



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

DISEÑO, FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UNA TURBINA PELTON PARA USO DOCENTE

Alumno: Gaspar Moral Tejero

Tutor: Mario Miró Barnés

Depto.: Ingeniería mecánica y minera

Noviembre, 2020

Datos personales			
DNI	Primer Apellido	Segundo Apellido	Nombre
26507466N	MORAL	TEJERO	GASPAR
Datos Académicos			
Titulación que ha cursado (Grado o Máster)			
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA			
Centro	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LINARES		
Título del trabajo			
DISEÑO, FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UNA TURBINA PELTON PARA USO DOCENTE			
Tutor/a del TFG/TFM			Universidad/Institución
MARIO MIRÓ BARNÉS			UNIVERSIDAD DE JAÉN / EPS DE LINARES
Propiedad intelectual compartida (artículo 17.2 del RRAEA - <i>márquese lo que corresponda</i>):			Sí No X
EL AUTOR MANIFIESTA Que es el autor de la obra y por tanto titular de los derechos de explotación, o en su caso, cuenta con el consentimiento del resto de los autores. Igualmente declara que es autor original del trabajo, en el sentido de que no ha utilizado fuentes sin citarlas debidamente.			
AMBOS AUTORIZAN A la Universidad de Jaén (UJA) para publicar el citado Trabajo Fin de Grado/Máster en TAUJA con fines docentes y de investigación, en el formato que se considere necesario para su libre acceso, permitiendo solamente la visualización del mismo. Esta autorización viene refrendada por la firma del director/a o tutor/a del trabajo. La UJA, en virtud del presente documento, adquiere el derecho de poder difundir el Trabajo Fin de Grado/Máster a través de Internet o de otros medios.			Si X No

En Linares, a 27 de Noviembre de 2020

Firma del autor /a



Firma del Tutor/a

MIRO BARNES
MARIO -
26219341P

Firmado digitalmente
por MIRO BARNES
MARIO - 26219341P
Fecha: 2020.11.22
13:23:39 +01'00'

De interés:

La Universidad de Jaén expone que:

- Los derechos de autor quedan protegidos mediante la autorización de cesión no exclusiva de derechos entre la Universidad y el autor, o en su caso, autores, que se reserva/n el derecho de publicar sus trabajos en otras editoriales y soportes. Por su parte, la Universidad garantiza la visibilidad y acceso a la producción científica y docente que genera.
- Los Trabajos Fin de Grado/Máster estarán protegidos por licencias Creative Commons del tipo “Reconocimiento -no comercial - sin obra derivada” de modo que los usuarios estarán obligados a citar y reconocer los créditos de los trabajos de la manera que especifique el autor, no se podrán utilizar para fines comerciales y no se podrán alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de los mismos.
- La integridad del contenido del Trabajo queda garantizada por las opciones de seguridad del formato de almacenamiento utilizado que será PDF u otros de similares características que en el futuro pudieran determinarse.
- La autorización tiene, en principio, una vigencia indefinida, si bien se podrá, en cualquier momento, revocar la autorización que ha prestado, siempre y cuando el autor o autores manifiesten dicha voluntad por escrito ante la Universidad de Jaén.

Circunstancias excepcionales

Se contempla como **circunstancia excepcional** la no autorización de acceso abierto a los trabajos depositados en TAUJA, como puede ser, la existencia de convenios de confidencialidad con empresas o la posibilidad de generación de patentes que recaigan sobre el contenido del trabajo, o cualquier otro motivo estimado, se establece el siguiente procedimiento para asegurar la no publicidad de estos trabajos:

- **Informe motivado.** Se adjuntará un Informe motivado del director/a del TFG/TFM, exponiendo la razón por la cual no considera oportuno la difusión en abierto de dicho trabajo.
- **Fecha fin de embargo.** En este informe se indicará la fecha a partir de la cual, vencen los motivos del embargo. A partir de la fecha indicada se podrá visualizar el documento a texto completo.

Motivación de la **NO** aceptación de publicación en abierto del TFG/TFM en TAUJA

Fecha de embargo (en su caso): _____

Índice

1. RESUMEN	5
1.1 Resumen.....	5
1.2 Abstract.....	5
2. INTRODUCCIÓN	7
2.1 Partes de una Turbina Pelton	8
3. OBJETIVOS	12
4. MATERIALES Y MÉTODOS	13
4.1 Centro de mecanizado Fagor LAGUN 650	13
4.1.1 Tipos de programación.....	14
4.1.2 Herramientas	17
4.2 Impresora 3d Anet A8.....	20
4.3 Sierra de cinta Optimum S 275 G	20
4.4 Taladro B 40 GSP	21
4.5 Torno.....	22
4.6 Dinamómetros PHYWE.....	22
4.7 Máquina de corte por chorro de agua TCI cutting BP-C series.....	23
5. PROCEDIMIENTO Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS	24
5.1 Diseño	24
5.1.1 Triángulos de velocidades	24
5.1.2 Dimensiones del inyector	26
5.1.3 Geometría y diseño de la cuchara Pelton	28
5.1.4 Geometría del rodete	32
5.1.5 Paso máximo y número de cucharas	34
5.2 FABRICACIÓN	36
5.2.1 Carcasa	36
5.2.2 Inyector.....	43
5.2.3 Rodete, Palas y Eje.....	47
5.3 Organización y Presupuesto.....	51
5.4 Producto final.....	53
5.5 Futuras mejoras.....	54
6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN	56
ANEXO: Fichas Técnicas y G-code utilizados en CNC	57
BIBLIOGRAFÍA	70

Índice de Imágenes

Ilustración 1: Selección de turbina [3].....	7
Ilustración 2: Rodete Pelton [1].....	8
Ilustración 3: Pala Pelton.....	9
Ilustración 4: Esquema de un distribuidor [2]	9
Ilustración 5: Inyector y deflector [5].....	10
Ilustración 6: Carcasa [2].....	10
Ilustración 7: Lagun 650 (EPS Linares)	13
Ilustración 8: Lagun 650 (EPS Linares)	13
Ilustración 9: Uno de los módulos del lenguaje conversacional (EPS Linares).....	14
Ilustración 10: ejemplo de G-code [4].....	15
Ilustración 11: pieza obtenida del G-code [4]	15
Ilustración 12: Mando para mecanizado manual (EPS Linares)	16
Ilustración 13: Garras para la cogida de tochos de material cilíndrico (EPS Linares) [7]	16
Ilustración 14: Mordazas para la cogida de tochos con caras paralelas (EPS Linares) [9]	17
Ilustración 15: Herramienta tipo fresa de 3 filos (EPS Linares)	18
Ilustración 16: Palpador cogiendo referencias del eje de la turbina (EPS Linares)	19
Ilustración 17: Biblioteca de herramientas Lagun 650 (EPS Linares)	19
Ilustración 18:Anet A8 (EPS Linares).....	20
Ilustración 19:Sierra de cinta S275G (EPS Linares)	21
Ilustración 20: Taladro B 40 GSP (EPS Linares).....	21
Ilustración 21: Torno (EPS Linares).....	22
Ilustración 22: Dinamómetro (EPS Linares)	23
Ilustración 23: Waterjet (EPS Jaén).....	23
Ilustración 24: Diagrama de velocidades [2].....	25
Ilustración 25: Velocidad absoluta en la salida [2].....	26
Ilustración 26: Inyector típico de una Pelton [2]	27
Ilustración 27: Inyector usado actualmente (TFG).....	27
Ilustración 28: Despiece del inyector Edibon (EPS Linares)	28
Ilustración 29: Determinación de la geometría de una cuchara [2].....	29
Ilustración 30: Plano pala Pelton (TFG).....	30
Ilustración 31: Preparación de planos sucesivos (TFG)	30
Ilustración 32: Generación de superficie mediante planos sucesivos (TFG)	31
Ilustración 33: Pala versión 1 (TFG)	31
Ilustración 34: Pala versión 2 (TFG)	32
Ilustración 35: Diámetro total en la turbina (TFG).....	34
Ilustración 36: Ejemplo de formato .dxf de AutoCad (TFG)	37
Ilustración 37: Frontal turbina Edibon (EPS Linares)	37
Ilustración 38: Perfil turbina Edibon (EPS Linares).....	38
Ilustración 39: En verde, búsqueda de la alineación entre soporte del inyector y eje ..	38
Ilustración 40: Acople del inyector, vista trasera (EPS Linares).....	39
Ilustración 41: Desprendimiento lateral del material (EPS Linares).....	39

Ilustración 42: Detalle de la simulación en máquina de la cajera circular realizada en dos niveles (EPS Linares)	40
Ilustración 43: Carsa actual vista isométrica (EPS Linares)	42
Ilustración 44: Carcasa actual vista posterior (EPS Linares)	43
Ilustración 45: Sección del inyector actual (TFG).....	44
Ilustración 46: Cuerpo principal de la aguja (pvc) con detalle de torneado (EPS Linares)	45
Ilustración 47: Cuerpo principal con mecanizado básico (EPS Linares)	45
Ilustración 48: Detalle del taladro inclinado (EPS Linares)	46
Ilustración 49: Resultado final del cuerpo principal del inyector (EPS Linares)	46
Ilustración 50: Pala punto de vista 1 (EPS Linares)	47
Ilustración 51: Pala punto de vista 2 (EPS Linares)	48
Ilustración 52: Pala después del lijado (EPS Linares)	48
Ilustración 53: Obtención del 0 pieza con palpador (EPS Linares).....	49
Ilustración 54: Montaje rodete y palas (EPS Linares)	50
Ilustración 55: Frontal del ensamblaje completo de la turbina (EPS Linares)	53
Ilustración 56: Vista inferior del ensamblaje completo de la turbina (EPS Linares) ...	53
Ilustración 57: Vista posterior del ensamblaje completo de la turbina (EPS Linares) .	54
Ilustración 58: Guía para la aguja del inyector (EPS Linares)	55

1. RESUMEN

1.1 Resumen

En este trabajo fin de grado se realiza el proceso completo de fabricación de una turbina Pelton, desde la toma de condiciones iniciales, pasando por el diseño y testeo del prototipo.

Para ello se realizará una planificación previa al proyecto, donde se discutirán los posibles problemas, medios de fabricación, materiales, etc. Una vez bien definidos todos los parámetros influyentes, se realizarán los primeros cálculos para definir cotas y se obtendrá el CAD de la turbina, siendo así posible la obtención de los planos del modelo. Entonces, se procederá a la fabricación, montaje y ensayo de la turbina Pelton.

El objetivo final es la obtención de una turbina funcional, con un rendimiento a la altura del proceso de fabricación realizado y lo más similar posible a los resultados teóricos. La base del conocimiento aplicado procede de asignaturas como Tecnología e Ingeniería de Fabricación, Mecánica de Fluidos y Máquinas e Instalaciones de Fluidos.

Mediante este trabajo fin de grado se pretende dar a la universidad la capacidad de disponer de más equipos Pelton para el desarrollo de la docencia. De esta manera, se pueden demostrar los conocimientos aprendidos en el grado y su posible aplicación a un prototipo real.

Al ser esta turbina un prototipo, el margen de mejora de la misma es amplio. En este documento se tratarán posibles cambios o añadidos, dando así, la facilidad para el desarrollo de una futura versión.

1.2 Abstract

This end-of-grade project goes through the whole development of a Pelton turbine, from the decision-making, to the design, manufacturing and test of the prototype.

For this, a preview plan of the project will be done, where it will be found the possible problems, manufacturing process, materials, etc. Once all the important parameters have been set, the first calculations will be carried out to get the initial dimensions and the turbine's CAD, thus making it possible to obtain the model's blueprints. Therefore, the Pelton turbine will be manufactured, assembled and tested.

