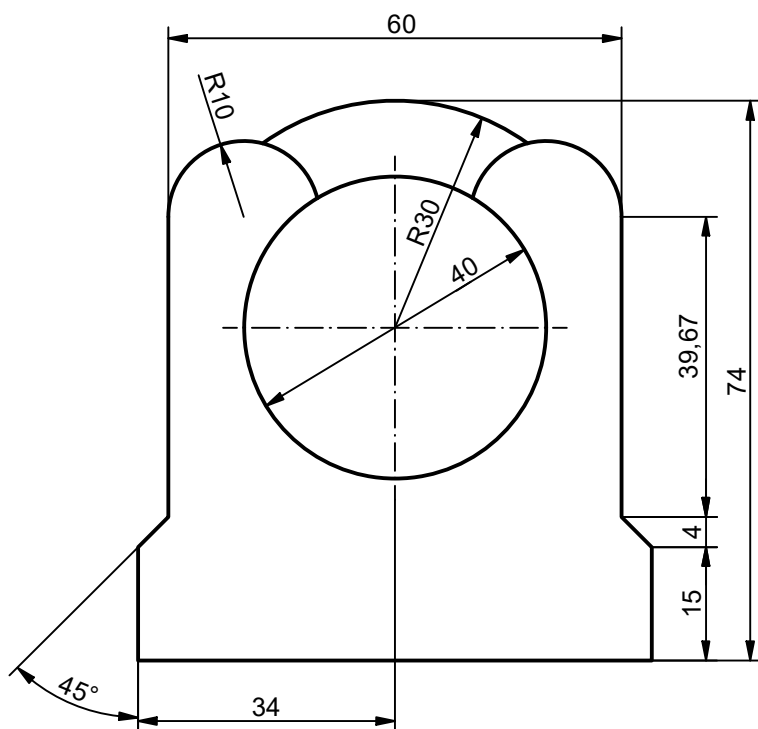
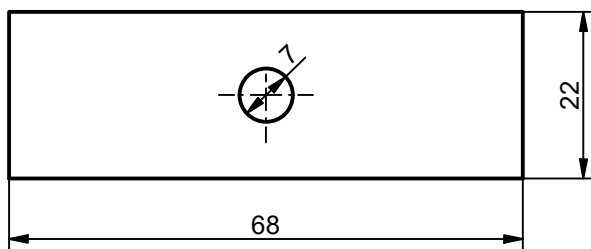
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN	
DIBUJADO	25/03/2024	D.Redecillas			
COMPROBADO					
C. CALIDAD					
ESCALA	DESIGNACIÓN				Nº DE PLANO
1:1 A3	Tubo PVC 40x35x350				20/50
				SUSTITUYE A	
				SUSTITUIDO POR	



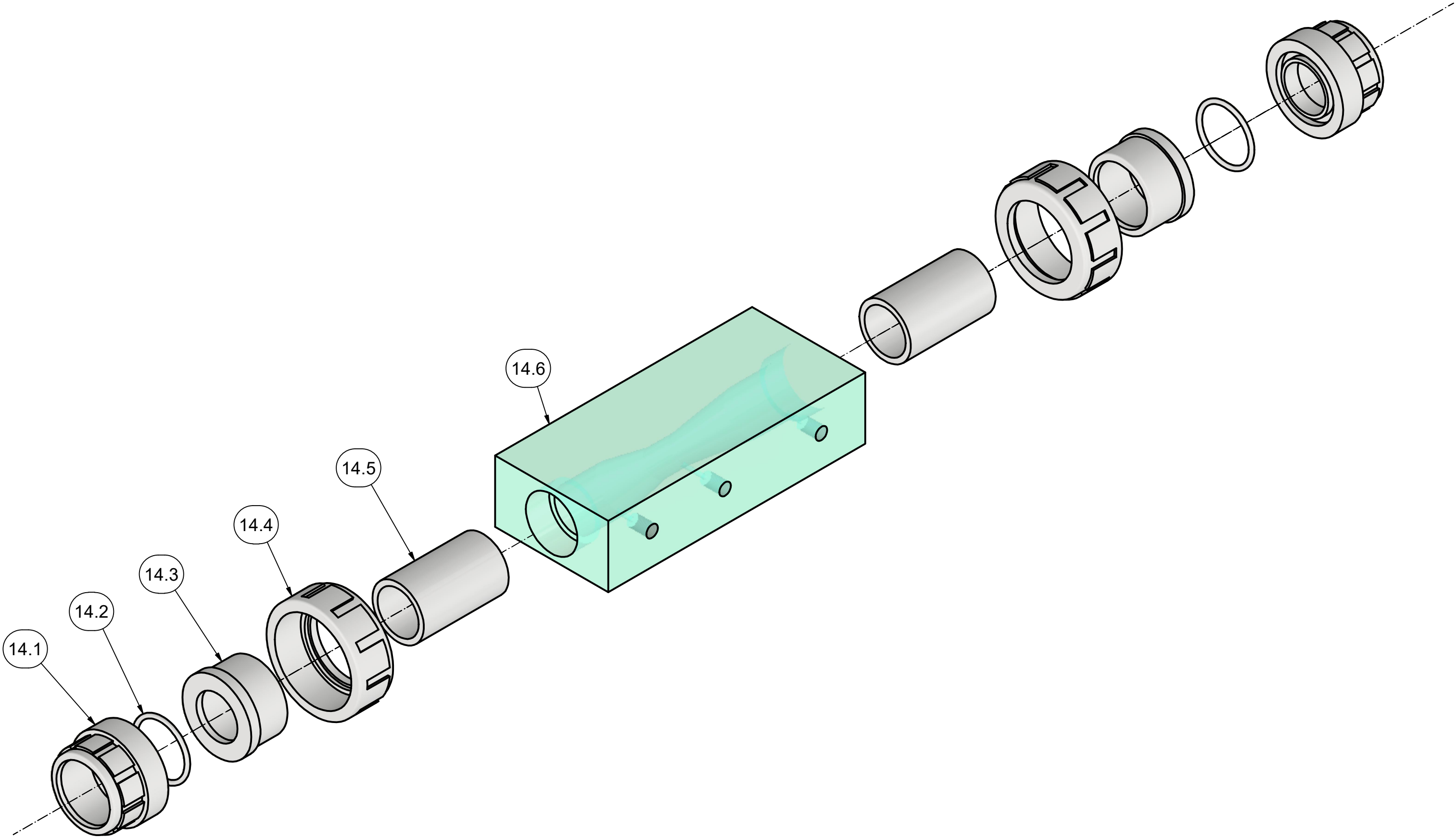
9.5	1	Tuercas de matrillo Bosch M6	
9.4	1	ANSI B18.3.1M - M6x1 x 30, BSHCSM	Broached Socket Head Cap Screw - Metric
9.3	1	ANSI B18.3.1M - M6x1 x 25, BSHCSM	Broached Socket Head Cap Screw - Metric
9.2	1	Abrazadera. Suplemento de separación	
9.1	1	Abrazadera para tubos de 40 mm	
Marca	Ctd.	Designación	Descripción
		FECHA	NOMBRE
DIBUJADO		08/05/2024	D.Redecillas
COMPROBADO			
C. CALIDAD			
		FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN
ESCALA		DESIGNACIÓN	
1:1 A3		Ensamblaje abrazaderas	
		Nº DE PLANO	
		21/50	
		SUSTITUYE A	
		SUSTITUIDO POR	



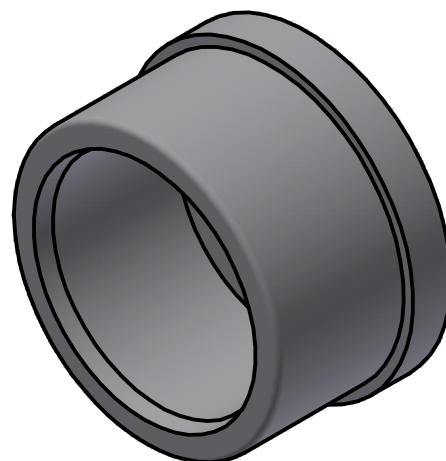
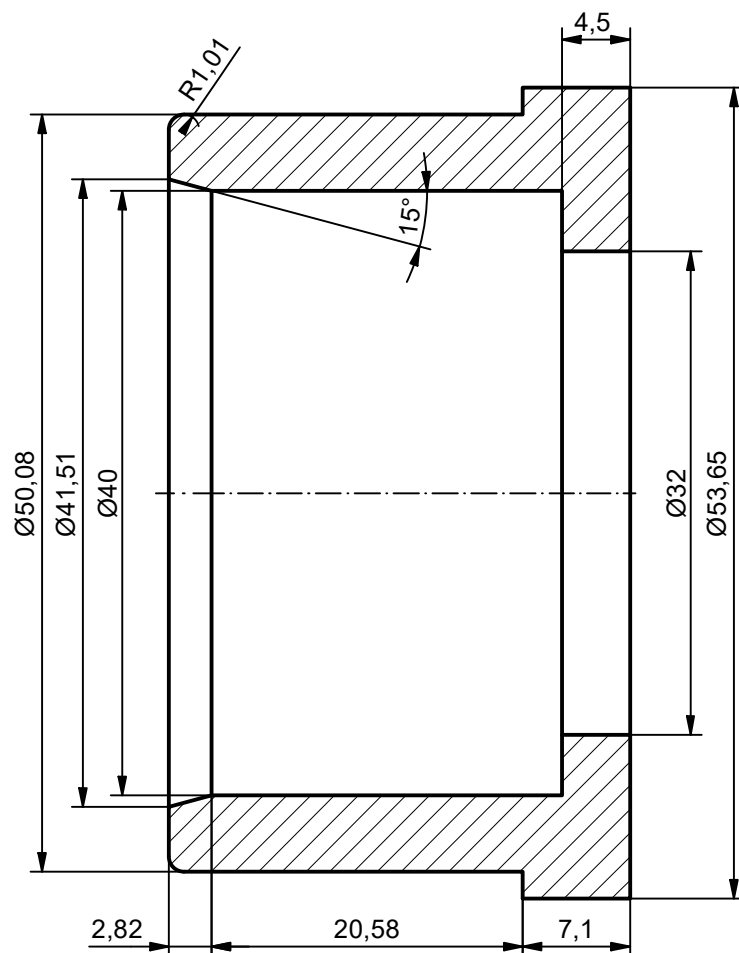
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN	
DIBUJADO	04/05/2024	D. Redecillas			
COMPROBADO					
C. CALIDAD					
ESCALA	DESIGNACIÓN			Nº DE PLANO	
2:1 A3	Abrazaderas. Suplemento de separación			22/50	
				SUSTITUYE A	
				SUSTITUIDO POR	



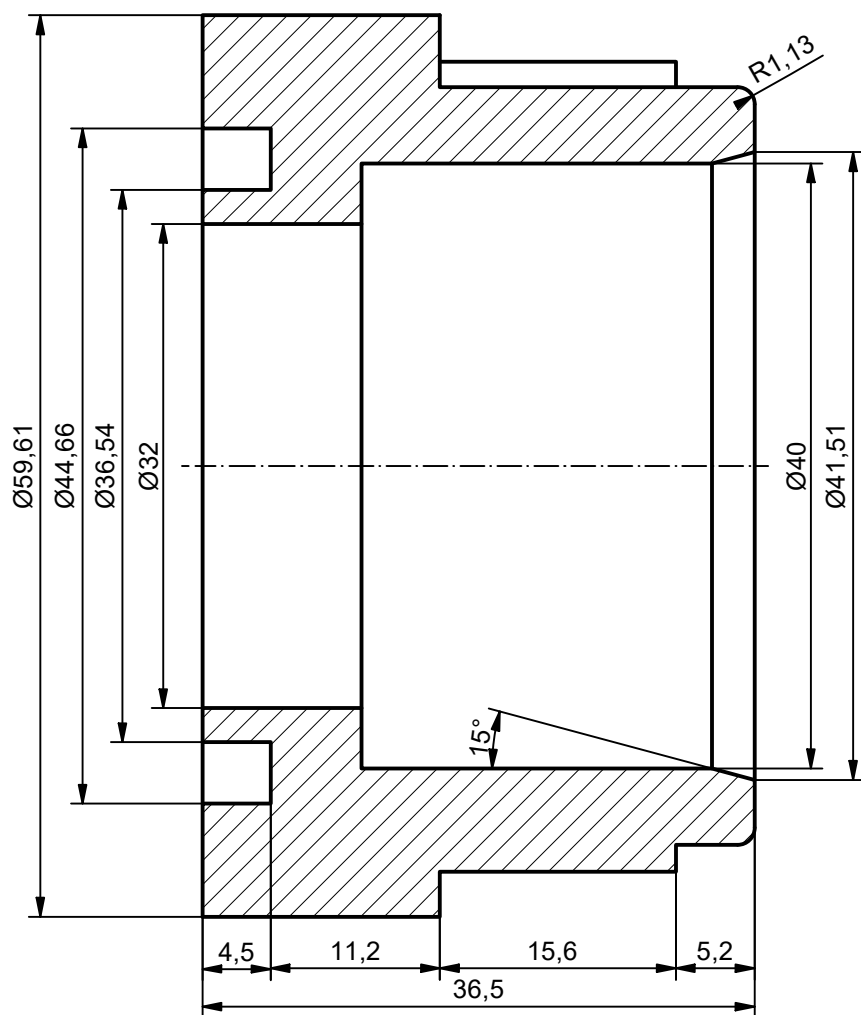
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN
DIBUJADO	26/03/2024	D.Redecillas		
COMPROBADO				
C. CALIDAD				
ESCALA	DESIGNACIÓN			Nº DE PLANO
1.1 A4	Abrzadera para tubos de 40mm			23/50
				SUSTITUYE A
				SUSTITUIDO POR



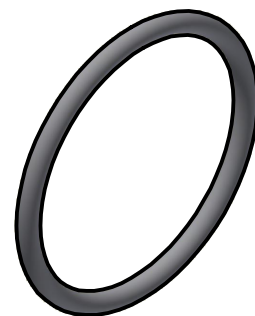
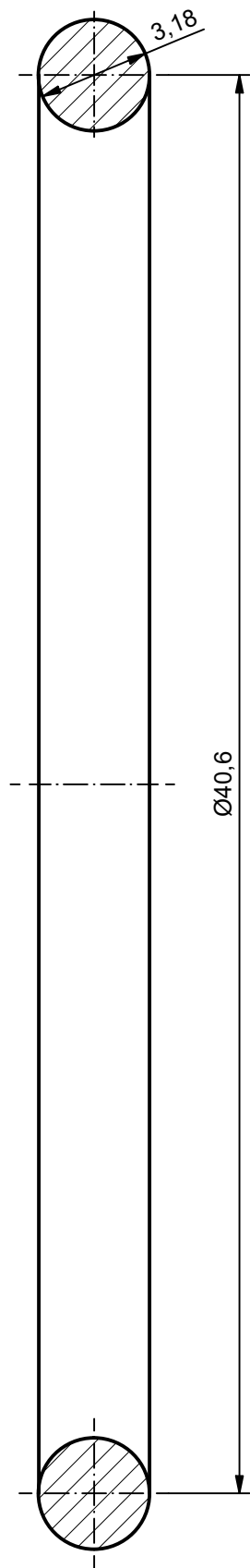
14.6	1	Tubo de Venturi		
14.5	2	Tubo metacrilato 40x32x66		
14.4	2	Enlaces tubería 40. Pieza 4		
14.3	2	Enlaces tubería 40. Pieza 1		
14.2	2	Enlaces tubería 40. Junta tórica		
14.1	2	Enlaces tubería 40. Pieza 2		
Marca	Ctd.	Designación		Descripción
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN
DIBUJADO	22/05/2024	D.Redecillas		
COMPROBADO				
C. CALIDAD				
ESCALA	DESIGNACIÓN			Nº DE PLANO
1.2 A2	Ensamblaje Venturi			24/50
				SUSTITUYE A
				SUSTITUIDO POR