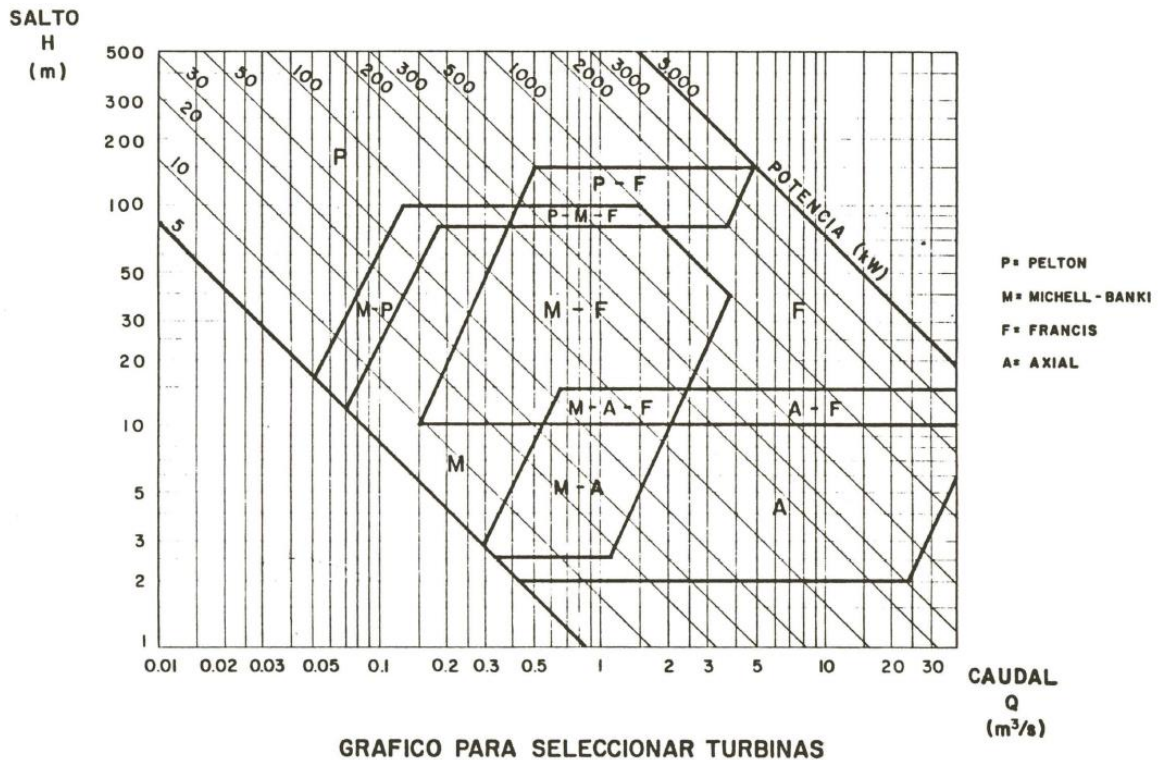
The final goal is to get a functional and useable turbine which has a performance in balance with the manufacturing used methods and as close as possible with the theoretical result obtained. The base of the knowledge comes from subject such as Manufacturing Technology and Engineering, Fluid Mechanics and Fluid Machines installations.

Through this end-of-grade project, it is intended to give the university the chance to get more Pelton turbines for the improvement of teaching. In this way, the knowledge learn during the grade can be shown and its application in the real prototype.

Since this is a prototype, the room for improvement is wide. In this document changes or additions will be discuss, thus facilitating the development of a future version.

2. INTRODUCCIÓN

Existen muchos tipos de turbinas para obtener energía de un salto de agua, entre ellas las más usadas son: Francis, Kaplan y Pelton. La mayor diferencia entre estos tres tipos de turbina es la diferencia de altura con la que operan (ver ilustración 1).



Además, las turbinas se pueden clasificar como de acción o de reacción. Las turbinas de acción son aquellas en las que el fluido no sufre un cambio de presión importante a través del rodete y las de reacción justo, al contrario, estas si sufren un cambio de presión significativo a su paso por el rodete.

La turbina Pelton se define como una turbina de acción y tangencial, debido a la forma en la que impacta el chorro en las palas. Se puede decir también que dicha turbina está enfocada a saltos mayores de 100m, eso sí, dependiendo del caudal que maneje.

Al tener una diferencia de altura existe una energía potencial gravitatoria del agua embalsada, o energía de presión, que se convierte en energía cinética transmitida mediante el fluido y la cual, sale a través del inyector con una velocidad correspondiente a la altura del salto útil. Dicha velocidad del fluido hace que el chorro impacte en las palas, obteniéndose el trabajo mecánico deseado.

La forma cóncava de los álabes hace que el chorro cambie de dirección, saliendo el fluido en dirección casi opuesta, quedando una energía despreciable, y con un ángulo suficiente para no impactar el álabe que le precede. Así, se produce la transmisión de la energía cinética al rodete.

2.1 Partes de una Turbina Pelton

Como elemento principal en toda turbina hidráulica está el rodete en sí. Aunque dicho elemento no es el único que podemos encontrar en una Pelton.

Rodete

Este elemento se compone de el número necesario de palas que debe llevar la turbina, un cuerpo cilíndrico que hará de cuerpo rígido para el ensamblaje de dichas palas y un eje que transmite la energía generada a un generador o en este caso a un dinamómetro que nos permite ver esa misma energía (ver ilustración 2).



Ilustración 2: Rodete Pelton [1]

Cada vez que el chorro incide en una pala se genera un rechazo, es por este motivo que las palas tienen un hueco en su parte superior, un poco mayor que el diámetro del chorro. De esta manera, evitamos ese rechazo y aumentamos el rendimiento.

Además, las palas tienen una forma elíptica dividida por una cresta de manera simétrica. Al estar dividido de esta manera y separar el fluido en dos partes iguales, eliminamos la componente axial que pueda generar el chorro, evitando así que sufran los rodamientos del eje (ver ilustración 3).

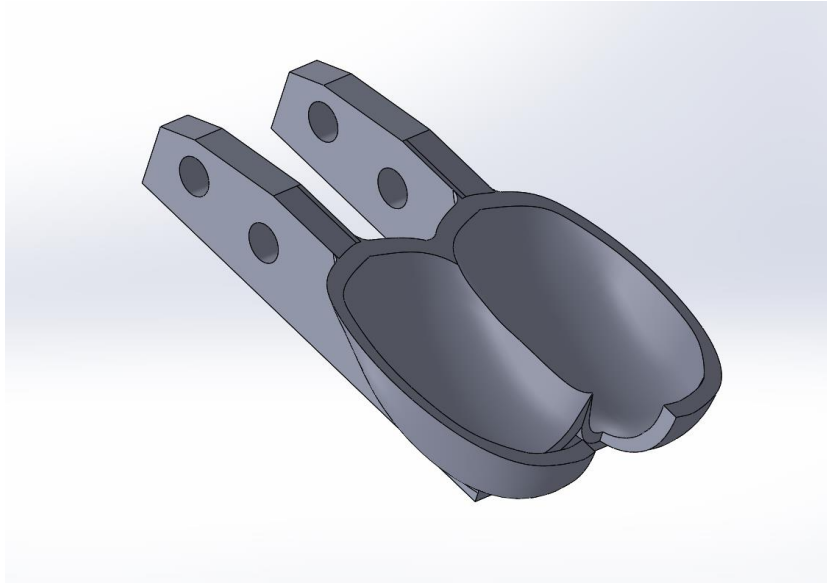


Ilustración 3: Pala Pelton

Distribuidor de la turbina

Está formado por uno o varios equipos de inyección de agua. Cada equipo a su vez se forma por varios elementos mecánicos, los cuales tienen como objetivo dirigir de manera adecuada el chorro para que impacte justo en el centro de la pala. Por otro lado, son los encargados de regular el caudal.

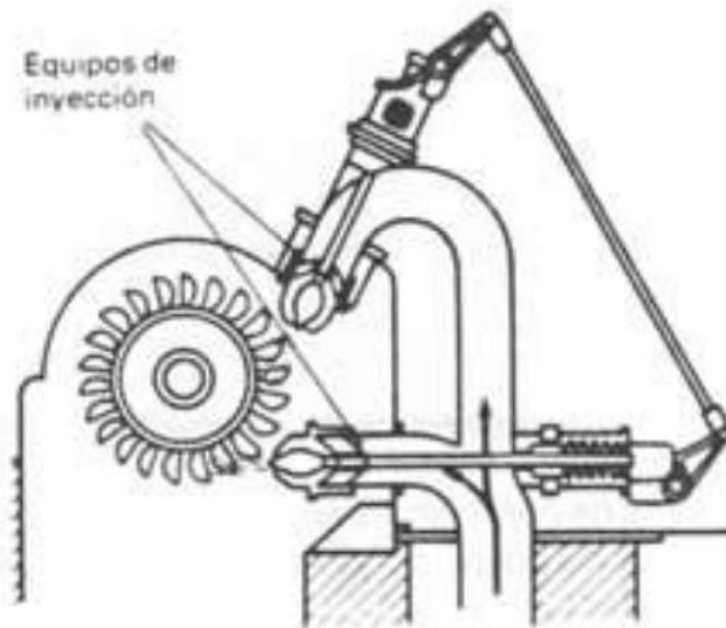


Ilustración 4: Esquema de un distribuidor [2]

Inyector

Este es el elemento principal que forma el distribuidor. El inyector es una tobera que está diseñada para conseguir el caudal deseado y disminuir las pérdidas de carga en la instalación.

El inyector a su vez contiene una aguja en su interior la cual regula el caudal que afecta al rodete. Siendo este caudal en las turbinas Pelton de vital importancia, ya que el cierre repentino de la aguja puede producir un golpe de ariete.

Los golpes de ariete son aumentos de presión los cuales pueden producir un desastre fatal en la instalación. Este fenómeno suele ocurrir cuando hay un fallo en el generador y existe la necesidad de para la turbina de manera repentina. En caso contrario se puede producir resonancia en el rodete lo cual conllevaría a la destrucción del mismo.

Por ello, existen los deflectores. Son pantallas abatibles y con forma curva que en situación de emergencia desvían el chorro, evitando así que se generen daños a cualquier parte de la turbina.

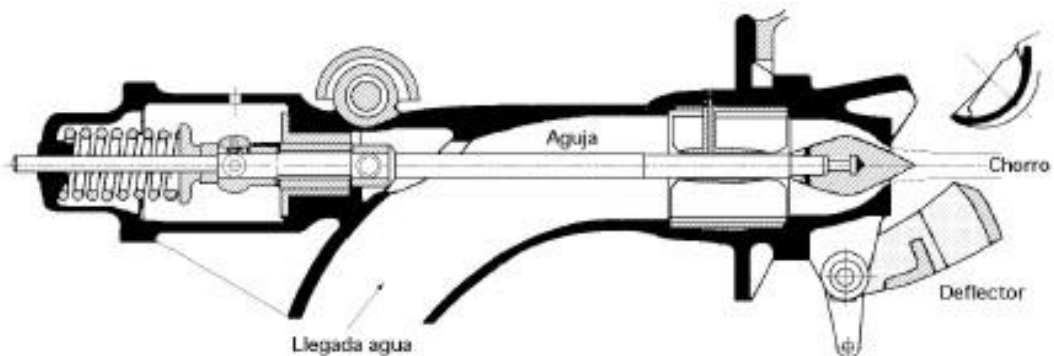


Ilustración 5: Inyector y deflector [5]

Carcasa de la turbina

La carcasa de la turbina tiene la misión de evitar la salpicadura producida por el agua al chocar con las palas. Está compuesta por un conjunto de juntas de estanqueidad y equipos de drenaje que les ayudan a cumplir su función de estanqueidad.

Además, la carcasa alberga a el resto de componentes nombrados antes en su interior. Ayudando así a reducir el deterioro de los mismo y la posible corrosión producida por el agua en algunas partes.



Ilustración 6: Carcasa [2]

Cámara de descarga

Es la parte donde cae el agua de manera libre después de haber usado toda su energía cinética en el rodete. Normalmente es una tubería que lleva el agua de vuelta a su cauce natural.

Eje

Unión rígida entre el generador y el rodete. Debe estar guiado por unos rodamientos correctamente alineados y lubricados. Dicha falta de alineación o lubricación es sumamente importante ya que puede producir una caída drástica en el rendimiento total de la turbina.

3. OBJETIVOS

Los objetivos principales de este trabajo fin de grado son los siguientes:

- Aumentar y aplicar conocimiento aprendido en el grado. Tanto en la parte fluido mecánica, como en el proceso de fabricación de la turbina. Conociendo a fondo como se diseña una turbina, obteniendo medidas, sacando triángulos de velocidades, entre otros y poniendo a prueba, sobre todo, el conocimiento sobre mecanizado tanto en máquinas tradicionales como en control numérico.
- Dar a la universidad la capacidad de producción de una turbina. Lo cual es muy útil para usar en futuras prácticas de laboratorio en asignaturas de mecánica de fluidos.
- Comparar los resultados teóricos con los obtenidos de manera real, una vez construida la turbina. Con el objetivo de ver la efectividad en la fabricación, montaje y diseño.
- Concienciar sobre la importancia de la fabricación sobre en diseño. Esta muy instaurado actualmente el diseño en CAD, pero muchas veces no se tiene en cuenta cuán importante es enfocar ese diseño al futuro proceso de fabricación que se va a seguir.
- Obtener un prototipo final totalmente capaz. Sacar resultados finales los cuales estén a la altura del proceso seguido y que sean lo suficientemente válidos para realizar una práctica real de laboratorio.
- Aprender fallos de fabricación del actual equipo Pelton e intentar corregirlos en el proyecto actual. Llevando a cabo el despiece de la actual turbina disponible en el laboratorio y realizando una inspección visual.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

En este apartado se explicarán las técnicas y equipamiento usados durante todo el proyecto. Características técnicas más específicas de algunas maquinas en el Anexo.

4.1 Centro de mecanizado Fagor LAGUN 650

Basado en el CNC (Control numérico por computadora) este centro de mecanizado se sirve de un sistema de referencia (X, Y, Z) que especifica el movimiento de la herramienta de corte.



Ilustración 7: Lagun 650 (EPS Linares)

Este centro de mecanizado se compone por dos partes principales móviles: el carro y la torreta. Además, dentro de la cabina también existe un brazo el cual selecciona las herramientas dependiendo de la que necesitemos. Esta selección se realiza desde una rueda móvil que actúa de “biblioteca” de herramientas. Disponiendo así de 20 tipos de herramientas diferentes al momento.



Ilustración 8: Lagun 650 (EPS Linares)

4.1.1 Tipos de programación

Hay varios tipos de programación del mecanizado en esta máquina: programación automática, lenguaje conversacional, programación manual y mecanizado mediante controlador.

- Programación automática. Generalmente realizada mediante un software (Winunisoft en este caso) con CAD. Se hace un modelo 3d y se realiza una simulación en el programa obteniendo el mecanizado deseado. Una vez realizada dicha simulación el programa muestra el código requerido. Solo queda transferir el código al CNC y este lo interpreta de manera automática.
- Lenguaje conversacional. Este tipo de programación del mecanizado es muy específico y concretamente en esta máquina tiene un número limitado de operaciones a realizar. En este tipo de programación solo se dan cotas desde un punto de referencia predefinido por el mecanizador y el ordenador del CNC realiza el resto de movimiento de forma automática, ya que están predefinidos.

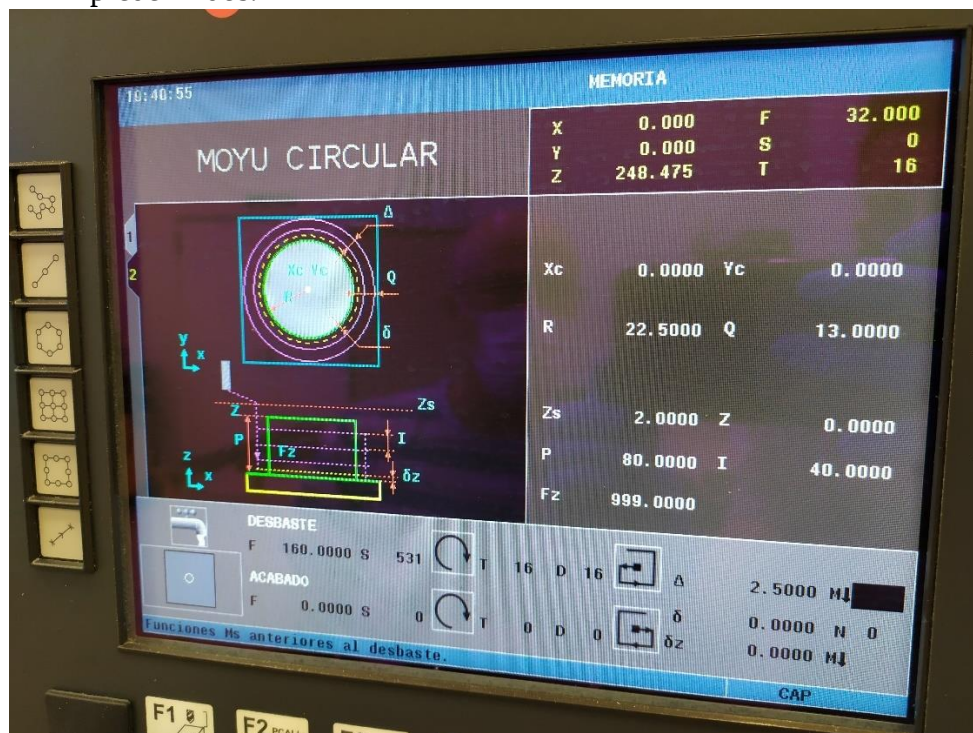


Ilustración 9: Uno de los módulos del lenguaje conversacional (EPS Linares)

- Programación manual. Se puede realizar desde un ordenador o desde la misma pantalla del CNC. Básicamente el mecanizador realiza el código (llamado G-code) escribiéndolo y dando el mismo las ordenes, por ejemplo: G0 T10 M6 (G0 avance rápido, T10 cambio de herramienta a la que se encuentra en la posición 10 y M6 ejecución de las dos órdenes anteriores). Esta forma de programación es poco frecuente ya que tiene más riesgo y lentitud. En las ilustraciones 10 y 11 podemos ver el resultado de la ejecución de un G-code.

```

N0010 G54 X0 Z0
N0020 G54
N0030 G95 F0.04 S1000 T1.1 M4
N0040 G0 X141 Z1
N0050 G68 P0=K40 P1=K0 P5=K2 P7=K0.5 P8=K0.3 P9=K0.03 P13=K0060 P14=K0140
N0060 G01 X39 Z0
N0070 X40 Z-1
N0080 G01 X40 Z-20
N0090 G03 X50 Z-25 I5 K0
N0100 G01 X50 Z-100
N0110 X100 Z-100
N0120 X100 Z-260
N0130 X140 Z-280
N0140 X140 Z-322
N0150 T7.7 M4
N0160 G01 X50 Z-90
N0170 G02 X50 Z-100 R5

```

Ilustración 10: ejemplo de G-code [4]

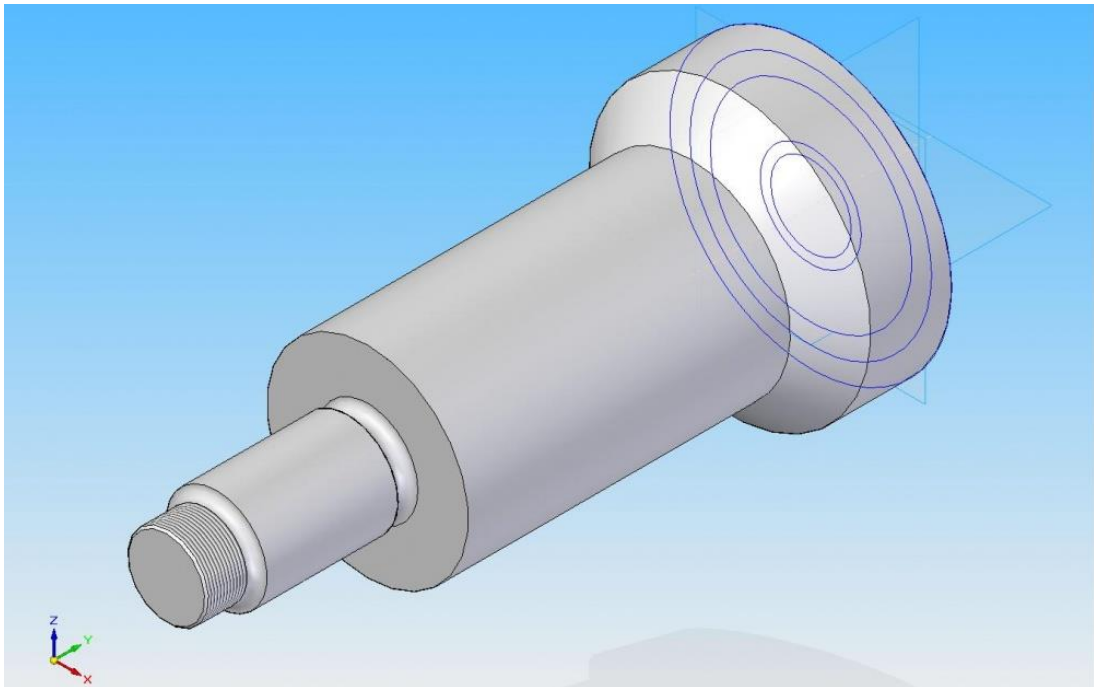


Ilustración 11: pieza obtenida del G-code [4]

- Mecanizado mediante controlador. Basado en el control de los tornos o fresadoras antiguos. Esta máquina dispone de un mando en el que se controlan los movimientos mediante una rueda giratoria. Además, se seleccionan entre los ejes X, Y, Z para mover conforme sea necesario. Este tipo de mecanizado se realiza para operaciones de limpieza de piezas para búsqueda de un cero relativo en el sistema de referencia.



Ilustración 12: Mando para mecanizado manual (EPS Linares)

Por último, una de las partes más relevantes del CNC son las garras y mordazas. Ambas dos, son los dispositivos donde se colocan los tochos de material (ver ilustración 13 y 14). Son muy importantes porque limitan el movimiento que puede hacer la herramienta, ya que en ningún momento la herramienta puede chocar contra estos. En caso de colisión la herramienta podría romperse y salir disparada.



Ilustración 13: Garras para la cogida de tochos de material cilíndrico (EPS Linares) [7]

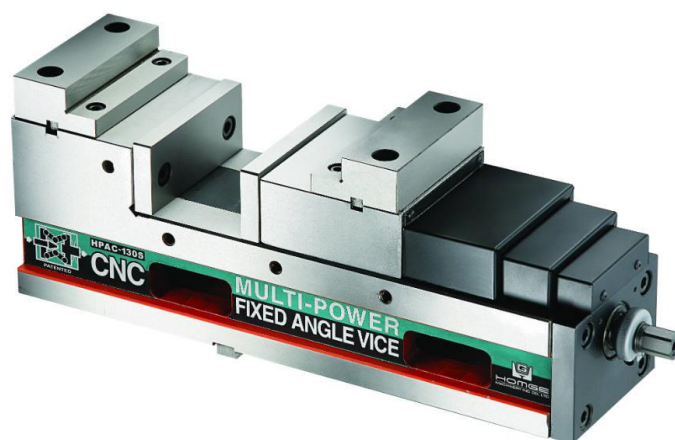


Ilustración 14: Mordazas para la cogida de tochos con caras paralelas (EPS Linares) [9]

4.1.2 Herramientas

Como se explica anteriormente en este CNC se compone por una biblioteca (ver ilustración 17) de 24 herramientas. Podemos saber sus características principales gracias a la siguiente tabla:

Nº HERRAMIENTA	D	TIPO	FILOS	MATERIAL
T1	80	Plana	5	Plaquetas
T2	40	Plana	4	Plaquetas
T3	32	Plana	3	Plaquetas
T4	20	Plana	2	Acero rápido
T5	16	Plana	2	Plaquetas
T6	12	Plana	4	Metal duro
T7	10	Plana	4	Metal duro
T8	8	Plana	4	Metal duro
T9	10	Esférica	4	Metal duro
T10	PORTABROCAS			
T11	PORTAMACHOS			
T12	PALPADOR			
T13	6	Plana	4	Metal duro
T14	4	Plana	4	Metal duro
T15				
T16	18	Plana	3	Acero rápido

Donde las diferentes “T” hacen referencia a el tipo de herramienta que se escoge, ya que, en la memoria del centro de mecanizado están todas las características de cada una de las herramientas. De esta manera, al llamar a la T6, por ejemplo, la máquina sabe que tiene que realizar cualquier mecanizado con una distancia extra de 6 mm, debido a que el diámetro de esta herramienta es 12 mm.