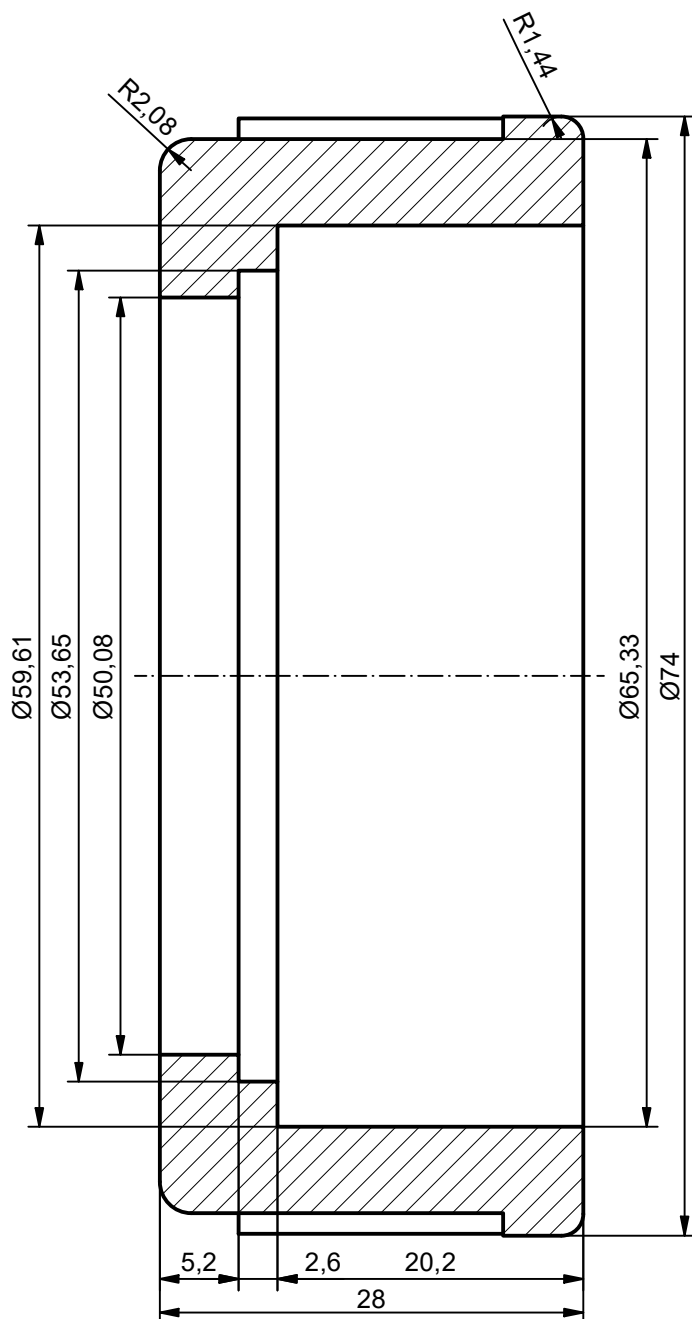
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN	
DIBUJADO	04/05/2024	D. Redecillas			
COMPROBADO					
C. CALIDAD					
ESCALA	DESIGNACIÓN				Nº DE PLANO
2.1 A4	Enlace tubería 40. Pieza 1				25/50
					SUSTITUYE A
					SUSTITUIDO POR



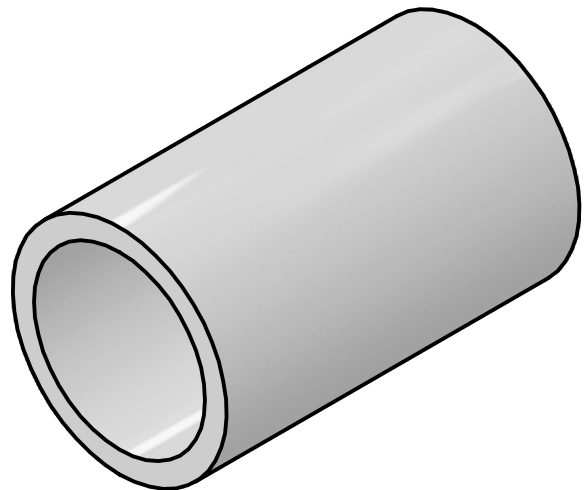
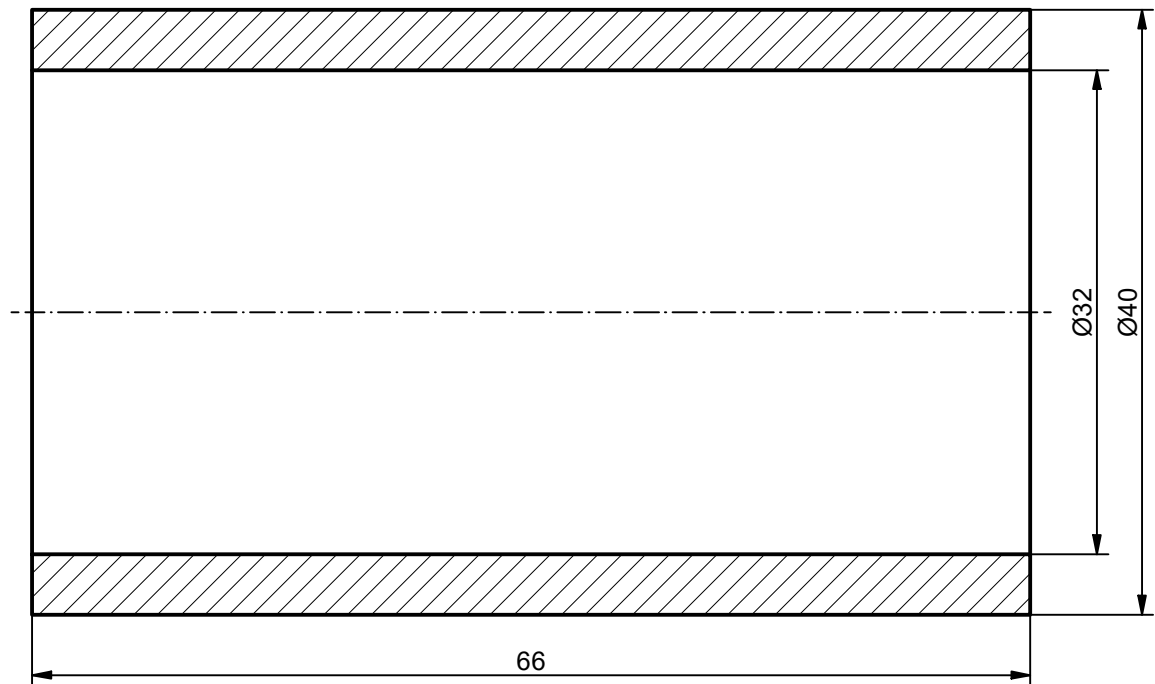
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN
DIBUJADO	04-05/2024	D.redecillas		
COMPROBADO				
C. CALIDAD				
ESCALA	DESIGNACIÓN			Nº DE PLANO
2.1 A4	Enlace tubería 40. Pieza 2			26/50
				SUSTITUYE A
				SUSTITUIDO POR



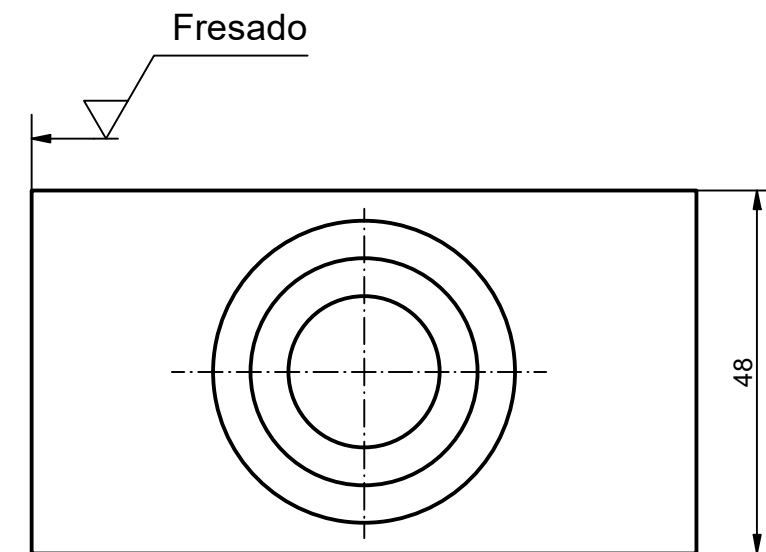
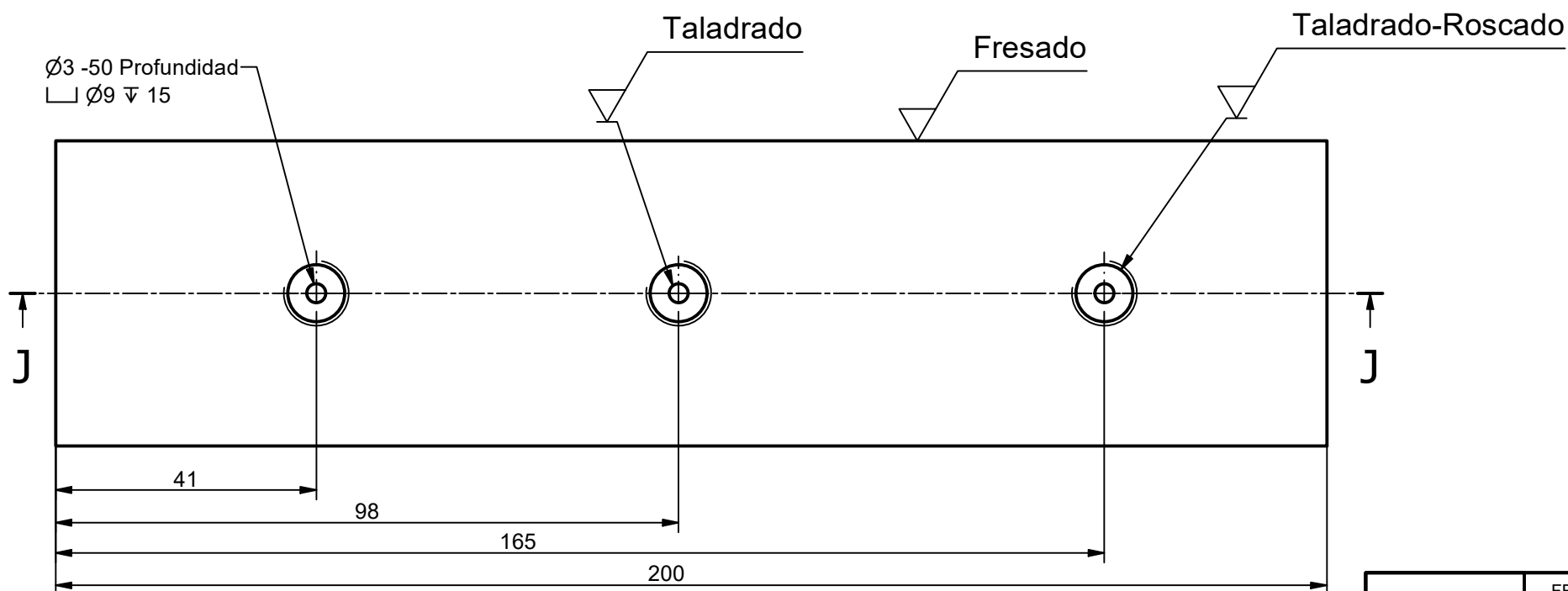
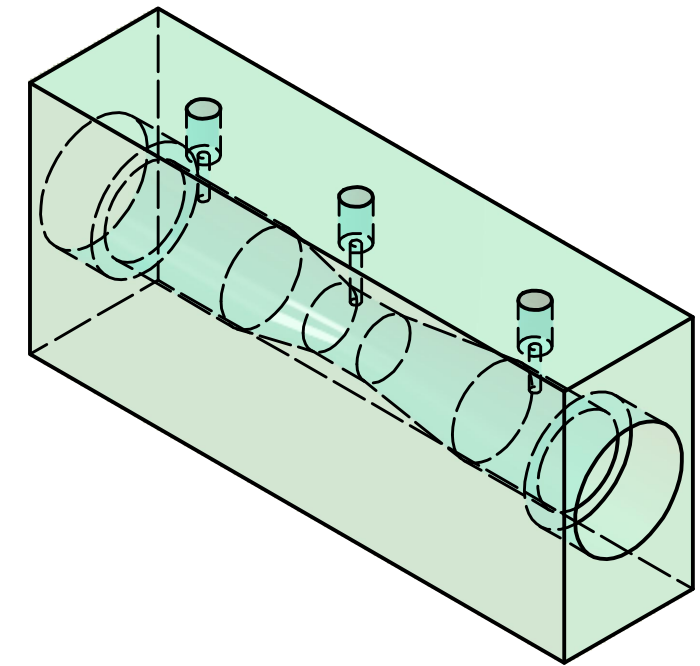
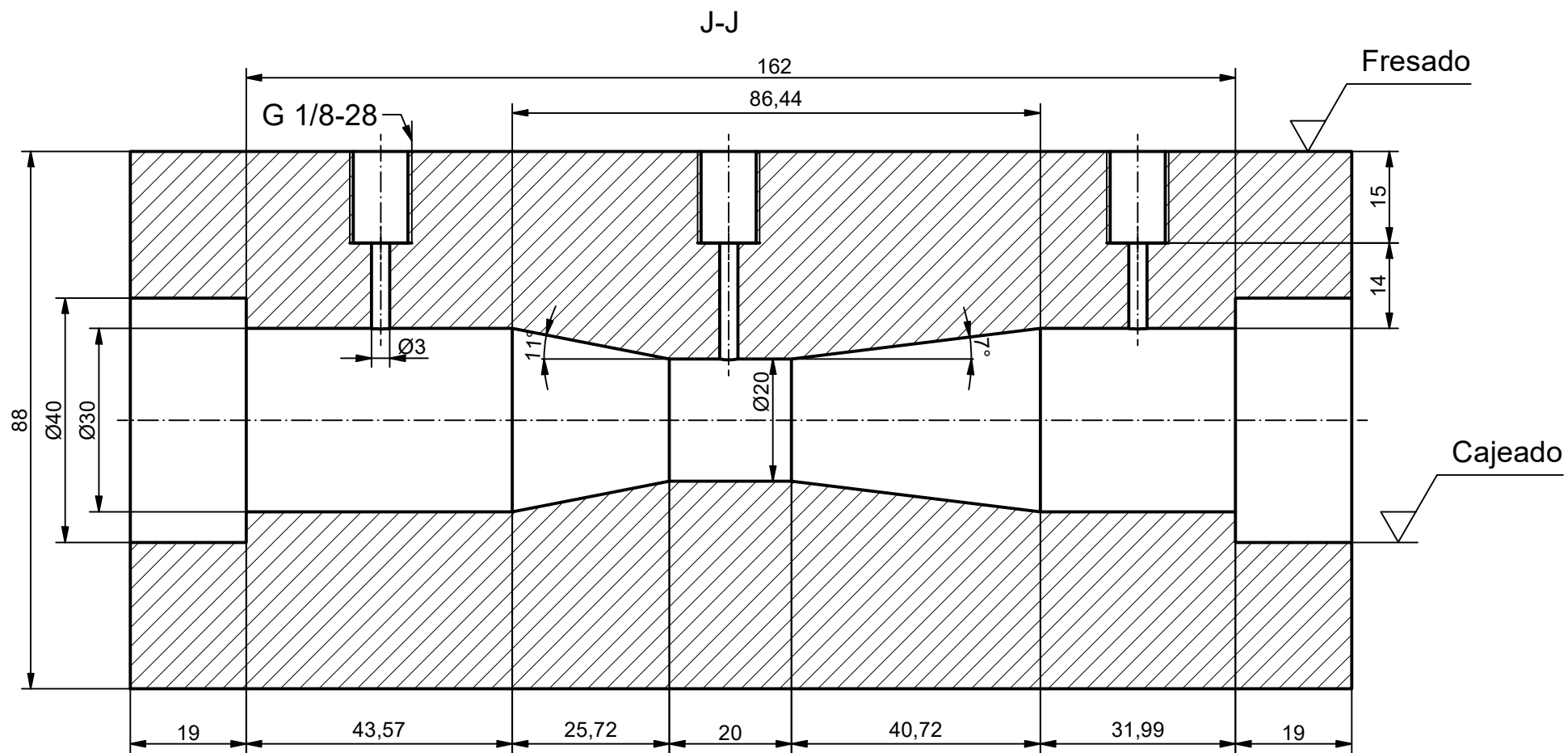
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN	
DIBUJADO	004/05/2024	D. Redecillas			
COMPROBADO					
C. CALIDAD					
ESCALA	DESIGNACIÓN Enlace tubería 40. Junta tórica				Nº DE PLANO 27/50
5:1					SUSTITUYE A
A4					SUSTITUIDO POR



	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN	
DIBUJADO	04/05/2024	D. Redecillas			
COMPROBADO					
C. CALIDAD					
ESCALA	DESIGNACIÓN				Nº DE PLANO
1:1 A4	Enlace tubería 40. Pieza 3				28/50
					SUSTITUYE A
					SUSTITUIDO POR

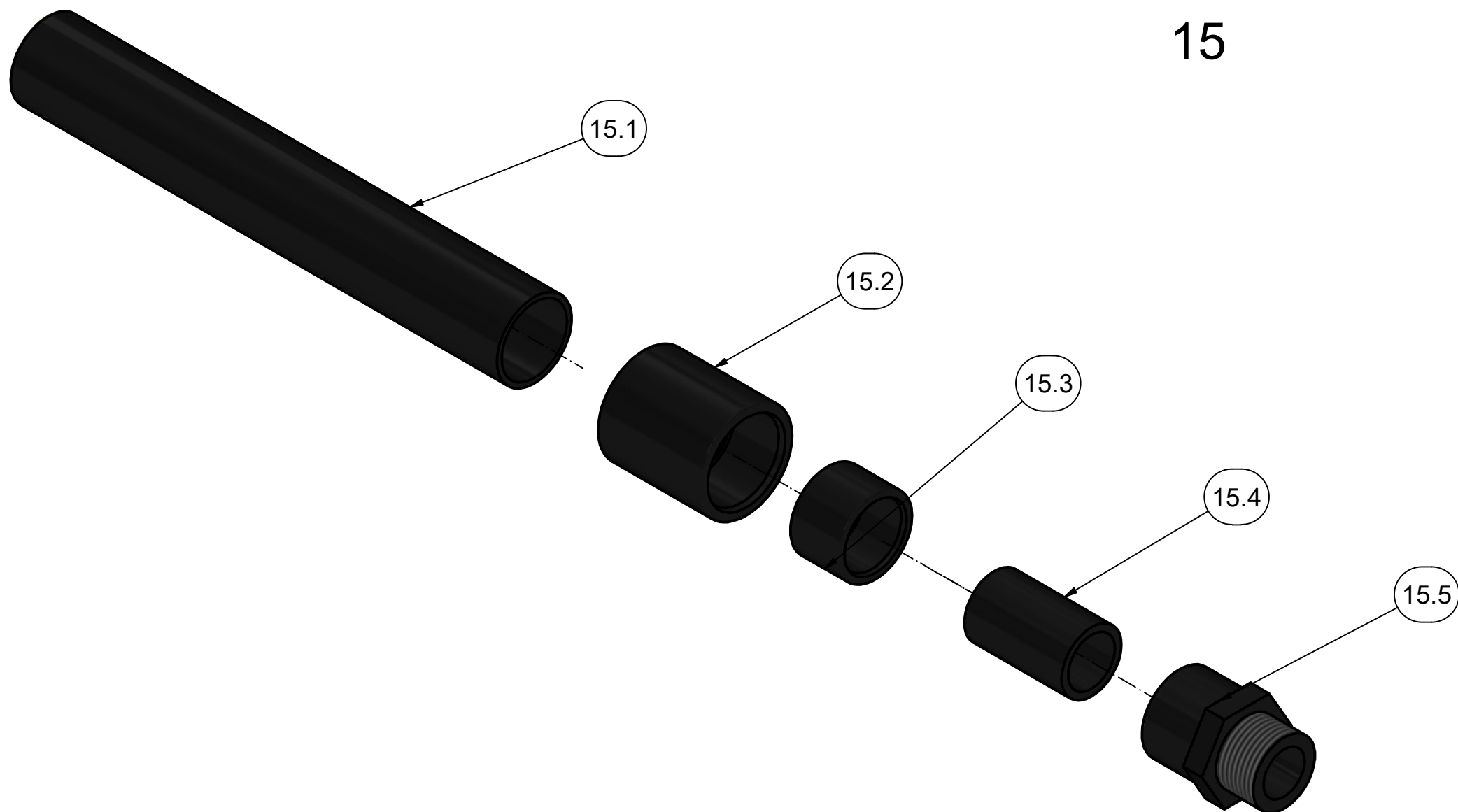


	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN
DIBUJADO	17/04/2024	D. Redecillas		
COMPROBADO				
C. CALIDAD				
ESCALA	DESIGNACIÓN Tubo de metacrilato 40x32x66			Nº DE PLANO
2:1				29/50
A4				SUSTITUYE A
				SUSTITUIDO POR

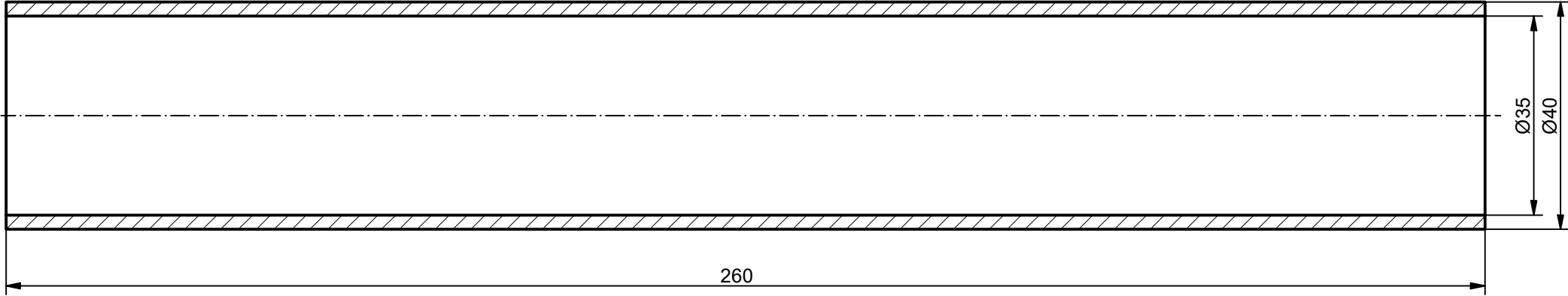


	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN	
DIBUJADO	20/04/2024	D. Redecillas			
COMPROBADO					
C. CALIDAD					
ESCALA	DESIGNACIÓN			Nº DE PLANO	
1:1 A3	Tubo de Venturi			30/50	
				SUSTITUYE A	
				SUSTITUIDO POR	

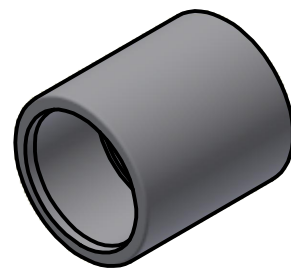
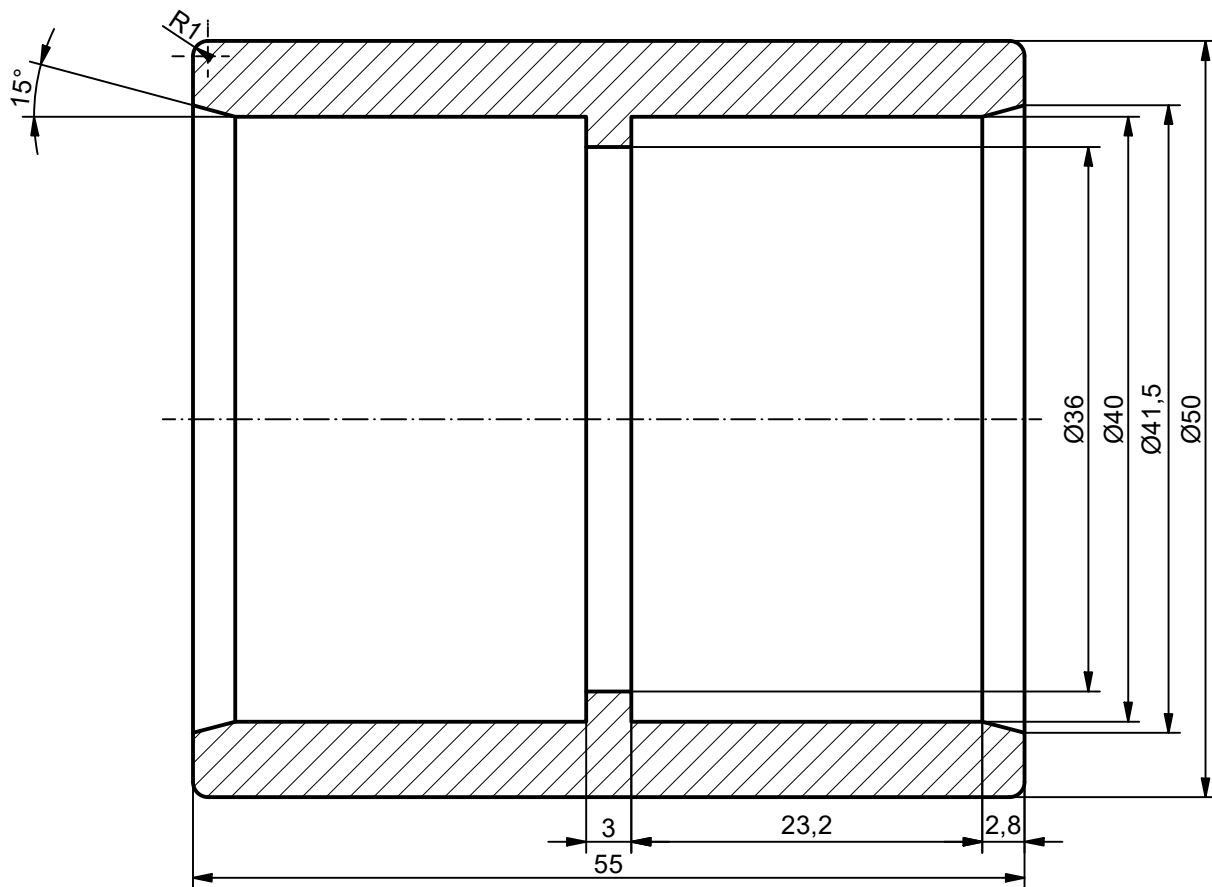
15



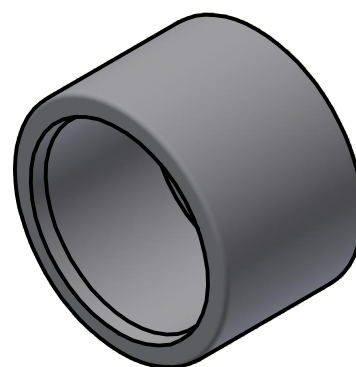
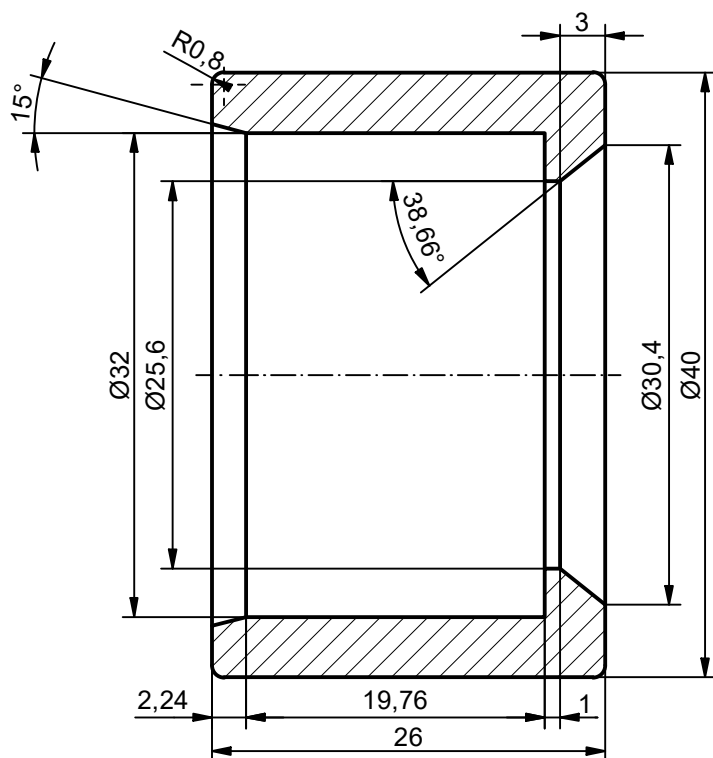
15.1	1	tubo PVC 40x35x260			
15.2	1	Casquillo para tubos de 40 mm			
15.3	1	Casquillo para tubos de 32 mm			
15.4	1	tubo PVC 32x25x52			
15.5	1	Empalme de rosca G 1 para tubos de diámetro 32 mm			
Marca	Ctd.	Designación	Descripción		
		FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN
DIBUJADO		27/04/2024	D. Redecillas		
COMPROBADO					
C. CALIDAD					
ESCALA		DESIGNACIÓN			Nº DE PLANO
1:2 A3		Tubería de entrada al Venturi			31/50
					SUSTITUYE A
					SUSTITUIDO POR



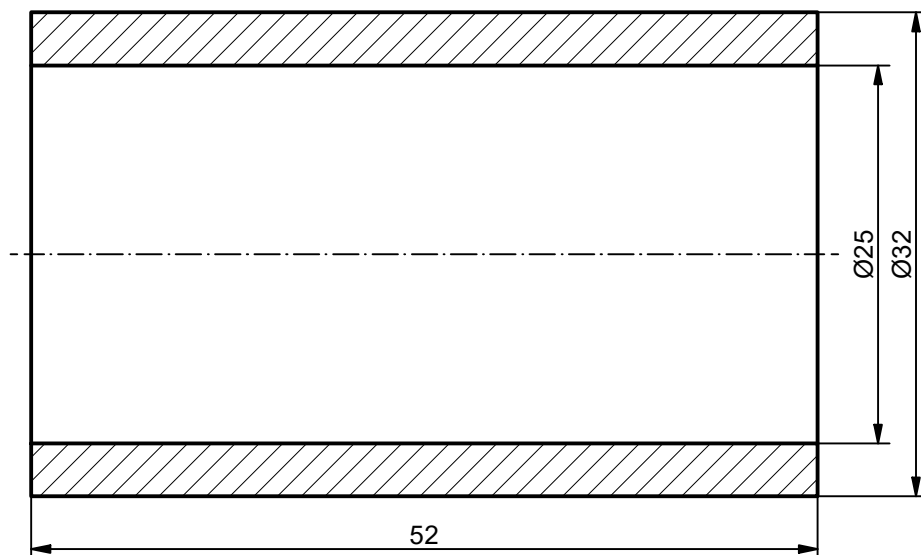
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN	
DIBUJADO	27/04/2024	D. Redecillas			
COMPROBADO					
C. CALIDAD					
ESCALA	DESIGNACIÓN				Nº DE PLANO
1:1 A3	tubo PVC 40x35x260				32/50
					SUSTITUYE A
					SUSTITUIDO POR