Por otro lado, el tipo de filo, la forma y el material son variables que se deben de tener en cuenta dependiendo de si se va a hacer un desbaste, acabado tipo pulido o tipo desbaste, etc.



Ilustración 15: Herramienta tipo fresa de 3 filos (EPS Linares)

Como ejemplo en la ilustración anterior (15) se pueden observar una herramienta de tipo fresa con diámetro 20 mm, acero rápido, 3 filos de corte y plana. Esta fresa corresponde en la Lagun 650 a la T4. Hay que aclarar que cada centro de mecanizado lleva un orden personalizado de herramientas.

Otra herramienta totalmente imprescindible para cualquier mecanizado es el palpador (ver ilustración 16). Esta herramienta permite a la maquina saber dónde está situada la pieza dentro de su sistema de referencia predeterminado. Además, permite generar otro sistema de referencia diferente al mecanizador, poniendo el origen de su sistema en el punto más cómodo para realizar el procesado de la pieza.

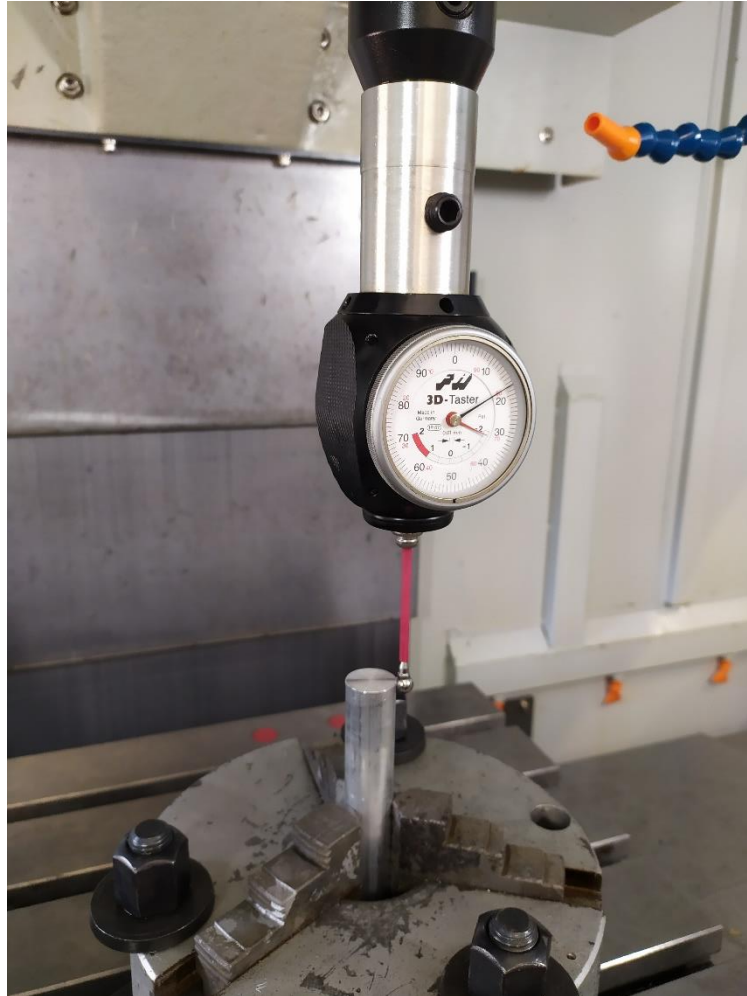


Ilustración 16: Palpador cogiendo referencias del eje de la turbina (EPS Linares)



Ilustración 17: Biblioteca de herramientas Lagun 650 (EPS Linares)

4.2 Impresora 3d Anet A8

Para la fabricación de las palas se ha hecho uso de la impresora disponible en el laboratorio de mecanizado, Anet A8.

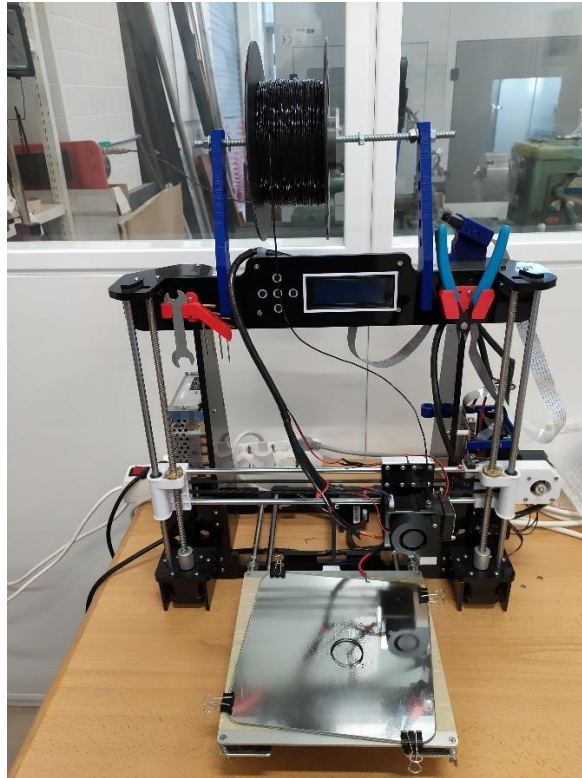


Ilustración 18: Anet A8 (EPS Linares)

Cuenta con una estructura acrílica cortada con láser y su volumen de impresión es de 220 x 220 x 240 mm. También es compatible con muchos materiales, entre los que se incluyen el ABS, el PLA, el PVA, el nailon, el polipropileno, los filamentos de madera, etc. Además, está equipada con poleas de metal para un rendimiento y una funcionalidad mejorados, engranajes de avance de liberación rápida para una extrusión eficiente y varillas de plomo, piñones, soportes y conectores de acero inoxidable [6].

4.3 Sierra de cinta Optimum S 275 G

Sierra 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. Además, este modelo incorpora variador de velocidad.

Generalmente usado para cortar tochos de material, que es el paso previo al mecanizado. También para partes que casi no hay que mecanizar como el eje de la turbina o el eje de la aguja inyectora.



Ilustración 19: Sierra de cinta S275G (EPS Linares)

4.4 Taladro B 40 GSP

Taladro con sistema de refrigeración para el arranque de viruta en el taladrado. Incorpora un motor eléctrico que se encarga del giro de la broca, aparte de la expulsión y cogida automática de la misma.

Usado en el proyecto solamente para repasar agujeros, debido a que es muy difícil garantizar alineaciones y movimientos indeseados en la pieza durante el taladrado.



Ilustración 20: Taladro B 40 GSP (EPS Linares)

4.5 Torno

El torno se usa principalmente para el mecanizado de ejes, roscados, corte, cilindrado, agujereado, etc. Lleva una herramienta de corte, que va montada sobre un carro el cual permite un movimiento longitudinal mediante unas guías situadas a lo largo del torno y otro movimiento trasversal de acercamiento a la pieza que lo proporciona el propio carro.

En el carro lleva un portaherramientas donde se ponen los diferentes utensilios de corte o mecanizado. En el extremo opuesto de la garra (donde se sujeta la pieza) se encuentra un contrapunto para sujetar ejes y con la función también de taladro.



Ilustración 21: Torno (EPS Linares)

4.6 Dinamómetros PHYWE

Se han usado dos dinamómetros para hacer la función de medición de fuerza de frenado en el eje. De manera que cuanto más tensión ejercen los dinamómetros sobre la polea que va al eje, más fuerza se aplica sobre ellos. Dato imprescindible para la caracterización y el ensayo de la turbina.

Dichos dinamómetros están compuestos por un muelle y un tubo con una impresión milimétrica que facilita la medición de la fuerza aplicada sobre el mismo muelle. Llegando este hasta los 20 N de fuerza.



Ilustración 22: Dinamómetro (EPS Linares)

4.7 Máquina de corte por chorro de agua TCI cutting BP-C series

La máquina de corte por chorro de agua TCI cutting BP-C sirve, preferentemente, para la realización de cortes en piezas con un grosor de hasta 200mm. Realizando cortes con una precisión de $\pm 0,05$ mm/m.

También conocidas como waterjet, este tipo de máquina se usa para cortes sobre piezas con planos de corte paralelos como los usados para la carcasa de la turbina a realizar.



Ilustración 23: Waterjet (EPS Jaén)

5. PROCEDIMIENTO Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS

Siguiendo un proceso de fabricación lógico, el primer paso es el diseño del prototipo, seguido por el desarrollo y la fabricación.

5.1 Diseño

Los cálculos para el diseño de la turbina tienen como objetivo principal obtener las dimensiones de la misma, es decir, inyector y rodete. Cálculos basados en: (Hernandez & Indacochea, 1988) y (Bustamante Cabrera & Arias Reyes, 2008)

5.1.1 Triángulos de velocidades

Para conocer dichos valores el primero se realizará el estudio del triángulo de velocidades de la pala. El estudio de dicho triángulo tiene relevancia en todas las direcciones. Sin embargo, en este primer paso se hace el desarrollo del triángulo en el plano trasversal de la pala. Partiendo de la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P_o}{\gamma} + \frac{C_o^2}{2g} + Z_o = \frac{P_i}{\gamma} + \frac{C_i^2}{2g} + Z_i + \Delta H_t + \Delta H_i$$

Donde:

- C_o y C_i representan la velocidad de una partícula de agua en el depósito (igual a cero) y a la salida del inyector, respectivamente.
- P_o y P_i representan las presiones en el depósito superior y la salida respectivamente. En este caso ambas son iguales a la presión atmosférica.
- Z_o y Z_i representan las cotas entre la superficie del embalse y la salida del chorro. La diferencia de ambas es igual al salto bruto.
- γ y g son el peso específico del agua y la gravedad respectivamente
- ΔH_t pérdidas en la tubería
- ΔH_i pérdidas en el inyector

Por tanto, se puede deducir que la velocidad del chorro a la salida del inyector es:

$$C_i = \sqrt{1 - \frac{\Delta H_i}{H}} \sqrt{2gH}$$

Donde: H es el salto efectivo de la central. Obtenido restando al salto bruto las pérdidas en la tubería.