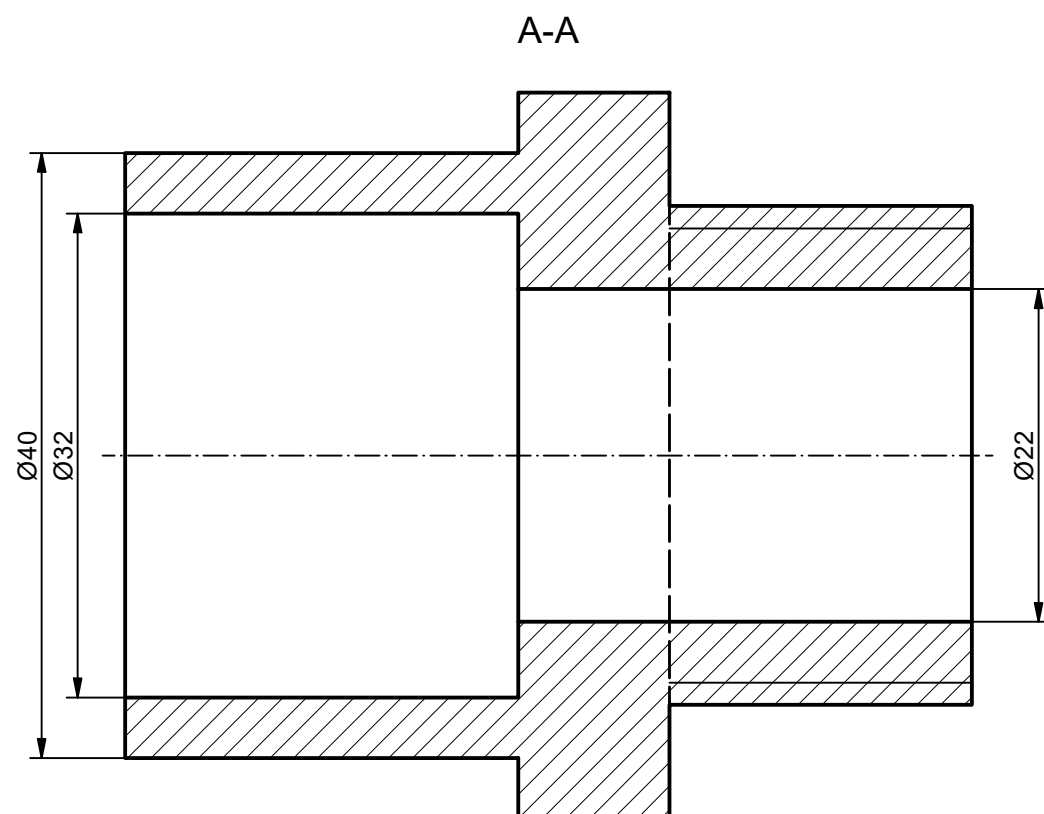
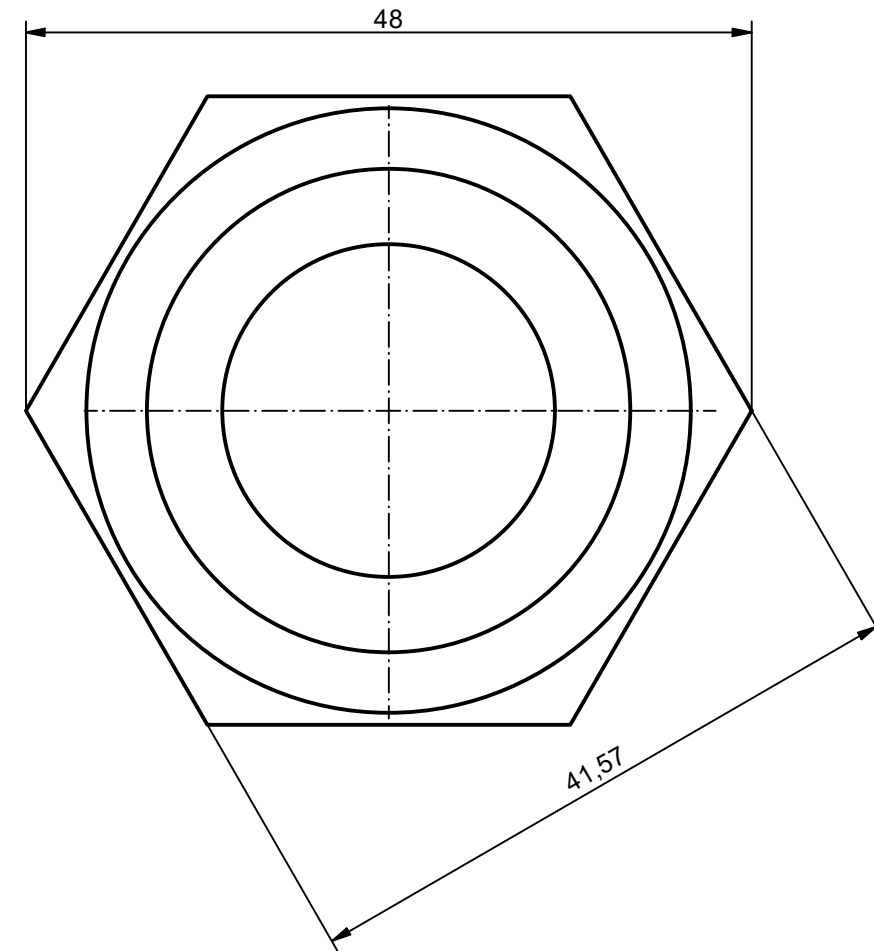
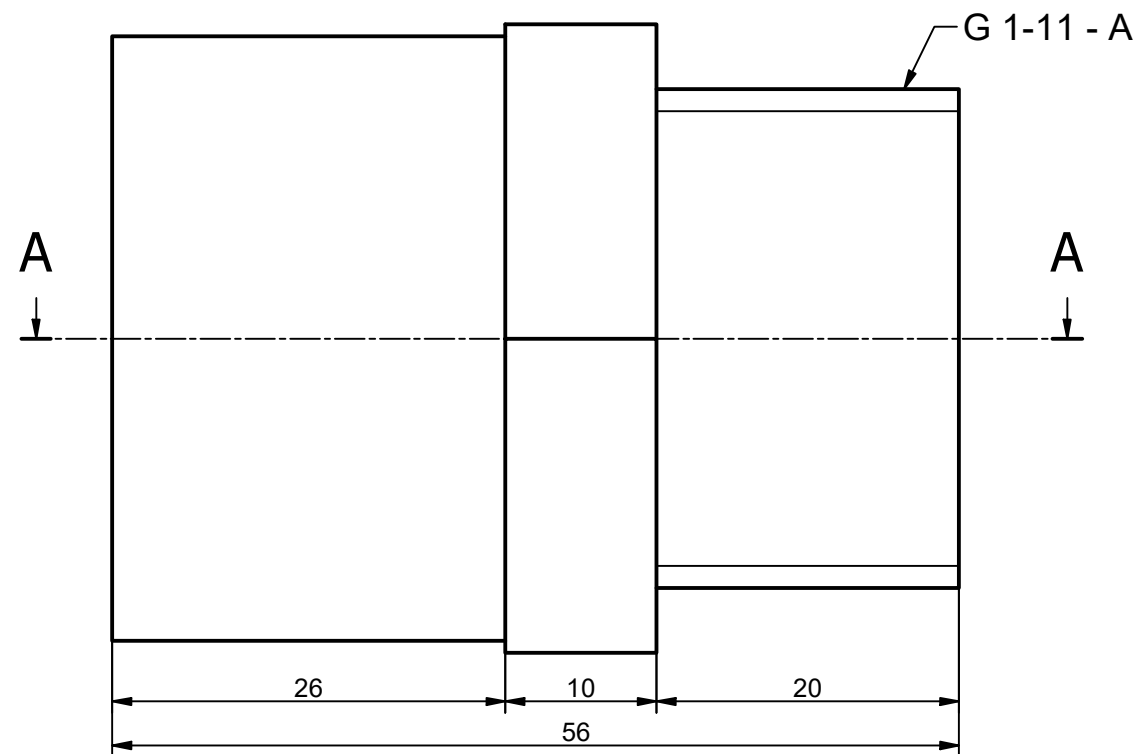
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN
DIBUJADO	27/04/2024	D. Redecillas		
COMPROBADO				
C. CALIDAD				
ESCALA	DESIGNACIÓN			Nº DE PLANO
2.1 A4	Casquillo para tubos de 40 mm			33/50
				SUSTITUYE A
				SUSTITUIDO POR



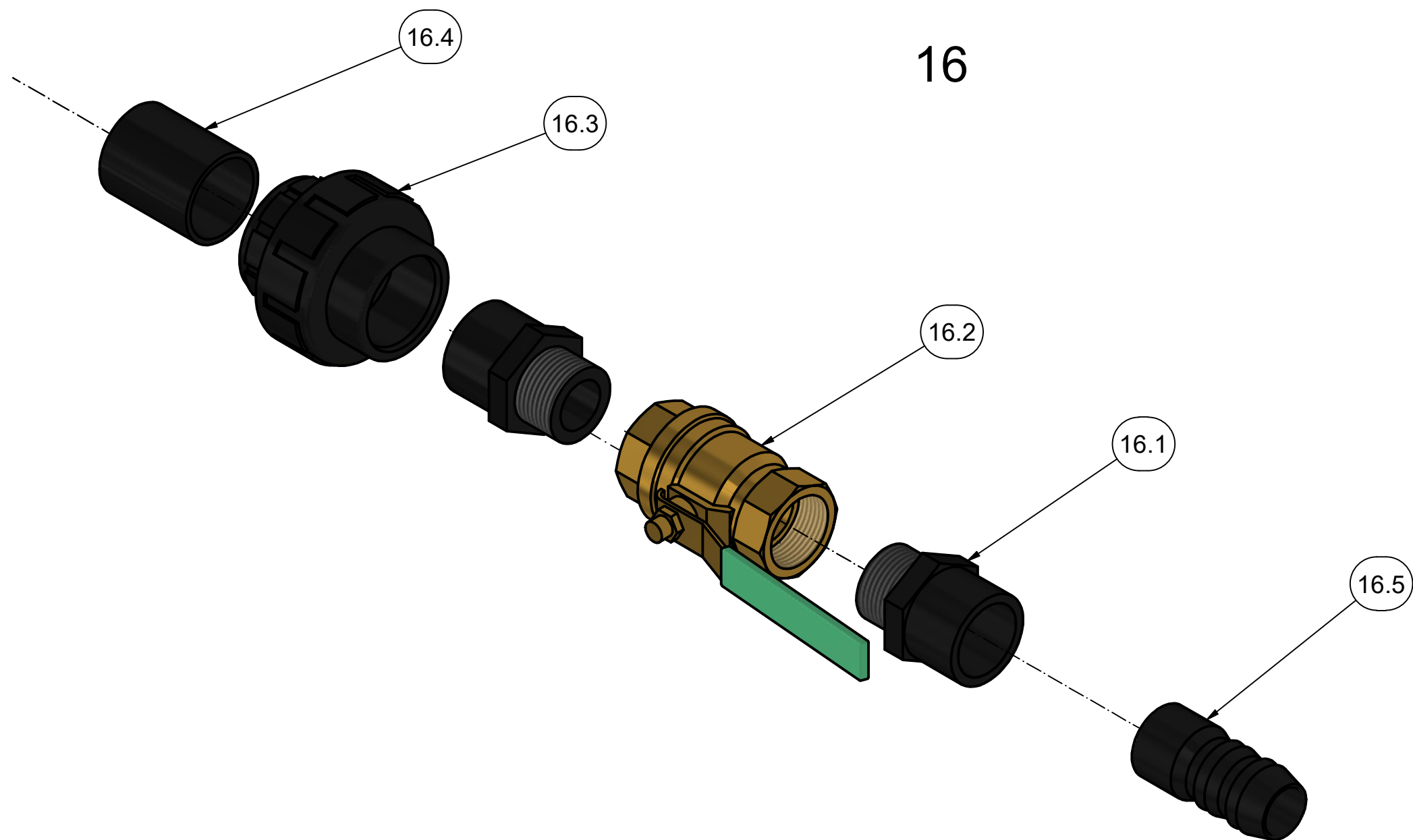
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN	
DIBUJADO	27/04/2024	D. Redecillas			
COMPROBADO					
C. CALIDAD					
ESCALA	DESIGNACIÓN Casquillos para tubos de 32 mm				Nº DE PLANO
2.1					34/50
A4					SUSTITUYE A
					SUSTITUIDO POR



	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN
DIBUJADO	27/04/2024	D.Redecillas		
COMPROBADO				
C. CALIDAD				
ESCALA	DESIGNACIÓN tubo PVC 32x25x52			Nº DE PLANO 35/50
2:1				SUSTITUYE A
A4				SUSTITUIDO POR



	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN
DIBUJADO	27/04/2024	D.Redecillas		
COMPROBADO				
C. CALIDAD				
ESCALA	DESIGNACIÓN			Nº DE PLANO
2:1 A3	Empalme de rosca G 1 para tubos de diámetro 32 mm			36/50
				SUSTITUYE A
				SUSTITUIDO POR

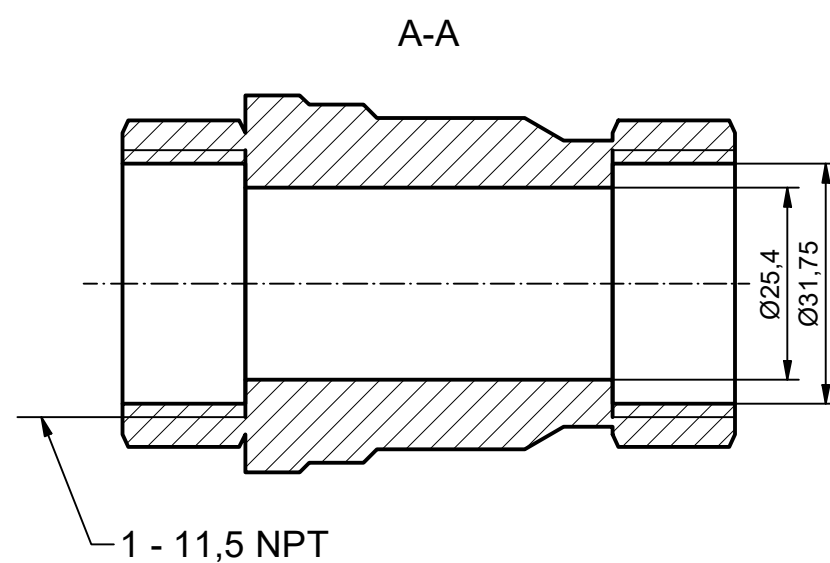
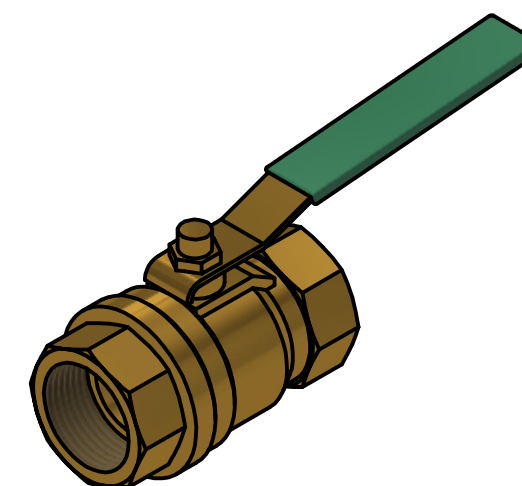
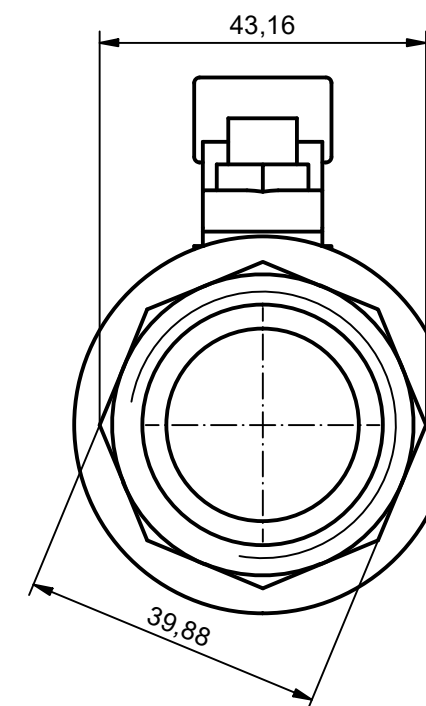
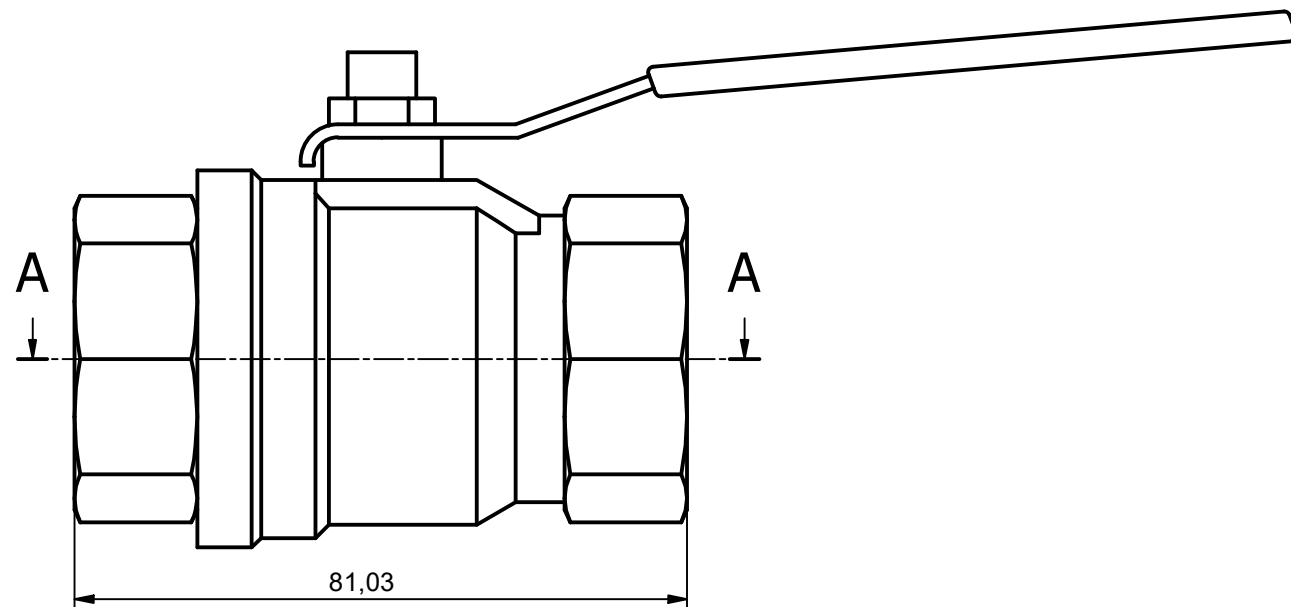