Definimos:

$$K_c = \sqrt{1 - \frac{\Delta H_i}{H}}$$

Entonces, la fórmula de la velocidad del chorro a la salida queda:

$$C_i = K_c \sqrt{2gH}$$

Generalmente el coeficiente K_c se puede estimar entre 0,97 y 0,98. Además para este caso, se tomará una altura de 8,15 m y un caudal de 3700 l/h.

$$C_i = 0,98 * \sqrt{2 * 9,81 * 8,15} = 12,4 \frac{m}{s}$$

$$C_i = C_2$$

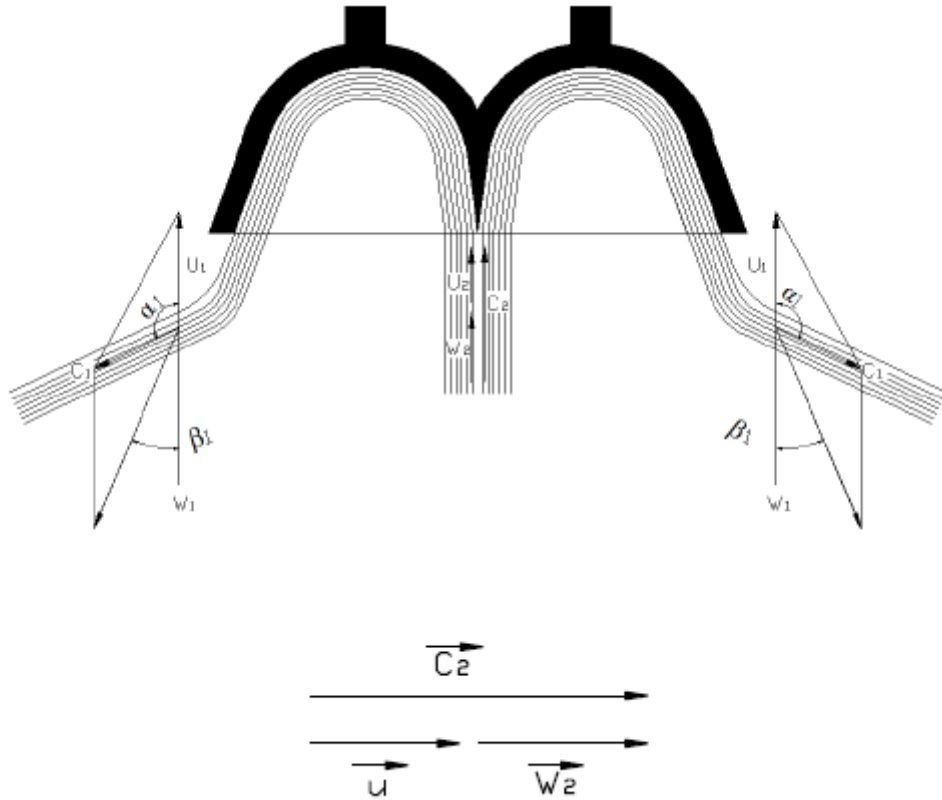


Ilustración 24: Diagrama de velocidades [2]

$$U_2 = K_u * C_2 * \cos \alpha_2$$

$$U_2 = 0,46 * 12,4 * \cos 0 = 5,7 \frac{m}{s}$$

$$w_2 = C_2 * (1 - K_u) = 12,4 * (1 - 0,46) = 6,70 \frac{m}{s}$$

$$w_1 = K_f * C_2 * (1 - K_u) = 0,98 * 12,4 * (1 - 0,46) = 6,56 \frac{m}{s}$$

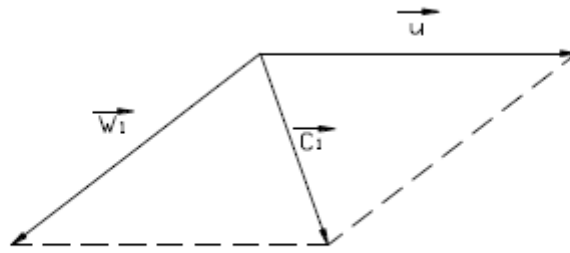


Ilustración 25: Velocidad absoluta en la salida [2]

$$C_1 = C_2 \sqrt{K_u^2 + K_f^2 * (1 - K_u)^2 - 2 * K_u * K_f * (1 - K_u) * \cos(\beta_1)}$$

$$C_1 = 12,4 * \sqrt{0,46^2 + 0,98^2 * (1 - 0,46)^2 - 2 * 0,46 * 0,98 * (1 - 0,46) * \cos(10)} \\ = 1,37 \frac{m}{s}$$

Eficiencia hidráulica teórica de la turbina

Para el cálculo de dicha eficiencia se ha de aplicar la ecuación general de las turbinas expresada tal que:

$$\eta_h = 2 * K_c * K_u * (1 - K_u) * (1 + K_f * \cos(\beta_1))$$

$$\eta_h = 2 * 0,98 * 0,46 * (1 - 0,46) * (1 + 0,98 * \cos(10)) = 0,956 \approx 96\%$$

5.1.2 Dimensiones del inyector

Las dimensiones del inyector van en función del diámetro del chorro, que se determina mediante la siguiente fórmula:

$$d_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi * K_c} * \frac{Q_0}{\sqrt{2gH}}}$$

Donde:

- d_0 es el diámetro de la sección del chorro expresado en m
- Q_0 es el caudal que tendremos en la instalación (m^3/s)

Que conociendo los datos que tenemos en la instalación nuestro diámetro de sección en el inyector es:

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 * 1,0278 * 10^{-3}}{\pi * 0,97 * \sqrt{2 * 9,81 * 8,158}}} = 0,01033 \text{ m}$$

Es decir, el diámetro es de 10,33 mm. Aunque, el diámetro total de la tobera, que no del chorro, viene dado por la tabla N.º 1.0

Tabla N.º 1.0: Proporciones de la tobera en función del diámetro		
a	$1,42*d$	m
α_0	40-60	grados
α_1	60-90	grados
d_t	$1,1*d$	m
x	$0,5*d$	m
d_v	$0,58*d$	m
b	$3,25*d$	m
d_2	$4,5*d$	m
l	$6*d$	m
r	$15*d$	m
d1	$2,5*d$	m

Se puede concluir entonces que el diámetro de tobera, es decir, el diámetro a mecanizar es de 11,33 mm. El resto de proporciones no se usarán en este inyector por motivos de fabricación (ver ilustración 26 y 27).

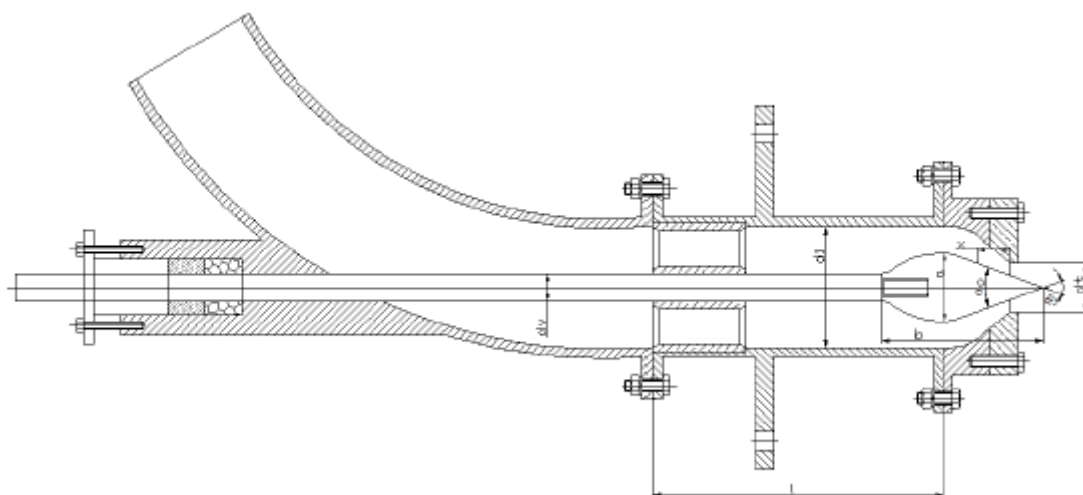


Ilustración 26: Inyector típico de una Pelton [2]

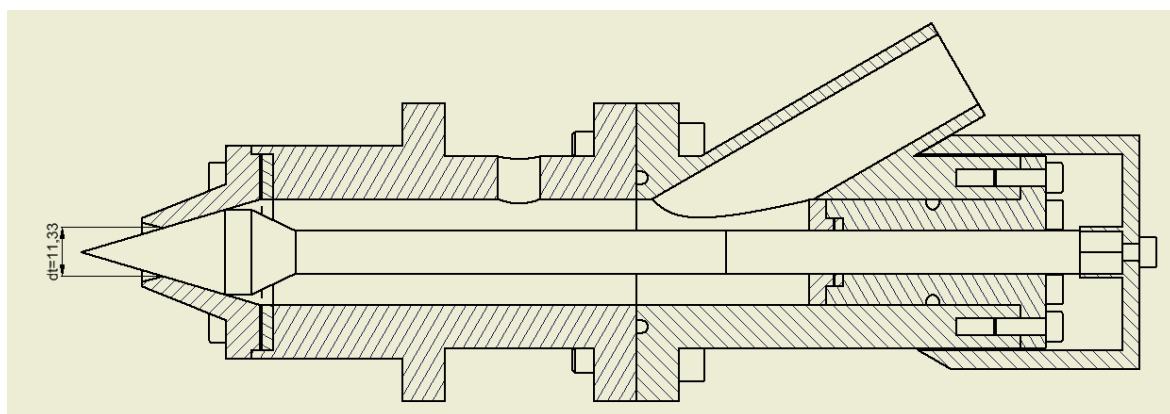


Ilustración 27: Inyector usado actualmente (TFG)

El resto de medidas y cotas se obtienen en función al inyector procedente de la otra turbina Pelton (marca Edibon) que ya tiene la universidad. Siendo este, mucho más asequible en su fabricación (ver ilustración 28).



Ilustración 28: Despiece del inyector Edibon (EPS Linares)

5.1.3 Geometría y diseño de la cuchara Pelton

Este estudio determina factores como: forma de la cuchara, geometría del rodete, número de cucharas y orientación de las mismas.

Esta parte del diseño, al igual que la anterior, es de suma importancia. Sobre todo, a la hora de realizar el primer modelo en CAD y posteriormente su fabricación. En caso de error a la hora de alinear el inyector con el rodete, el rendimiento de la turbina cambiaría, siendo un problema a la hora de la caracterización.

De la misma manera, en la fabricación se debe conseguir la máxima alineación entre ambos para poder alcanzar el máximo rendimiento. Siendo esto un requisito muy complicado al no disponer de herramientas de alineado.

Para la obtención de las cotas de la cuchara se realiza mediante el método geométrico. Partiendo de la relación de medidas obtenidas mediante la tabla N.º 2 y siguiendo el esquema que muestra la ilustración 29.

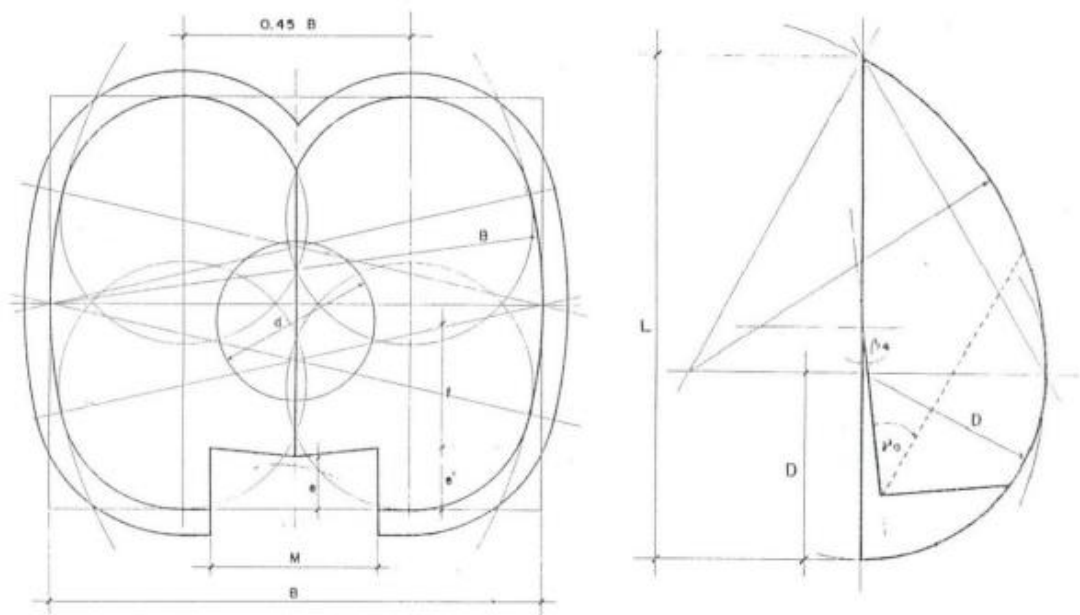


Ilustración 29: Determinación de la geometría de una cuchara [2]

Tabla N.º 2: Dimensiones de la cuchara en función del diametro			
B	3*d	30,9	mm
L	2,8*d	28,9	mm
D	0,9*d	9,3	mm
f	0,9*d	9,21	mm
M	1*d	10,3	mm
e	0,45*d	4,65	mm
β₁	15°	15°	grados
β₂	16°	16°	grados
l	1,6*d	16,5	mm
β₃	5°	5°	grados
β₄	13°	13°	grados

[2]

La cota de β_4 no se tendrá en cuenta debido a un problema en el modelado que dificultaría el CAD de la pala, afectando también a la fabricación. Además, la forma de esta parte de las palas Pelton, denominada como la boca de la cuchara, consigue su forma óptima solo de manera experimental. Se discutirá en el apartado de mejoras.

Una vez obtenidas las medidas se realiza un plano de la disposición geométrica aplicada en la ilustración 30, pero ya con las medidas adecuadas a la pala a diseñar (ver ilustración 34).

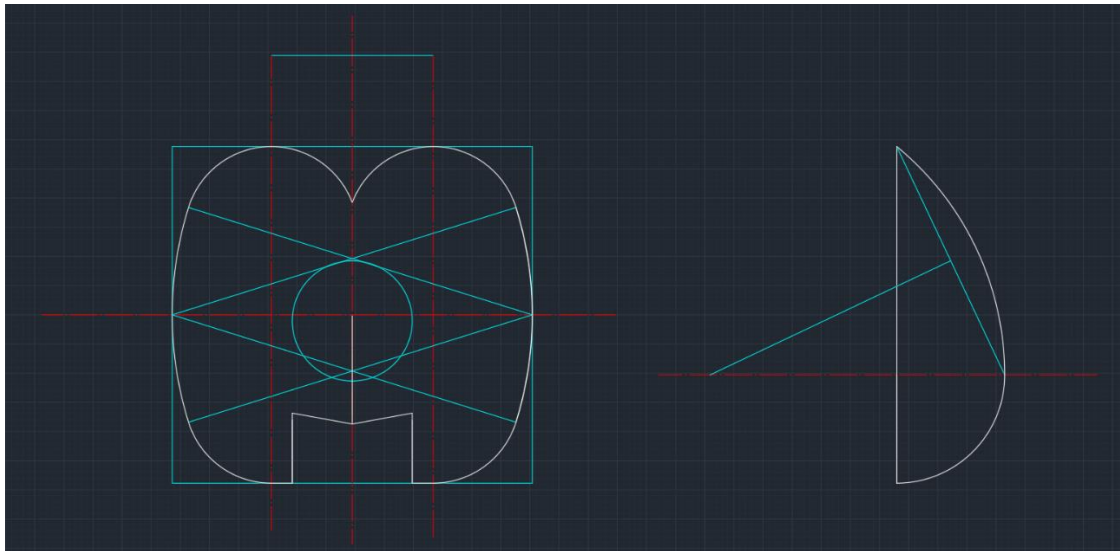


Ilustración 30: Plano pala Pelton (TFG)

Una vez obtenida dicha geometría se procede a el diseño CAD de la pala, el cual se ha llevado a cabo con SolidWorks, como el resto de partes de la turbina.

Esta pieza es con diferencia la más compleja de modelar. Esto es debido a que su radio cambia de manera elíptica a la vez que recorres la longitud de la pala. Para el modelado se debe preparar una serie de plano paralelos y consecutivos (ver ilustración 31). Además de trazar la forma exterior tanto en vertical como en horizontal. Solo de media pala, ya que esta es simétrica.

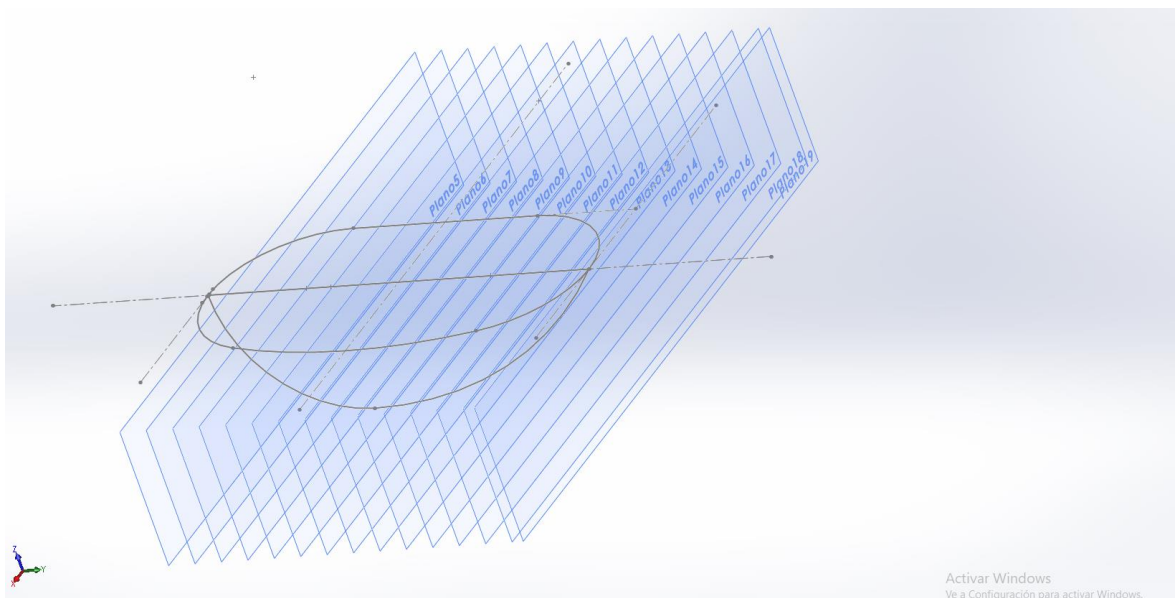


Ilustración 31: Preparación de planos sucesivos (TFG)

A continuación, se saca en cada plano la forma de la cuchara para que se puedan unir después con el módulo de superficies. Este paso es delicado ya que las terminaciones inicial y final de la pala son un círculo y cuando trazamos una superficie conseguir esas terminaciones es muy difícil.

La solución para las terminaciones es realizar un plano más con la forma de la pala muy pegado al final de esta. De esa manera Solid interpreta como que todo va dirigido a un mismo punto para cerrar la superficie y no genera problema (ver punto rosa en la ilustración 32).

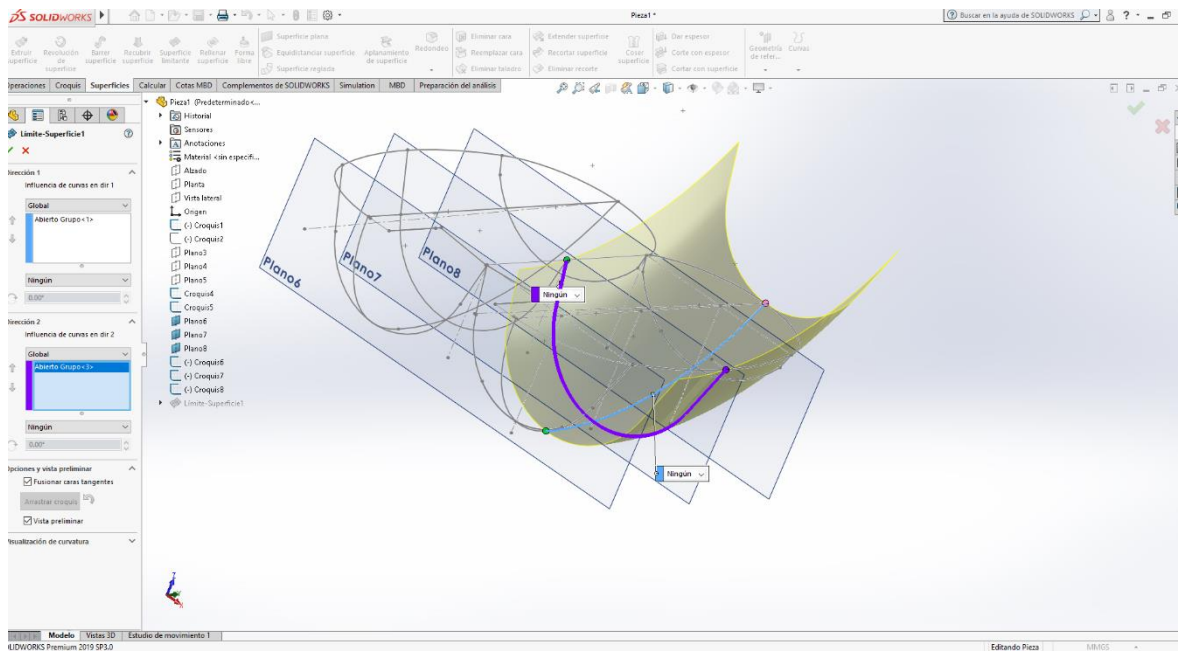


Ilustración 32: Generación de superficie mediante planos sucesivos (TFG)

Una vez definida la superficie se realizan una serie de cortes y se extruye con el grosor de pala deseado. En este caso se realizaron dos versiones de la misma pala por motivos que se comentarán en la parte de fabricación (ver ilustraciones 33 y 34).

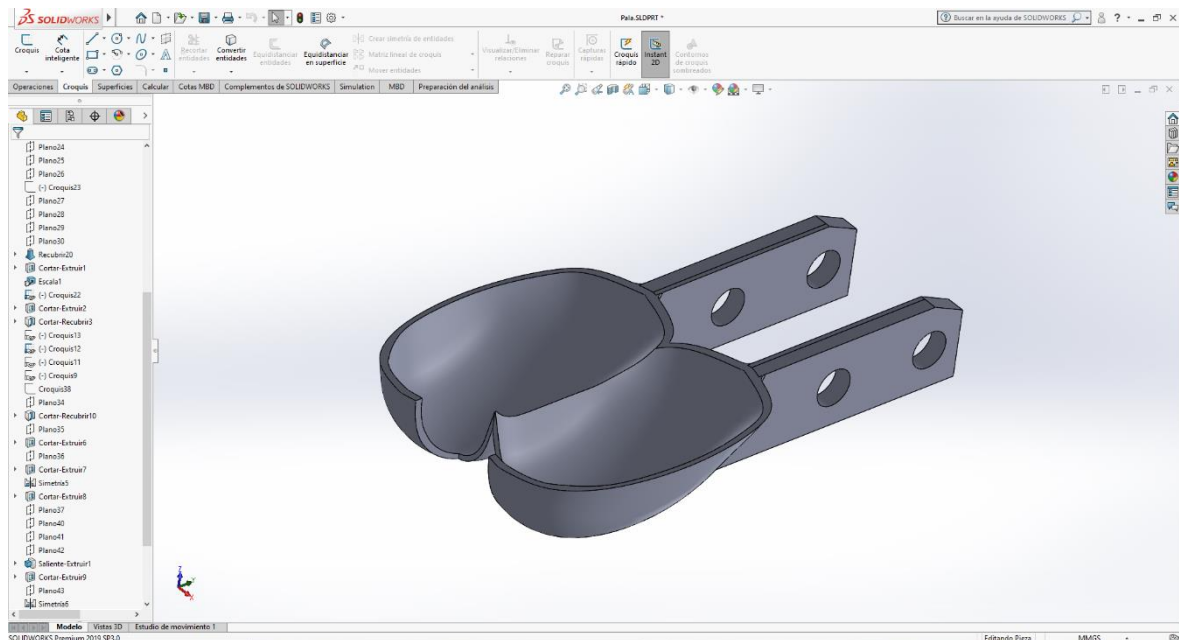


Ilustración 33: Pala versión 1 (TFG)

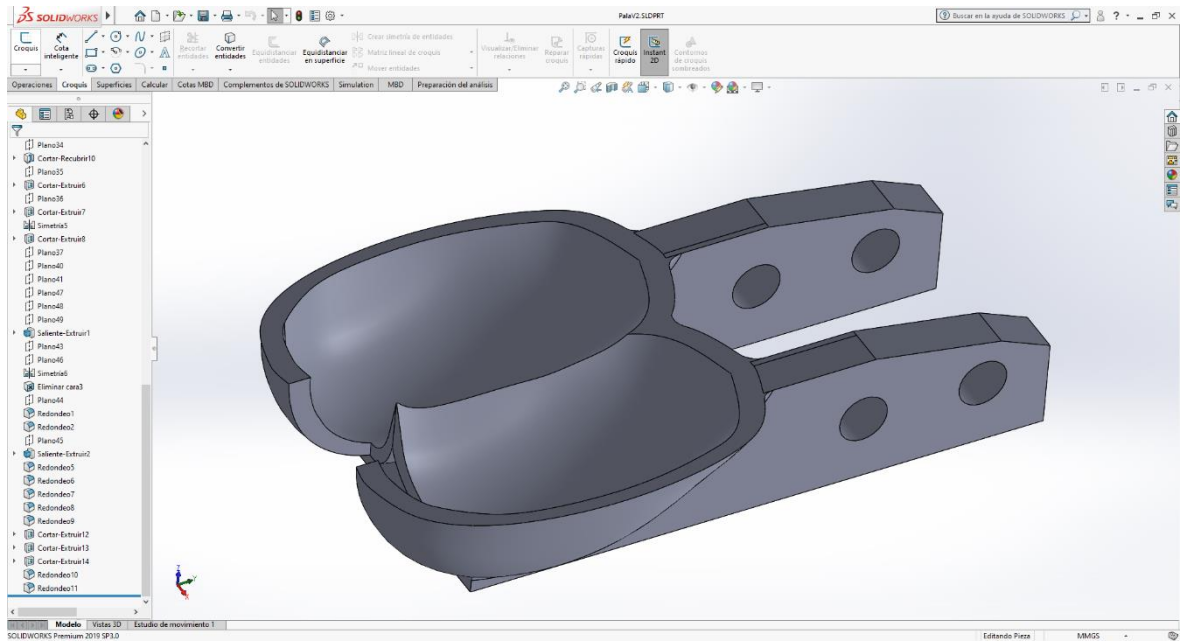


Ilustración 34: Pala versión 2 (TFG)

El espesor de la pala se obtiene de manera empírica, es decir, se fabricarán varios modelos de espesor hasta ver cual conviene.