16

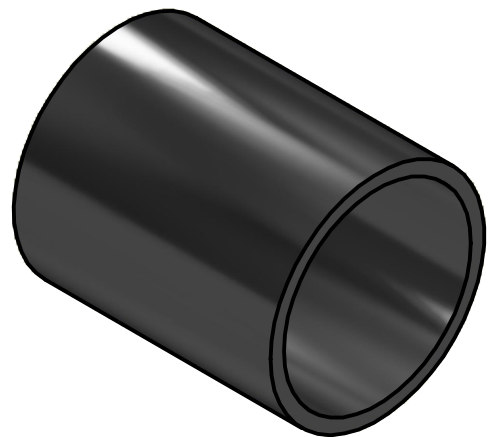
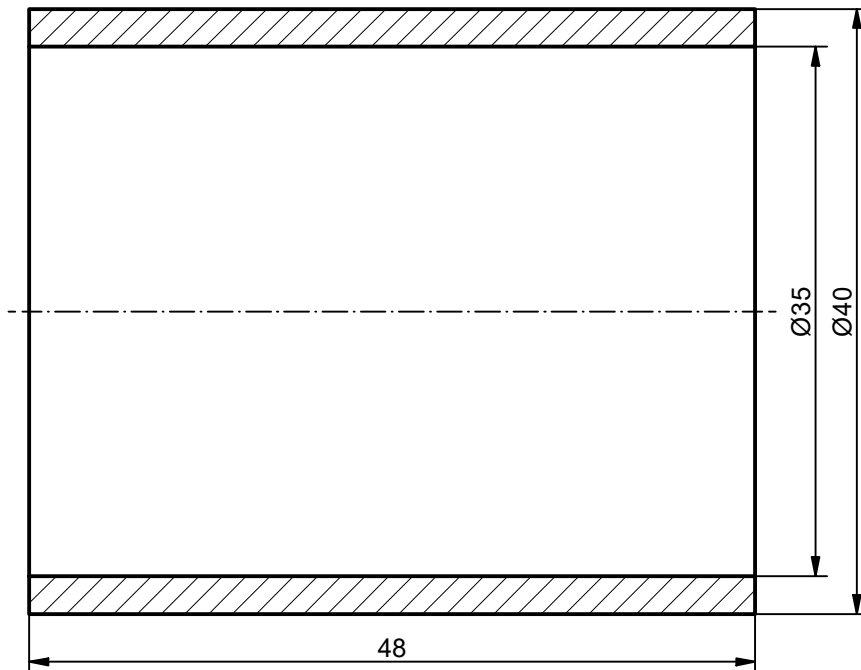
16.5	1	Espiga para manguera	
16.4	1	Tubería pvc 40x35x48	
16.3	1	Enlace roscado para tubos de 40 mm	
16.2	1	Válvula de bola	Brass Ball Valve
16.1	2	Empalme de rosca G 1 para tubos de diámetro 32 mm	
Marca	Ctd.	Designación	Descripción

	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN
DIBUJADO	28/04/2024	D. Redecillas		
COMPROBADO				
C. CALIDAD				

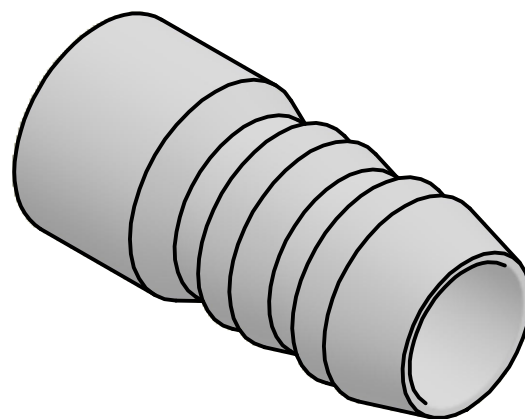
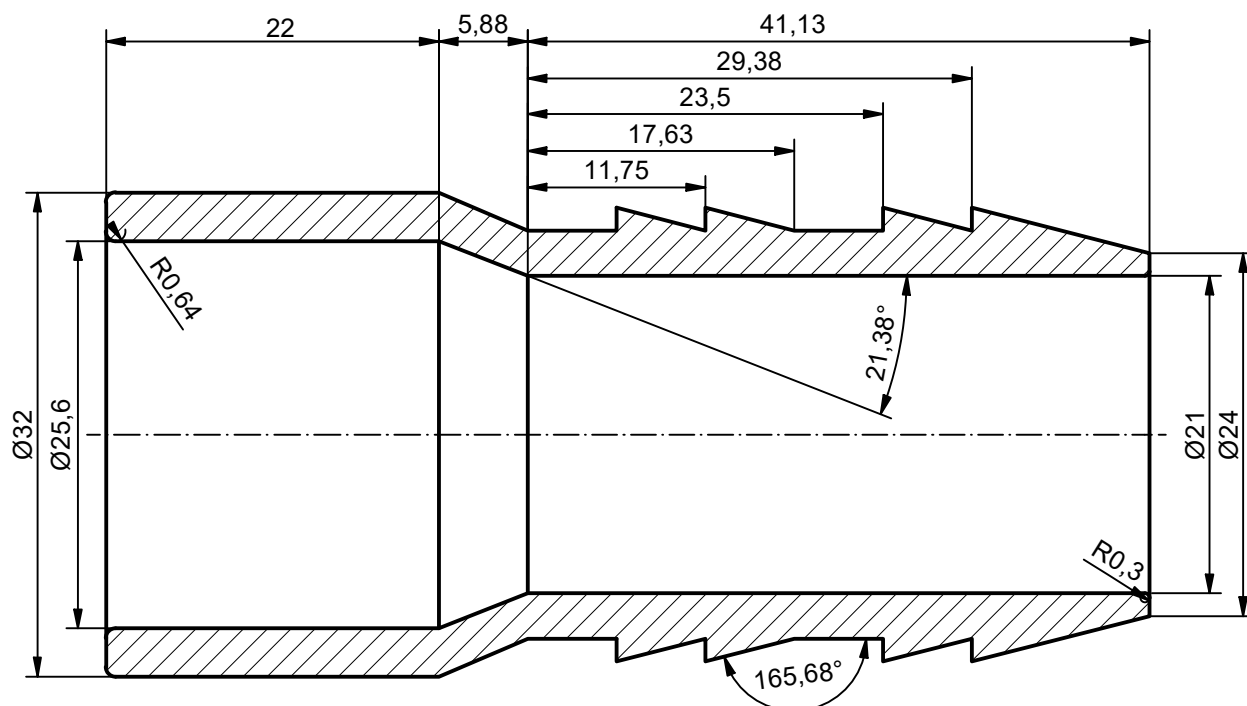
ESCALA	DESIGNACIÓN	Nº DE PLANO
1:2 A3	Tubería de desagüe	37/50
		SUSTITUYE A
		SUSTITUIDO POR



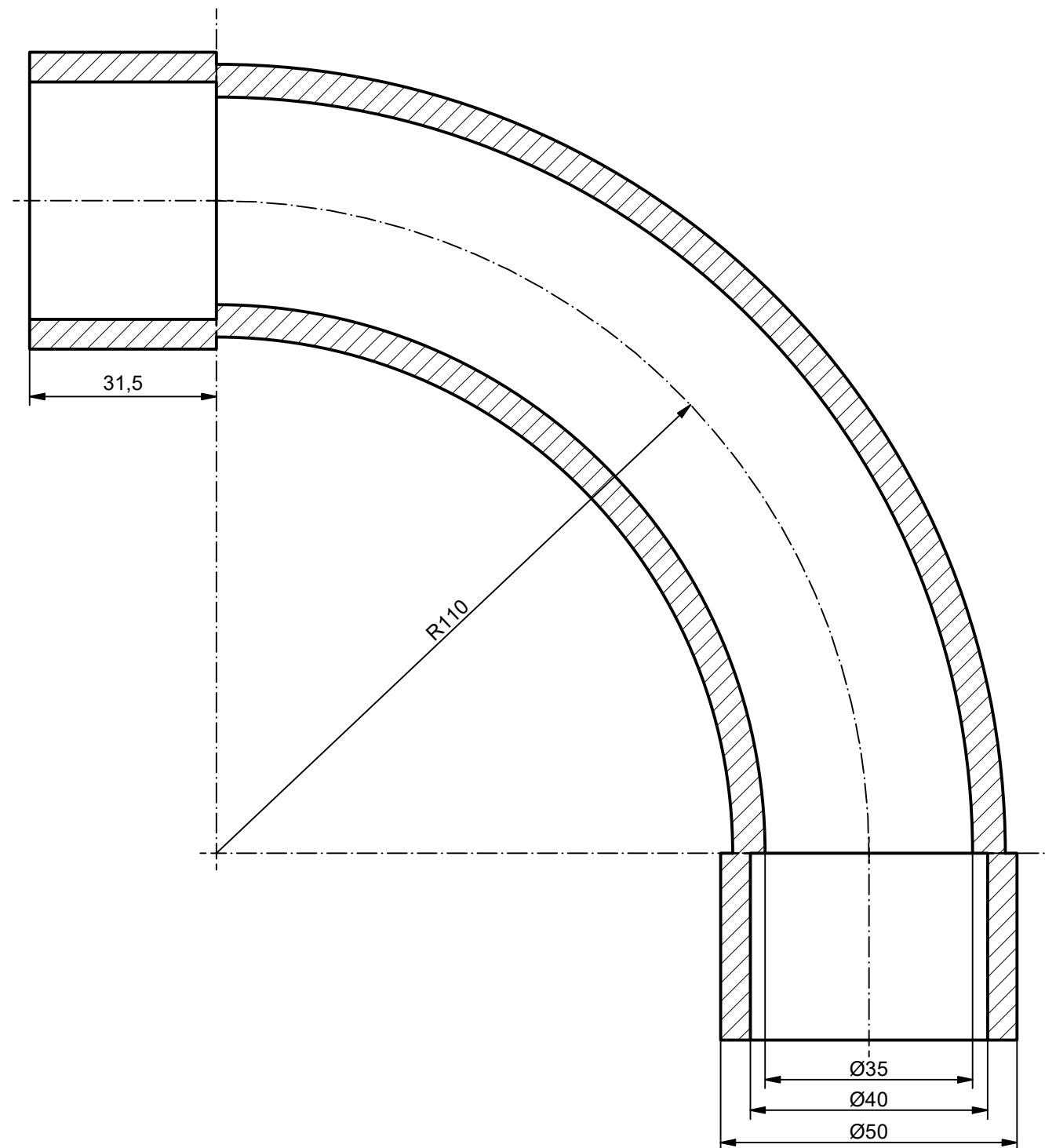
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN	
DIBUJADO	29/04/2024	D. Redecillas			
COMPROBADO					
C. CALIDAD					
ESCALA	DESIGNACIÓN			Nº DE PLANO	
1:1 A3	Válvula de bola. Rosca G 1			38/50	
				SUSTITUYE A	
				SUSTITUIDO POR	



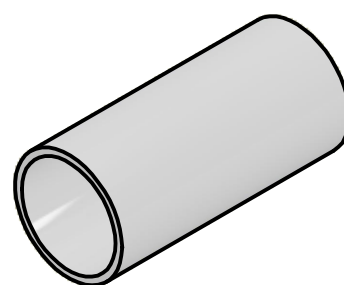
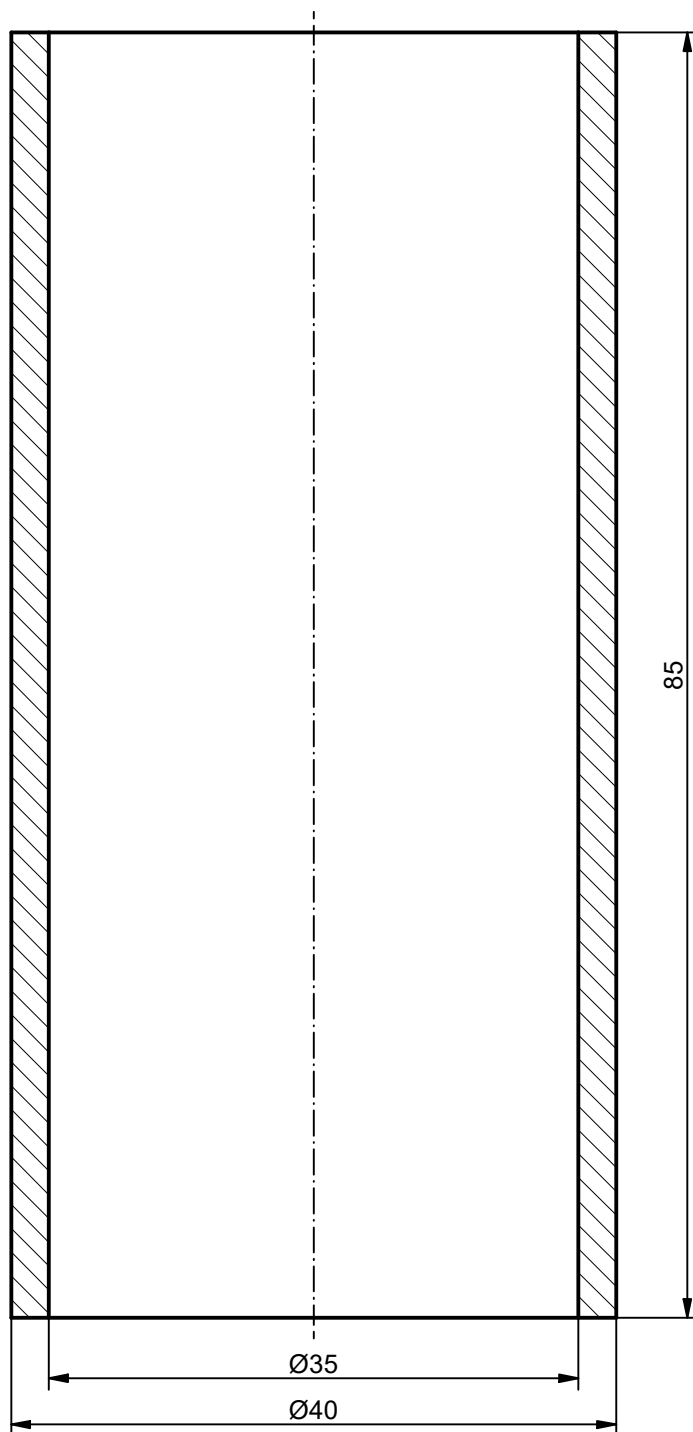
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN
DIBUJADO	21/05/2024	D. Redecillas		
COMPROBADO				
C. CALIDAD				
ESCALA	DESIGNACIÓN Tubería pvc 40x35x48			Nº DE PLANO 39/50
2.1				SUSTITUYE A
A4				



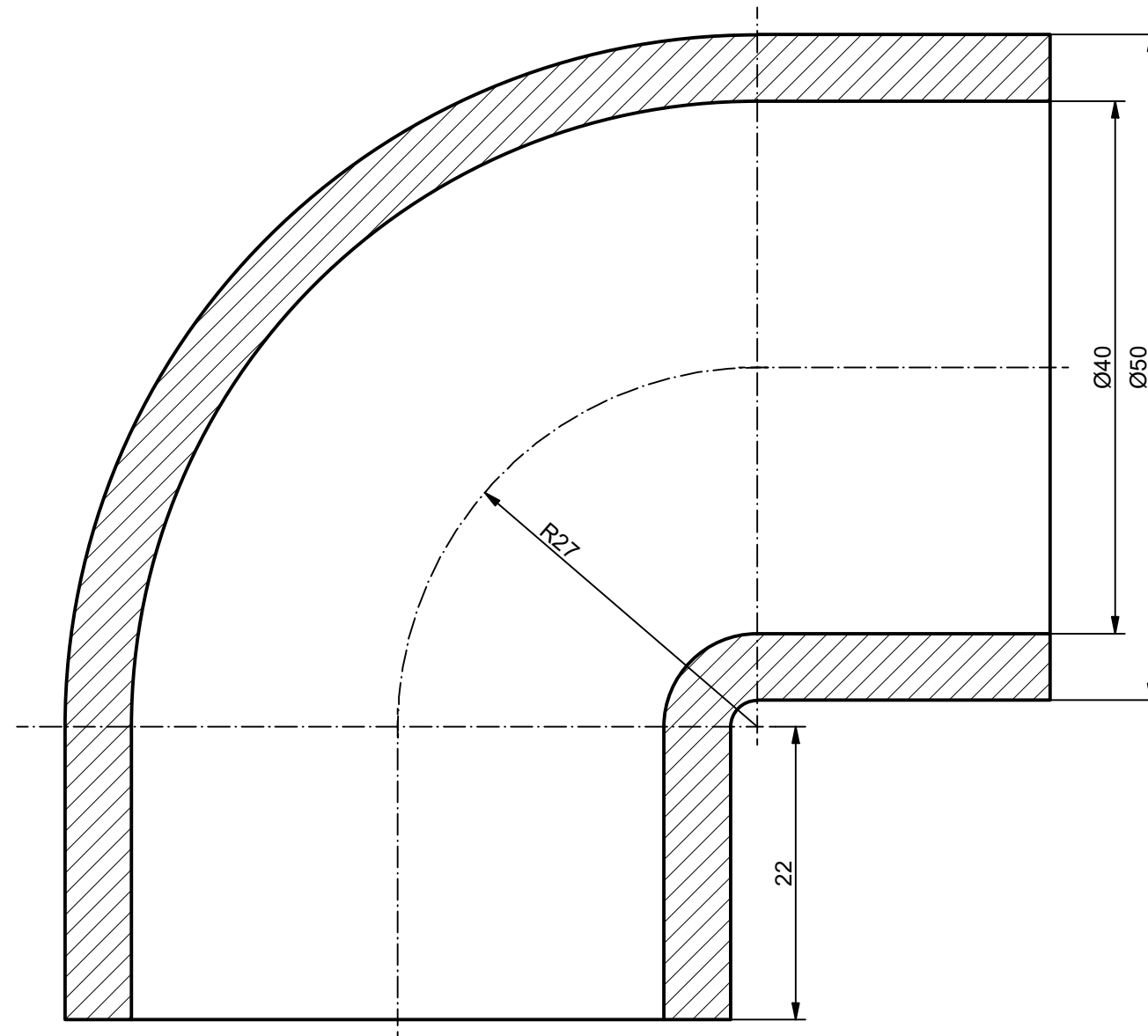
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN	
DIBUJADO	28/04/2024	D. Redecillas			
COMPROBADO					
C. CALIDAD					
ESCALA	DESIGNACIÓN Espiga para manguera				Nº DE PLANO
2:1					40/50
A4					SUSTITUYE A
					SUSTITUIDO POR



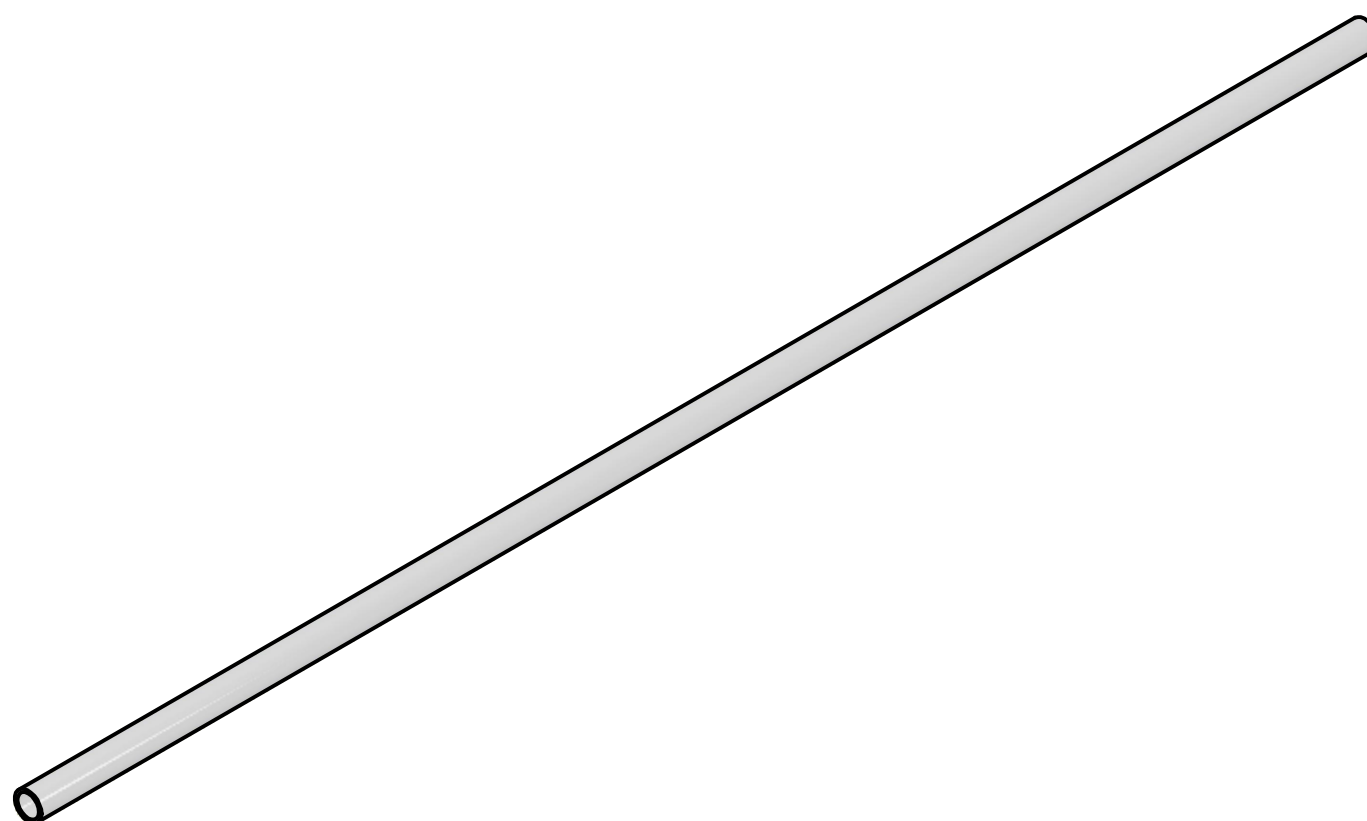
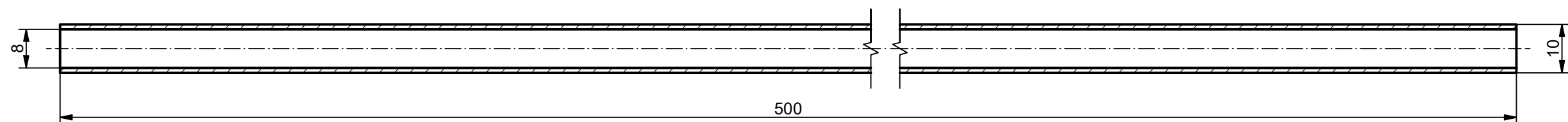
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN	
DIBUJADO	25/03/2024	D.Redecillas			
COMPROBADO					
C. CALIDAD					
ESCALA	DESIGNACIÓN			Nº DE PLANO	
1:1 A3	Codo a 90° de gran radio			41/50	
				SUSTITUYE A	
				SUSTITUIDO POR	



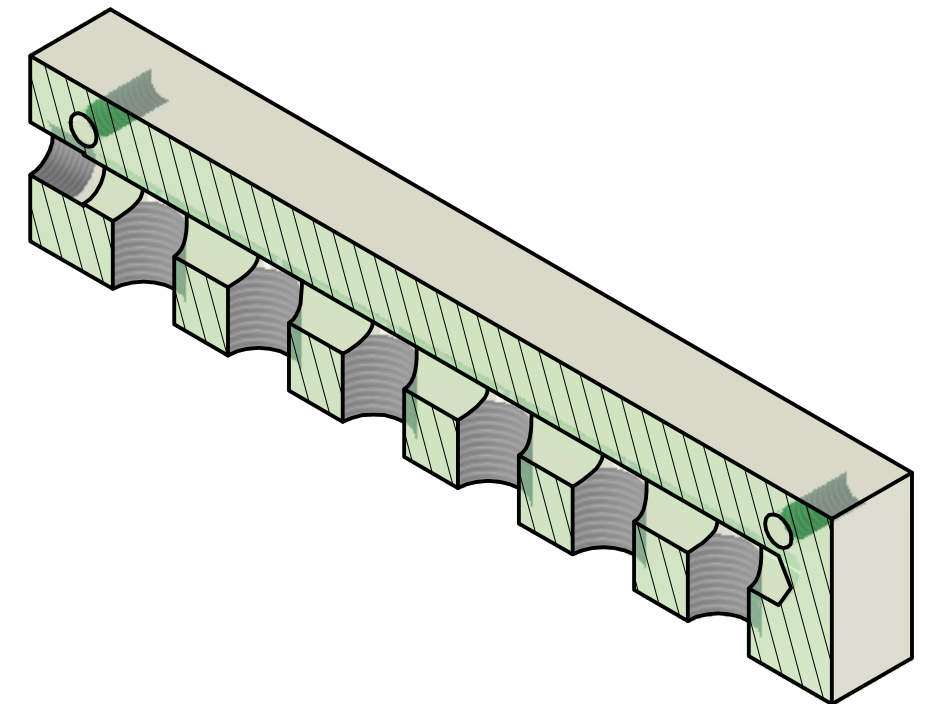
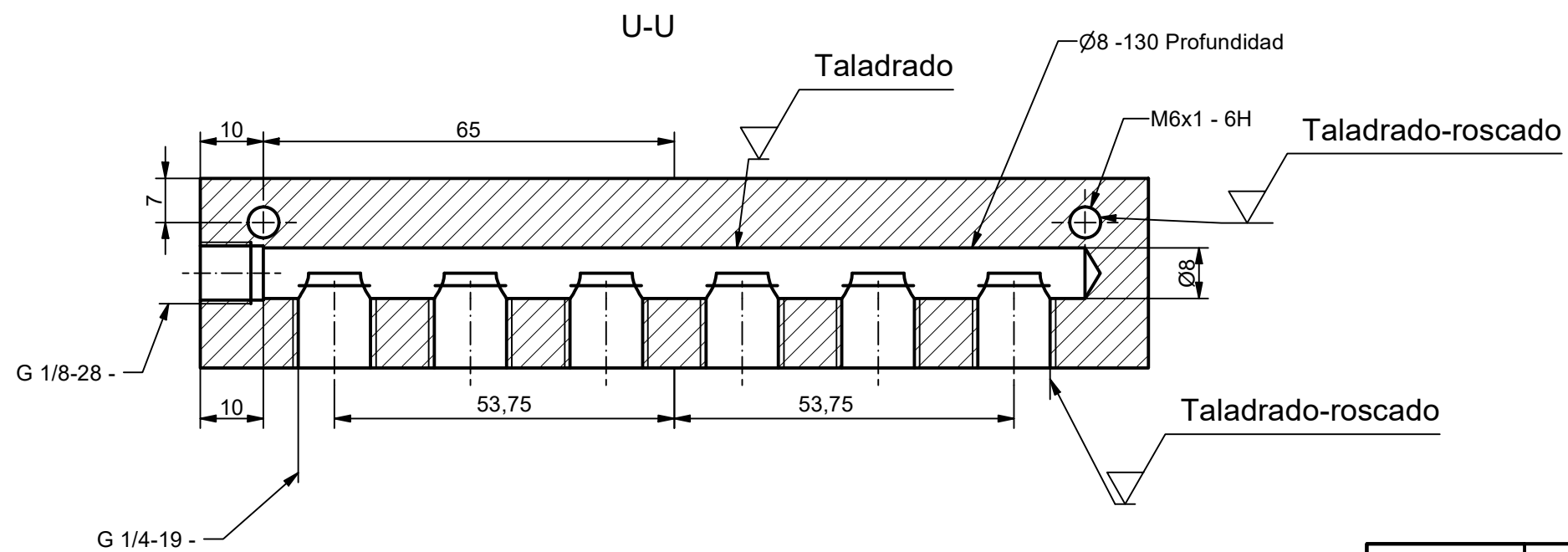
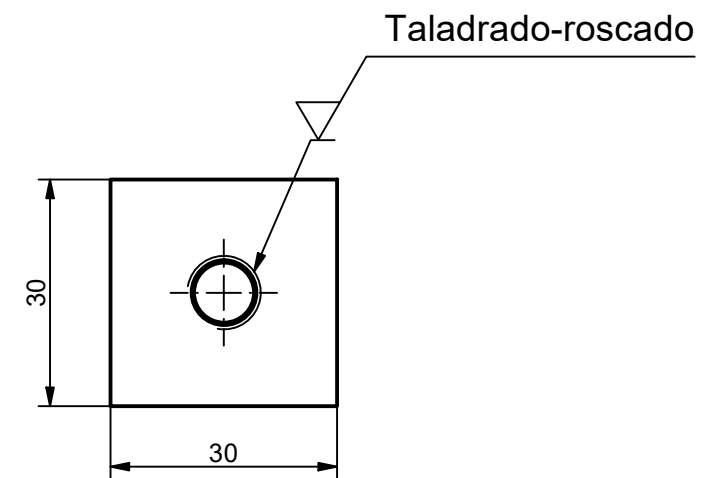
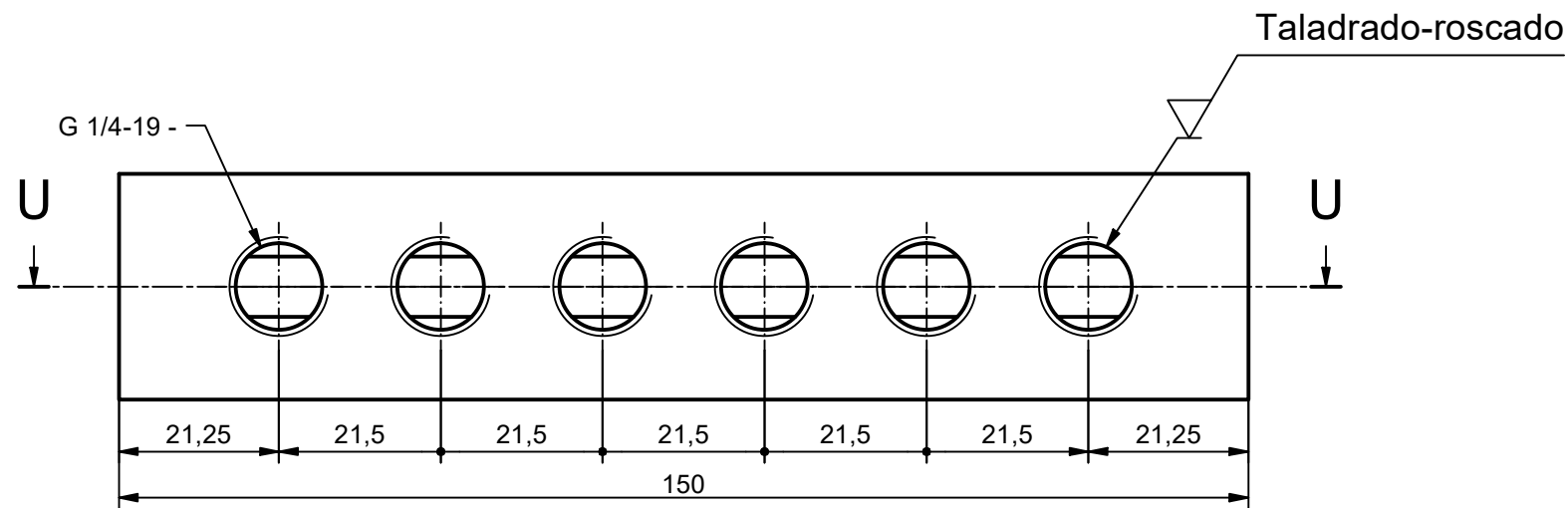
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN
DIBUJADO	17/04/2024	D. Redecillas		
COMPROBADO				
C. CALIDAD				
ESCALA	DESIGNACIÓN Tubo metacrilato 40x35x85			Nº DE PLANO 42/50
2:1				SUSTITUYE A
A4				SUSTITUIDO POR