5.1.4 Geometría del rodete

La geometría del rodete depende principalmente de la relación de diámetros entre el diámetro del rodete (D) y el diámetro del chorro (d). Para ello primero se calcula el diámetro del rodete.

$$D = \frac{K_n \sqrt{g2H}}{\pi * n}$$

$$D = \frac{60 * 0,46 \sqrt{2 * 9,81 * 8,16}}{\pi * 800} = 0,1389 \approx 0,14 \text{ m}$$

Consiguiendo una relación de diámetros:

$$\delta = \frac{d_0}{D} = \frac{0,0103}{0,14} = 0,074$$

Cálculo del número específico de revoluciones:

$$n_s = 240 * \delta * \sqrt{z}$$

$$n_s = 240 * 0,074 * \sqrt{20} = 79,42$$

Donde:

- z es el número teórico de cucharas. Calculado más tarde.

Una vez conseguida la relación de diámetros y número específico de revoluciones se tiene que tener en cuenta que una turbina Pelton ideal tiene unos valores tal que: $\delta \leq \frac{1}{10}$ y por tanto un valor de $n_s \leq 24$ como podemos ver en la siguiente tabla:

Tabla N.º 3: Límite máximo y mínimo de la relación de diámetros y del número de revoluciones específico en Pelton de un solo chorro		
Límite de aplicación	Relación de diámetros $\delta = \frac{d_0}{D}$	Número específico de revoluciones $n_s = 240 * \delta * \sqrt{z}$
Límite mínimo (mal rendimiento)	1/100	2,4
Límite mínimo práctico (buen rendimiento)	1/30	8
Límite máximo (mal rendimiento)	1/7	35
Límite máximo práctico (buen rendimiento)	1/9	27

Las turbinas con n_s pequeños se denominan lentas y las que tienen n_s grandes se denominan rápidas. Esto tiene que ver con el caudal, es decir, que esta turbina se ve afectada por las condiciones de trabajo impuestas al principio con un alto caudal y un bajo salto. De ahí la obtención de una relación de diámetros coherente pero un número específico de revoluciones tan grande.

Diámetro de la circunferencia que genera la arista superior interior de la pala al rodar el rodete:

$$D_a = D + 2 * f$$

$$D_a = 0,14 + 2 * 9,21 * 10^{-3} = 0,159 \text{ m}$$

Diámetro total de la circunferencia que genera el rodete más las palas:

$$D_t = D_a + 2e = 0,159 + 2 * 3 * 10^{-3} = 0,165 \text{ m}$$

Como se puede apreciar en la ilustración 35 dicho diámetro total se cumple a la perfección.

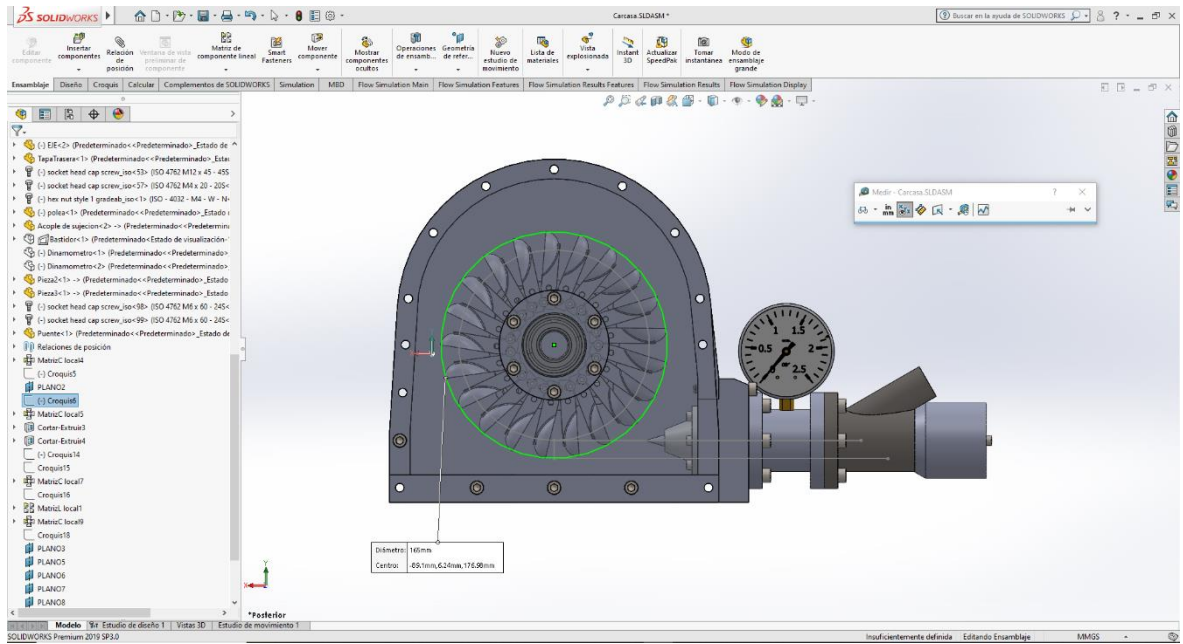


Ilustración 35: Diámetro total en la turbina (TFG)

5.1.5 Paso máximo y número de cucharas

El paso angular va directamente relacionado con el número de cucharas que llevará el rodete y viene definido por esta fórmula:

$$\theta = \frac{2\pi}{z}$$

Para conocer el paso se ha de saber previamente que número real de cucharas lleva la turbina. Además, se necesitará también el paso medio circunferencial.

Primero se determina el valor de la distancia que existe entre el diámetro del rodete y el diámetro generado por la cresta de la arista:

$$\lambda = \frac{D_a - D}{2}$$

$$\lambda = \frac{0,159 - 0,14}{2} = 9,5 * 10^{-3}m$$

Se calcula el valor comprendido entre el centro del rodete y el punto máximo de salida del chorro de agua:

$$\varphi = \arccos \frac{1 + \delta}{1 + 2 * k * \delta}$$

Donde k es la relación entre los diámetros de paso, cresta y chorro.

$$k = \frac{1}{2} * \frac{D_a - D}{d}$$

$$k = \frac{1}{2} * \frac{0,159 - 0,14}{0,0103} = 0,92$$

Por tanto:

$$\varphi = \arccos \frac{1 + 0,074}{1 + 2 * 0,92 * 0,074} = 0,33$$

También se calcula el valor del ángulo entre la arista del rodete y el punto máximo de salida del chorro de agua.

$$\psi = \frac{2 * k_u}{k_c} * \sqrt{(1 + 2 * k * \delta)^2 - (1 + \delta)^2}$$

$$\psi = \frac{2 * 0,46}{0,98} * \sqrt{(1 + 2 * 0,92 * 0,074)^2 - (1 + 0,074)^2} = 0,348$$

El paso máximo es entonces:

$$\theta = 2 * \varphi - \psi$$

$$\theta = 2 * 0,33 - 0,348 = 0,312$$

Paso máximo medido en la circunferencia:

$$t = (2 * \varphi - \psi) * \frac{D}{2}$$

$$t = (2 * 0,33 - 0,348) * \frac{0,14}{2} = 0,0218 \text{ m}$$

El número teórico de cucharas es:

$$z' = \frac{2\pi}{\theta} = \frac{2\pi}{0,312} = 20,19 \approx 20 \text{ cucharas}$$

Se necesitará la relación de diámetros del chorro y del rodete, siendo esta:

$$\frac{D}{d} = \frac{0,14}{0,0103} = 13,6 \approx 14$$

Aunque ya se sabe el número teórico de cucharas, se ha de calcular el número real de estas.

$$Z = \frac{2\pi}{k_p \left(\theta - 2 * \left(\frac{D_a}{D_p} \right) * k_u * \text{sen} \left(\frac{\theta}{2} \right) \right)}$$

Donde:

- Z es el número de cucharas
- k_p es el factor que define el paso real de las cucharas, comprendido entre 0,65 y 0,85
- θ es en este caso el ángulo en radianes

$$\theta = 2 * \arccos \left(\frac{D + d}{D_a} \right)$$

$$\theta = 2 * \arccos\left(\frac{0,14 + 0,0103}{0,159}\right) = 0,665 \text{ rad}$$

- k_u es el coeficiente de velocidad tangencial obtenido de la tabla N.º 4

Tabla N.º 4: Número de cucharas en función de la relación de diámetro del rodete/diámetro del chorro			
$\frac{D}{d}$	k_u	Número de cucharas	
		Z min.	Z max.
15	0,471	21	27
14	0,469	21	26
13	0,466	20	25
12	0,463	20	24
11	0,460	19	24
10	0,456	18	23
9	0,451	18	22
8	0,445	17	22
7,5	0,441	17	21

Entrando con relación de diámetros = 14 obtenemos un $k_u = 0,469$. Procediendo a la comprobación del cálculo de cucharas para ver si esta entre los valores predeterminados.

$$Z = \frac{2\pi}{0,85 * \left(0,665 - 2 * \left(\frac{0,159}{0,14}\right) * 0,469 * \sin\left(\frac{0,665}{2}\right)\right)} = 23,3 \approx 23$$

Debido a que esta turbina es un prototipo y para asegurar el aprovechamiento del chorro en cada pala al chora se escoge el mínimo de cucharas, es decir, 21.

5.2 FABRICACIÓN

La fabricación de la turbina Pelton comienza con el desarrollo de la carcasa, seguida por la fabricación del inyector y por último el rodete.

5.2.1 Carcasa

Se comienza inicialmente con la idea de una carcasa rígida y de una sola pieza basada en la turbina Edibon tomada como referencia (ver ilustración 37 y 38). El problema que presenta este tipo de carcasa es la necesidad de una soldadura sólida, y no solo eso, sino, el doblado de la chapa que compone la parte superior de unos 3 mm de espesor.

Por tanto, se llega a la idea de que el diseño no es óptimo para la fabricación en nuestra universidad y se cambia. Optando por un diseño basado en “costillas” que funcionan a modo de brida de presión.

Estas costillas están fabricadas mediante waterjet de manera que el proceso se facilita mucho. Solamente es necesario sacar del CAD un formato .dxf (ya que esta máquina de

corte por chorro de agua utiliza dicho formato) de cada una de las piezas a cortar e introducirlo en el software de la máquina para proceder al corte (ver ilustración 36).