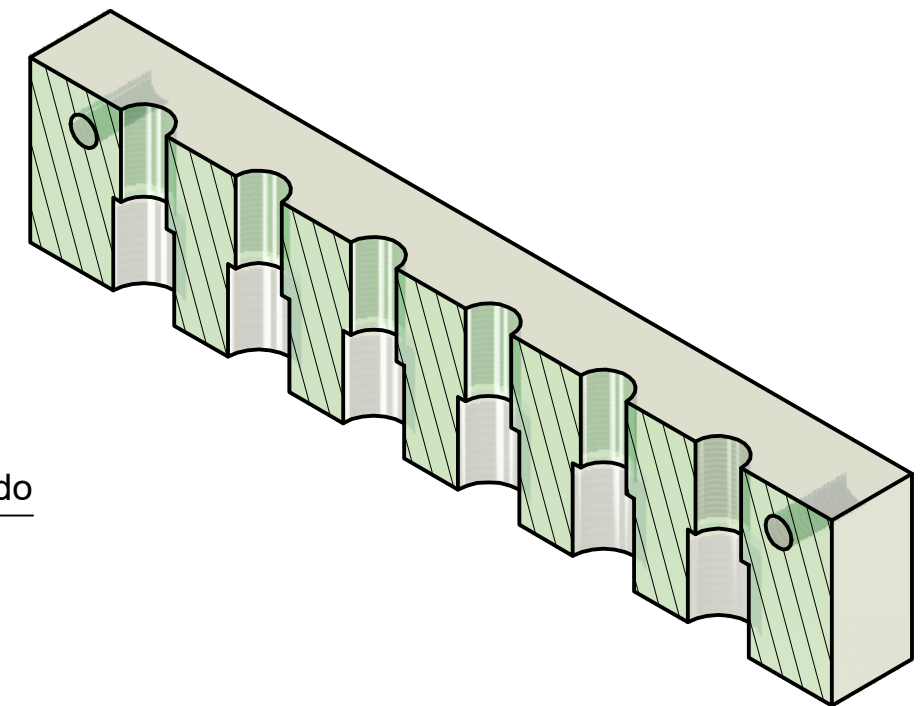
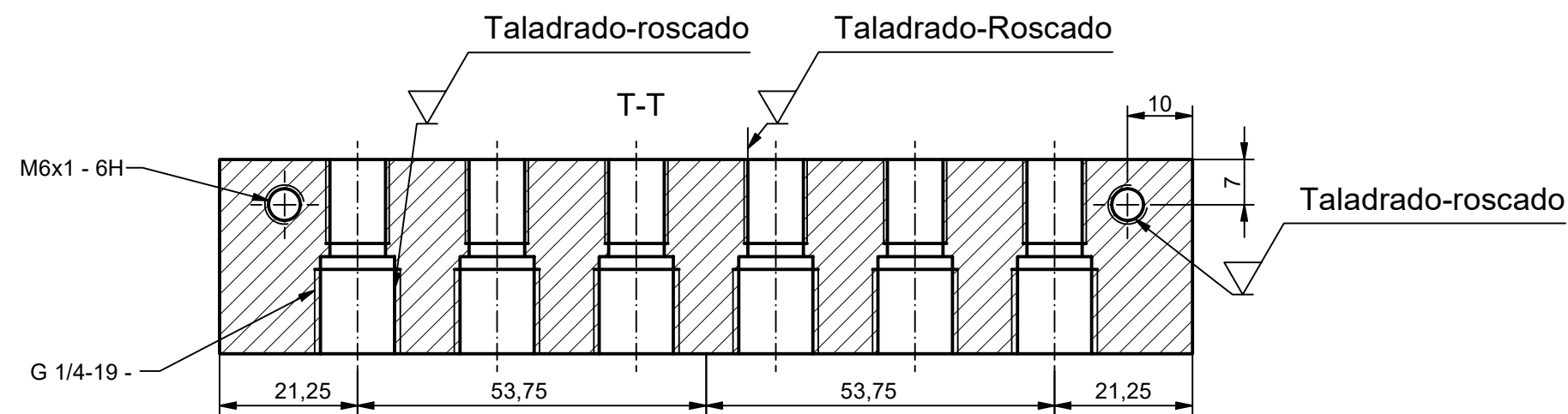
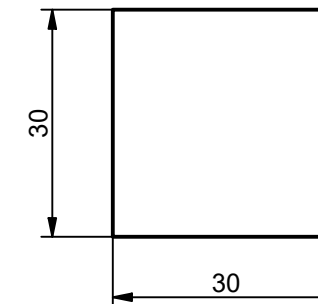
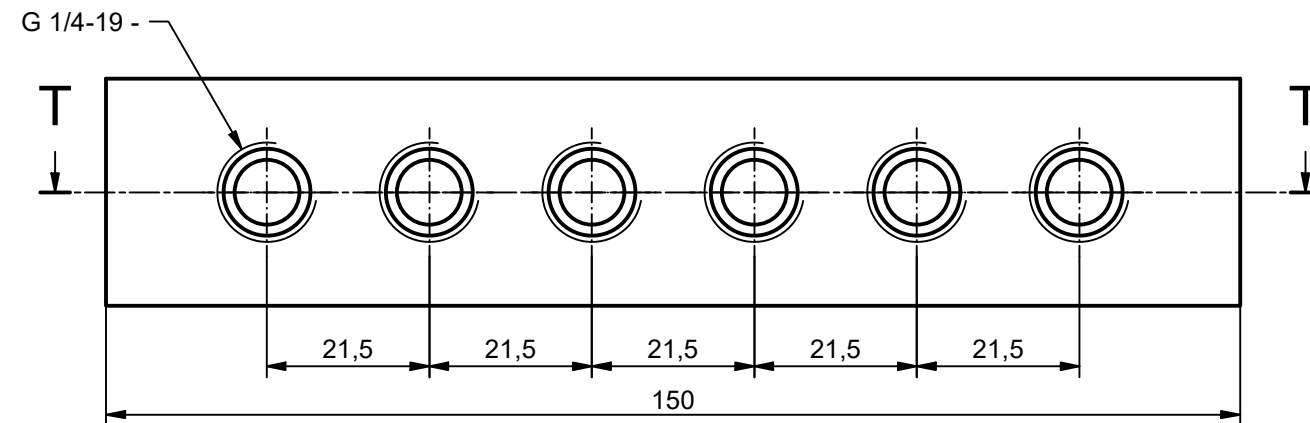
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN	
DIBUJADO	25/03/2024	D.Redecillas			
COMPROBADO					
C. CALIDAD					
ESCALA	DESIGNACIÓN				Nº DE PLANO
2:1 A3	Codo a 90° de pequeño radio				43/50
					SUSTITUYE A
					SUSTITUIDO POR



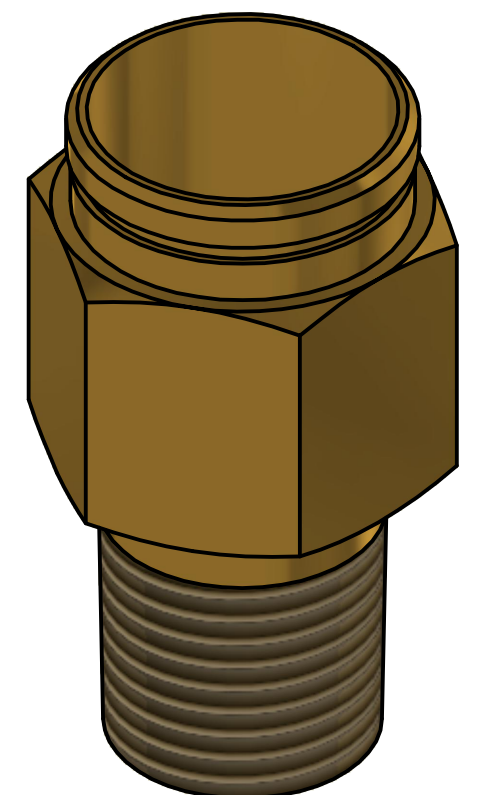
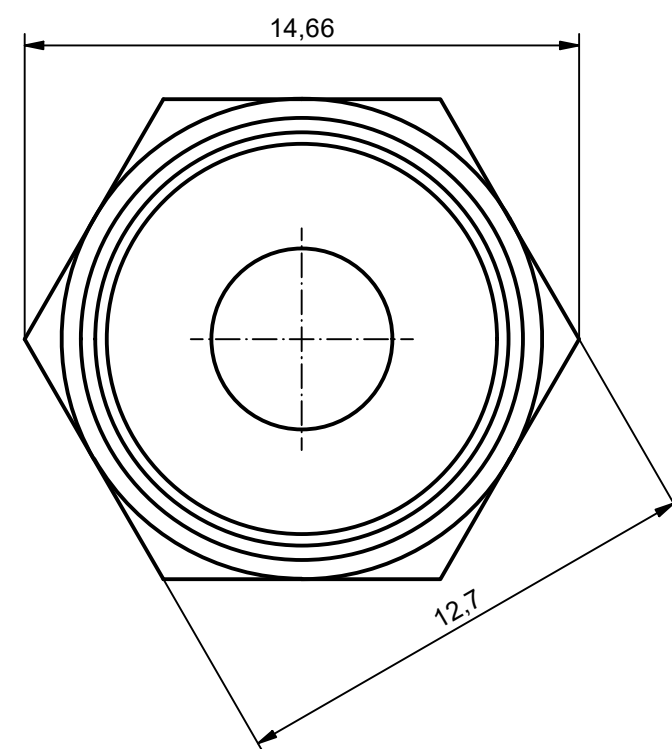
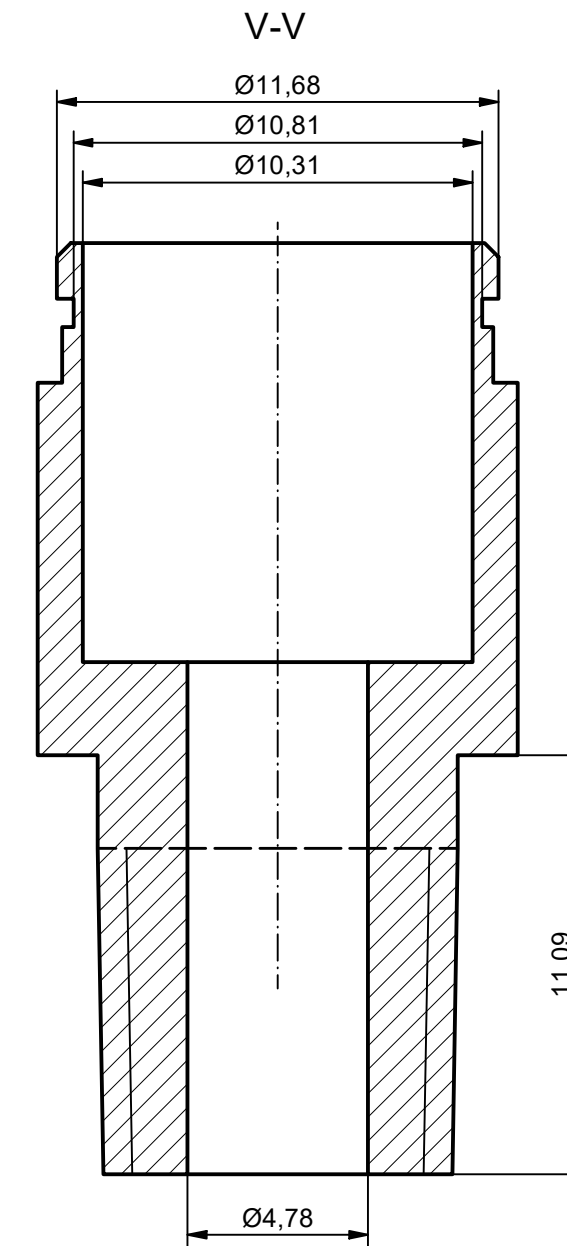
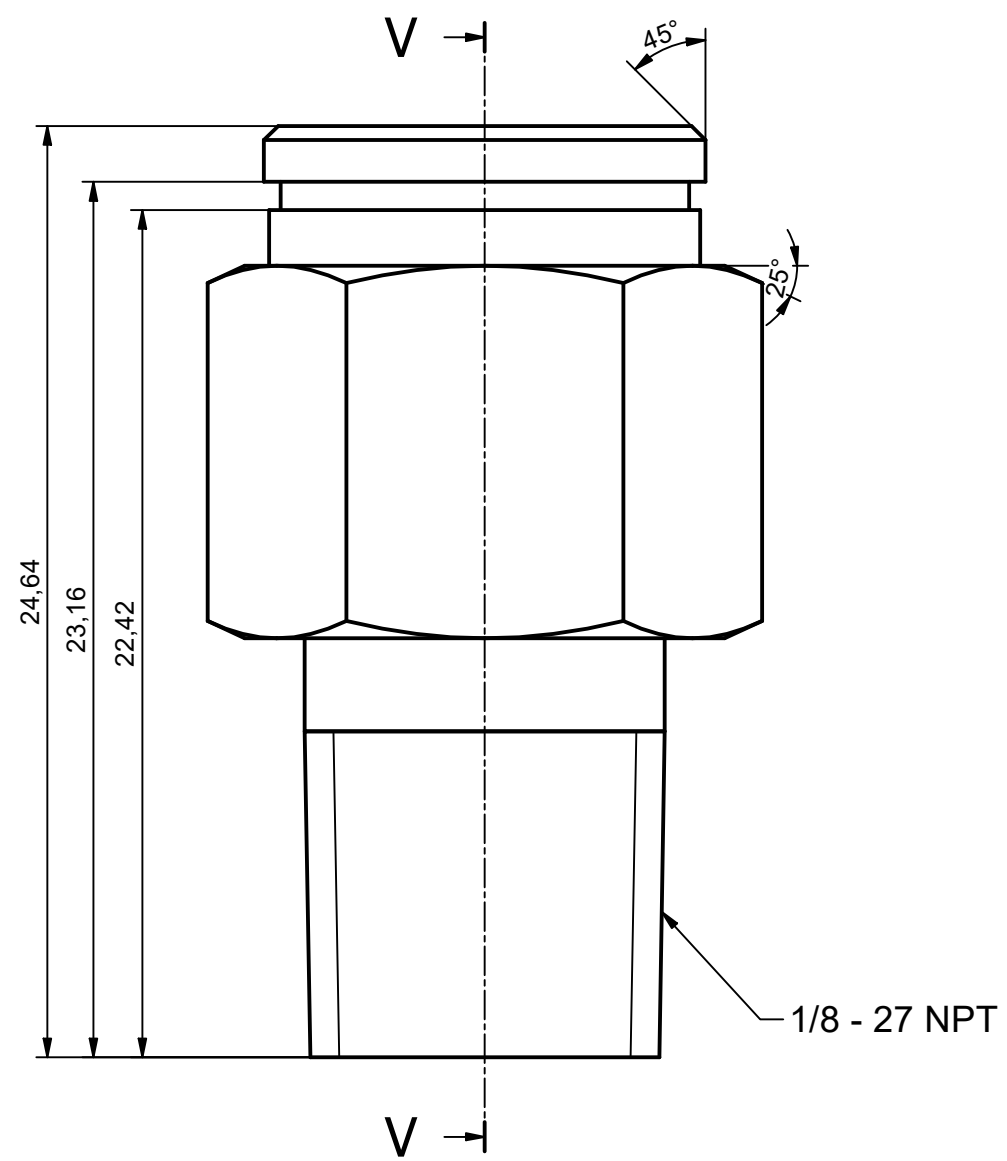
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR L I N A R E S UNIVERSIDAD DE JAÉN	
DIBUJADO	21/04/2024	D. Redecillas			
COMPROBADO					
C. CALIDAD					
ESCALA	DESIGNACIÓN				Nº DE PLANO
1:1 A3	Tubo piezométrico				44/50
					SUSTITUYE A
					SUSTITUIDO POR



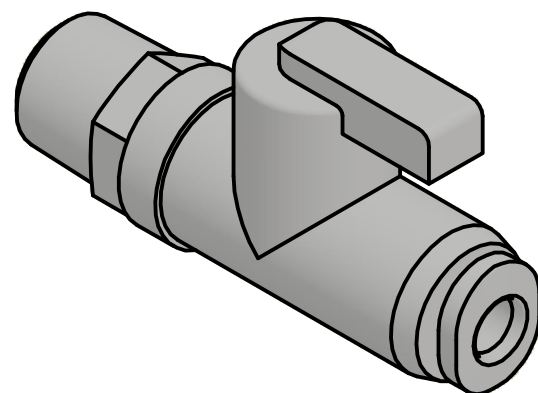
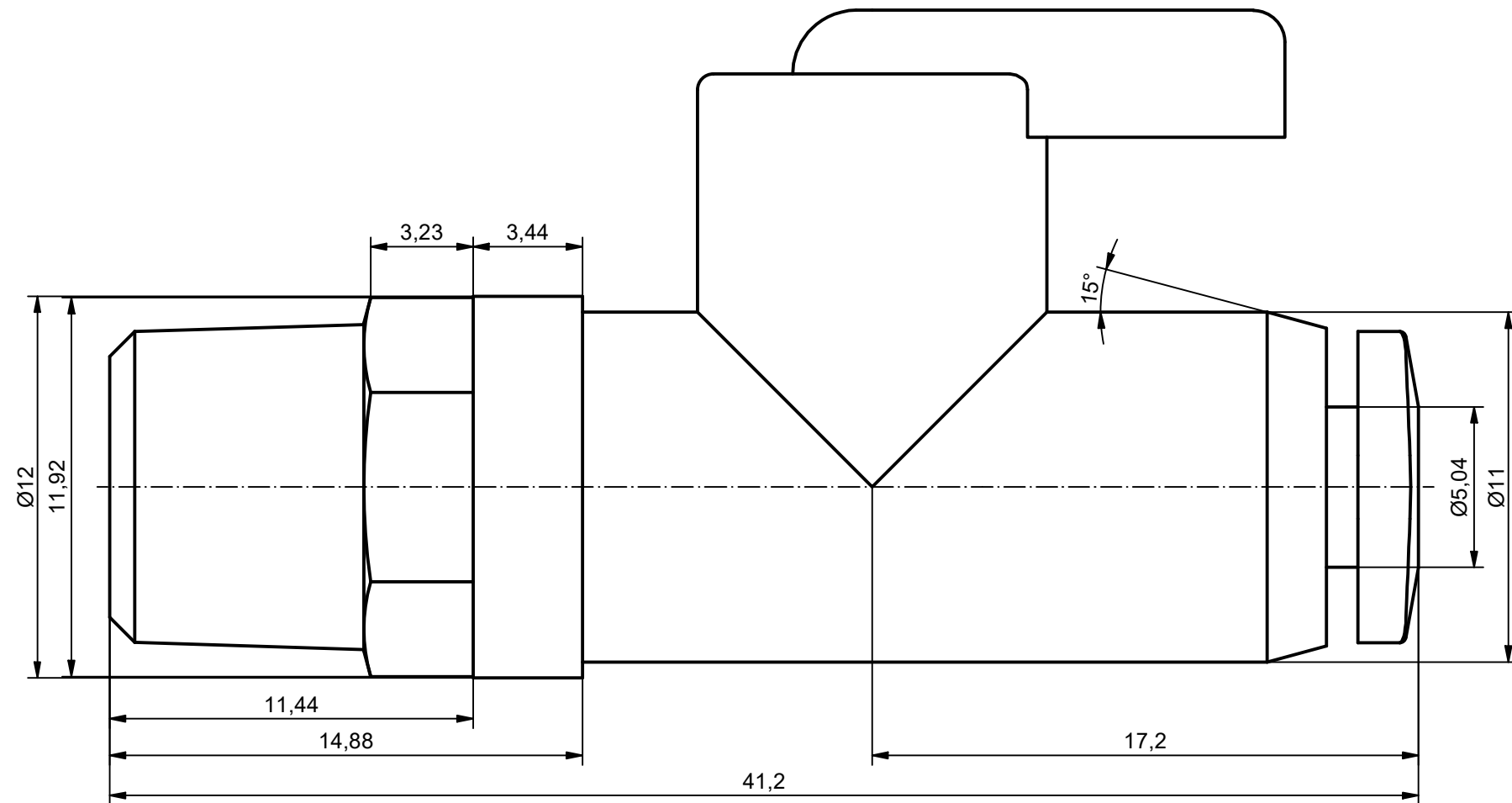
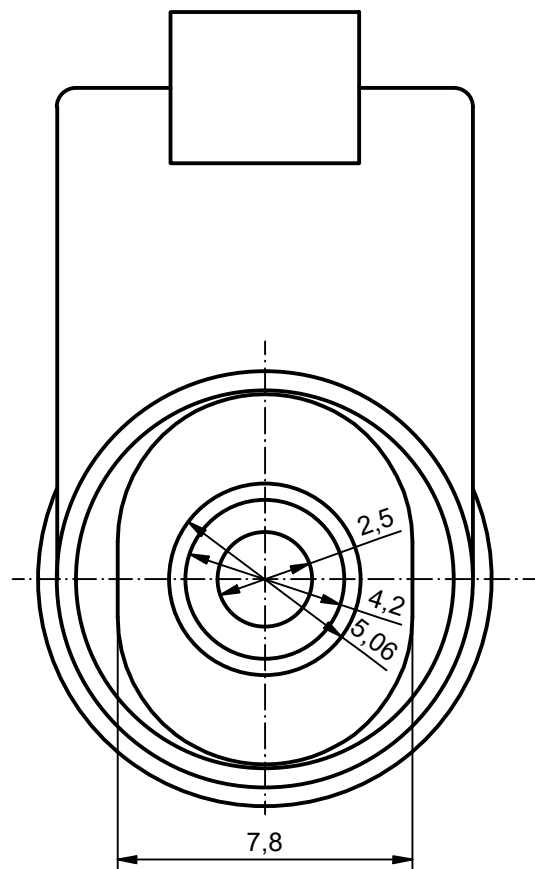
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN
DIBUJADO	15/04/2024	D. Redecillas		
COMPROBADO				
C. CALIDAD				
ESCALA	DESIGNACIÓN			Nº DE PLANO
1:1 A3	Colector superior			45/50
				SUSTITUYE A
				SUSTITUIDO POR



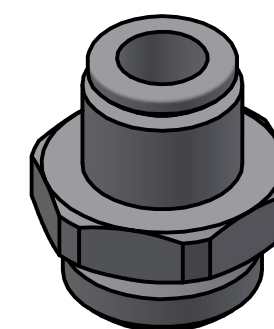
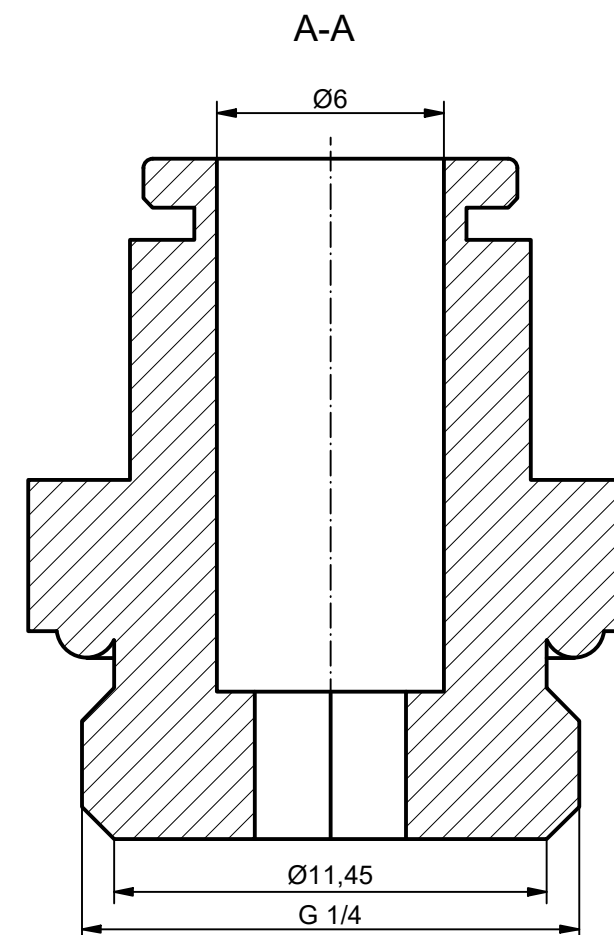
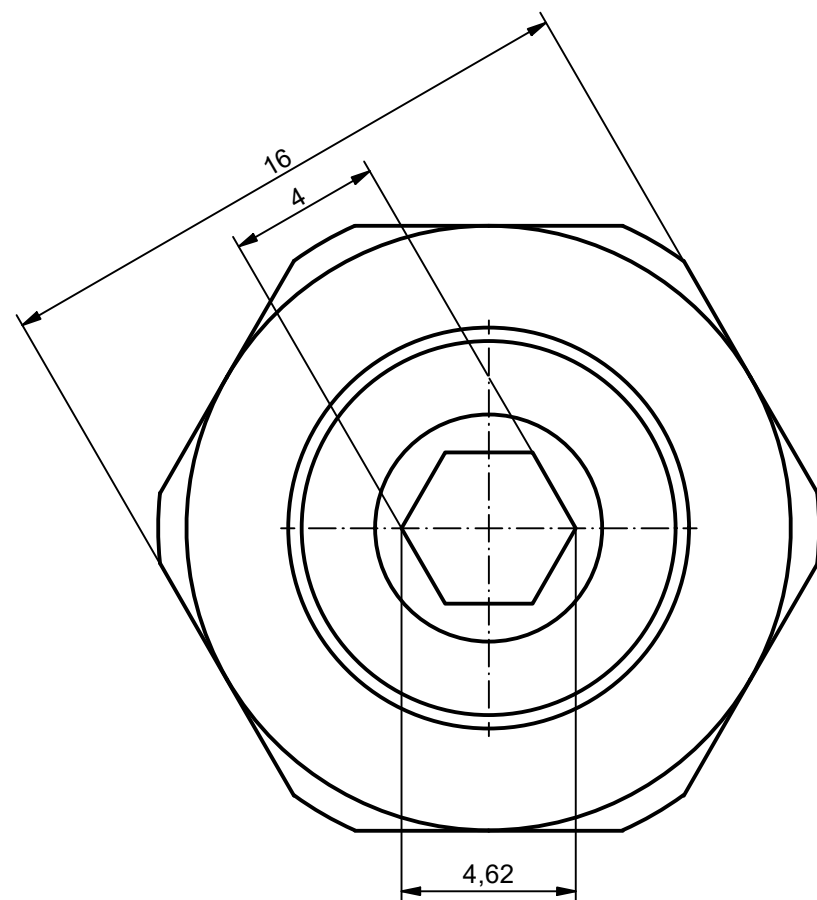
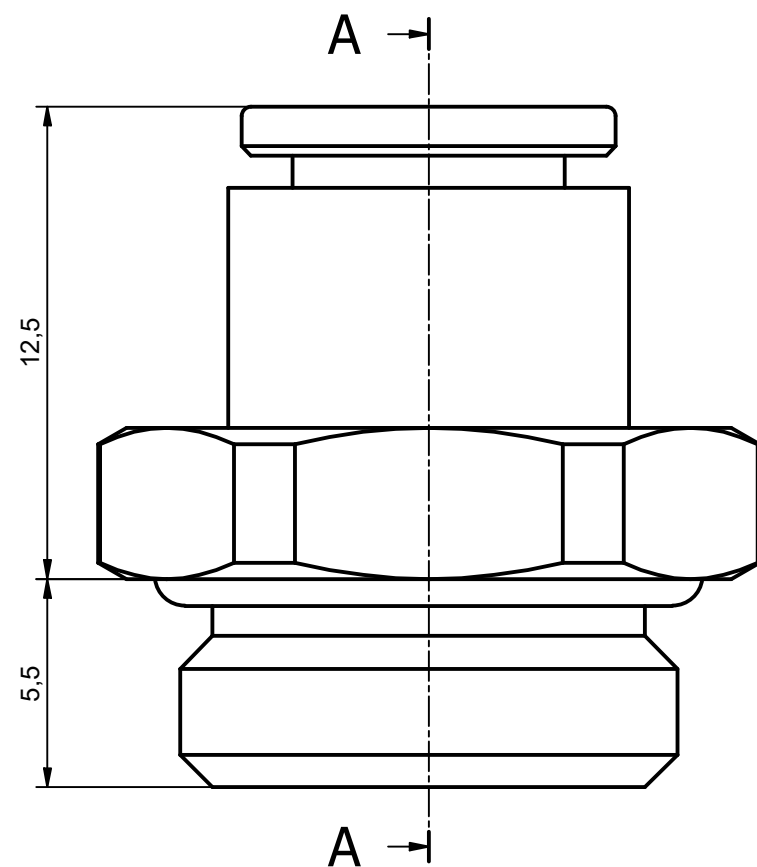
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN
DIBUJADO	15/04/2024	D. Redecillas		
COMPROBADO				
C. CALIDAD				
ESCALA	DESIGNACIÓN			Nº DE PLANO
1:1 A3	Colector inferior			46/50
				SUSTITUYE A
				SUSTITUIDO POR



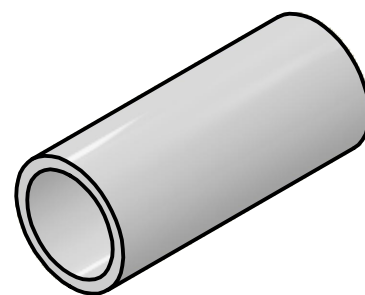
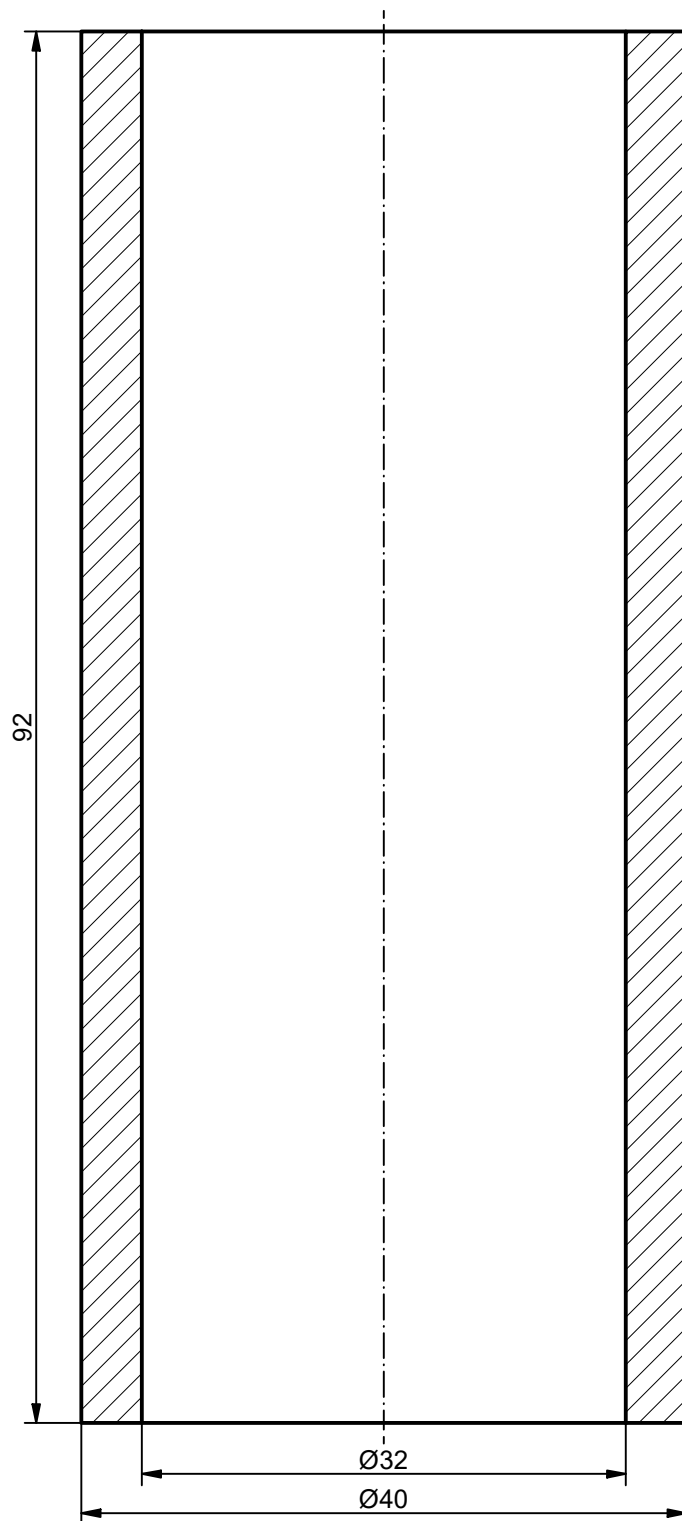
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN
DIBUJADO	26/03/2024	D:Redecillas		
COMPROBADO				
C. CALIDAD				
ESCALA	DESIGNACIÓN			Nº DE PLANO
5:1 A2	Conexión rápida de latón			47/50
				SUSTITUYE A
				SUSTITUIDO POR



	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN	
DIBUJADO	01/04/2024	D.Redecillas			
COMPROBADO					
C. CALIDAD					
ESCALA	DESIGNACIÓN				Nº DE PLANO
5:1 A3	Llave de paso. Conexión rápida				48/50
					SUSTITUYE A
					SUSTITUIDO POR



	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN	
DIBUJADO	07/05/2024	D. Redecillas			
COMPROBADO					
C. CALIDAD					
ESCALA	DESIGNACIÓN			Nº DE PLANO	
5.1 A3	Conexiones rápidas G 1/4			49/50	
				SUSTITUYE A	
				SUSTITUIDO POR	



	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	 ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES UNIVERSIDAD DE JAÉN
DIBUJADO	12/06/2024	D.Redecillas		
COMPROBADO				
C. CALIDAD				
ESCALA	DESIGNACIÓN Tubo de metacrilato 40x32x92			Nº DE PLANO 50/50
2.1				SUSTITUYE A
A4				