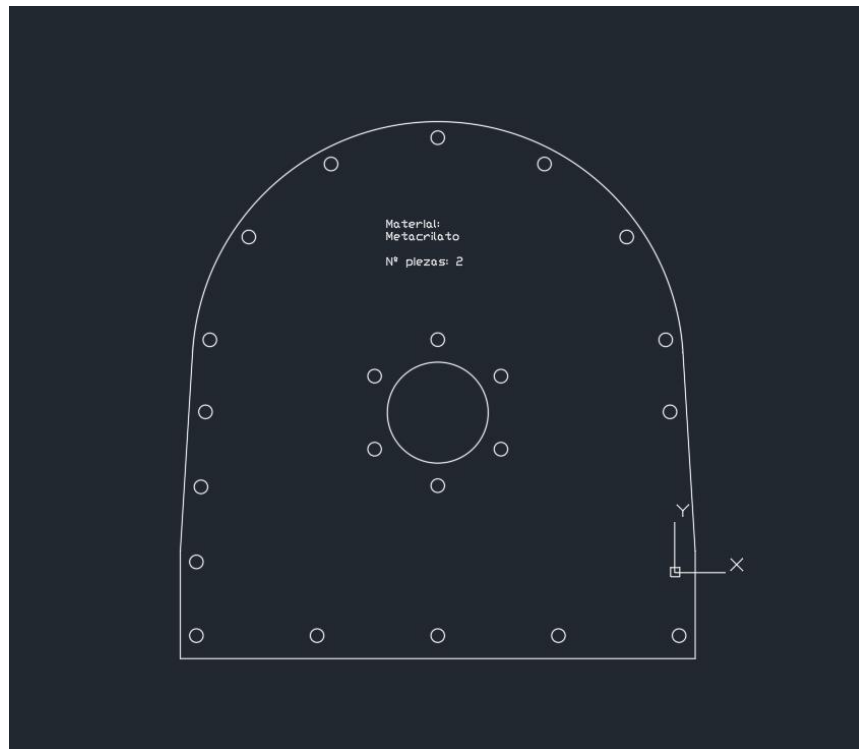


Ilustración 36: Ejemplo de formato .dxf de AutoCad (TFG)

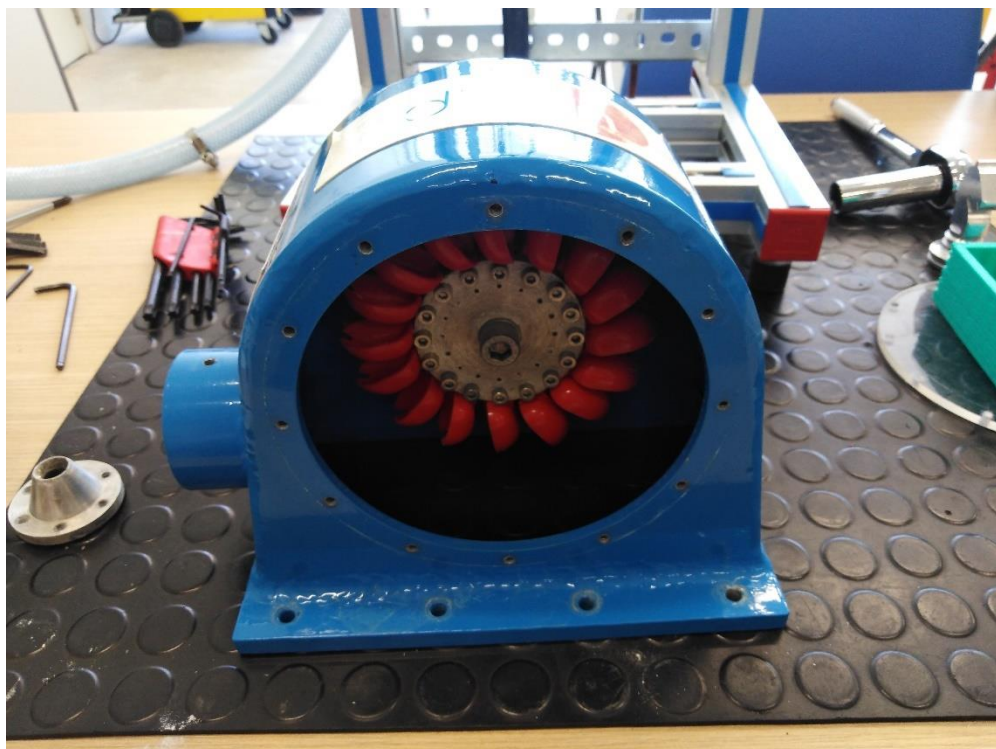


Ilustración 37: Frontal turbina Edibon (EPS Linares)

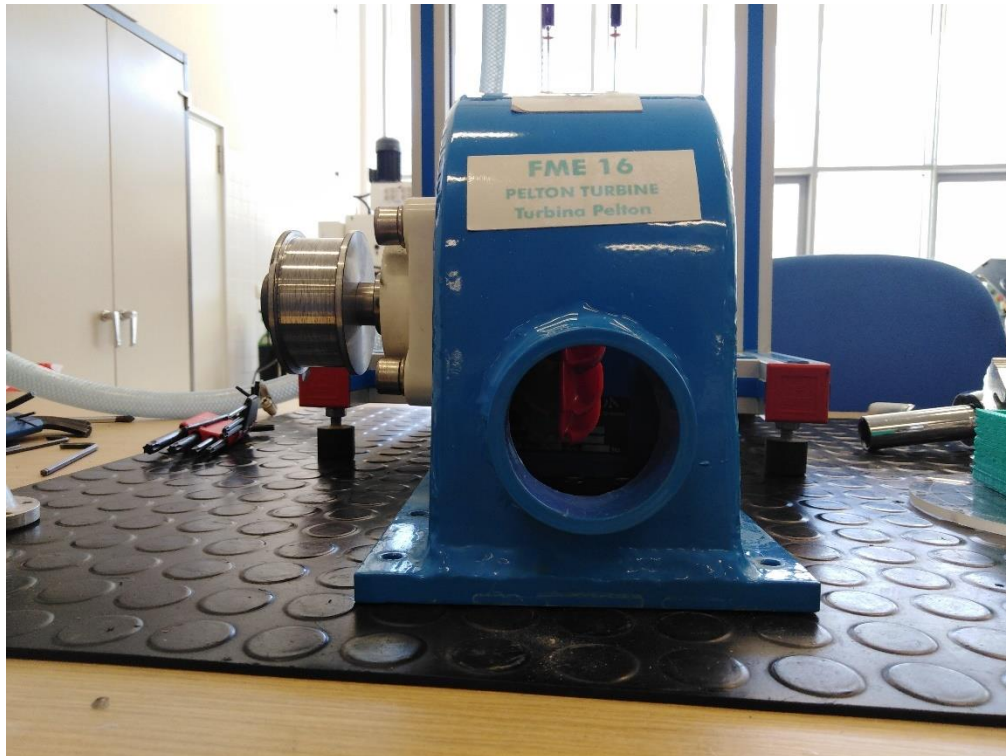


Ilustración 38: Perfil turbina Edibon (EPS Linares)

Es aquí, donde en la parte del desarrollo en CAD se piensa el problema que genera el tener que alinear, en el espacio, el inyector con el rodete, ya que, este es el principal objetivo de la carcasa además de evitar salpicadura.

Para ello se realiza, en el modelo 3d, un ajuste geométrico en el que se centra el acople del inyector (ver ilustración 39) mediante las costillas laterales exteriores. El ajuste debe de ser de gran precisión ya que el mínimo movimiento del inyector una vez ensamblado todo haría que el chorro se desviara.

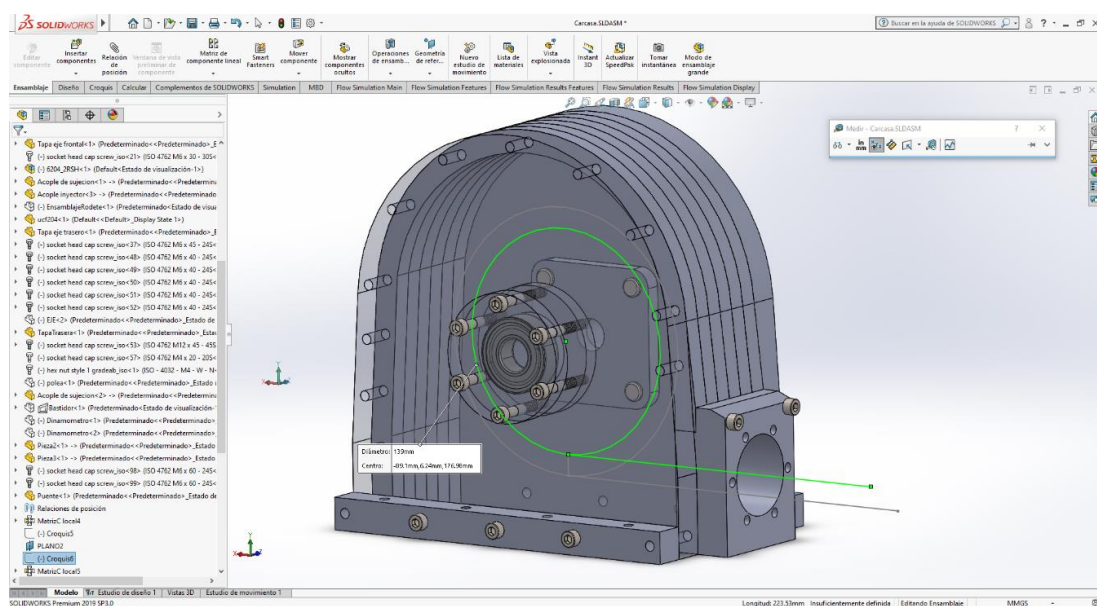


Ilustración 39: En verde, búsqueda de la alineación entre soporte del inyector y eje

Además, con el esparrago roscado inferior que atraviesa por completo tanto el soporte como la carcasa y que aporta una presión considerable, la sujeción y alineación de dicha pieza están aseguradas.



Ilustración 40: Acople del inyector, vista trasera (EPS Linares)



Ilustración 41: Desprendimiento lateral del material (EPS Linares)

La fabricación del acople del inyector trajo consigo vario problemas. Por lo que se procederá a explicar su fabricación completa, sirviendo de ejemplo como proceso de fabricación de las demás piezas.

Fabricación del acople del inyector

Inicialmente, se corta un el tocho de metacrilato proveniente de una barra de 100 x 49 x 1000 con la cinta de sierra. El corte se realiza dejando un sobrante de 10 mm a cada lado, con el fin de poder hacer una limpieza con una fresa en el CNC y conseguir un acabado visual óptimo. Es esencial decir que todos los procesos realizados con CNC han de hacerse con taladrina para evitar un mayor desgaste de la herramienta y un mejor acabado.

El primer problema surge con el programa que nos da el lenguaje conversacional de la máquina. Debido a una mala introducción en los parámetros para hacer la caja circular en el mismo, dicha caja se hizo más grande de lo debido (detalle apreciable en el pequeño escalón del agujero central, ilustración 40). Problema que no trascendió gracias a que nos dimos cuenta a la hora de empezar la máquina a funcionar. Se paró el mecanizado y se corrigió dicho valor.

El segundo problema que dio esta pieza fue en el mecanizado del escalón superior apreciable en la ilustración 40 y 41. Esto fue debido a que la velocidad de giro (debería haber sido de 2546 vueltas/min y una velocidad de avance de 1019 mm/min para una fresa de 4 filos y diámetro 20 mm), ya que usamos las velocidades de mecanizado anteriores. Aun así, no ha sido una causa relevante para volver a mecanizar la pieza.



Ilustración 42: Detalle de la simulación en máquina de la caja circular realizada en dos niveles (EPS Linares)

Finalmente se realizan los taladros superiores, el roscado de los taladros realizado con un macho métrica 6, el plano inclinado situado en la parte exterior y superior de la pieza (cuyo G-code se puede ver debajo) y el taladro pasante encargado de alojar el esparrago roscado que realiza la presión sobre la parte baja de la carcasa.

%Test1,MX,

%Test1,MX,

G17

;PLANO INCLINADO

; HAY SIMETRIA EN EL EJE Y

(P0= 42); COTA INICIAL DE Y FUERA DE PIEZA

(P1= 4.5);CATETO HORIZONTAL

(P2= 11.769);HIPOTENUSA-LONGITUD PLANO INCLINADO

(P3= 10.875);CATETO VERTICAL O ALTURA PLANO INCLINADO

(P4= 67.52);ANGULO DE RAMPA

(P5= 0.15);INCREMENTO

(P6= 4);RADIO HTA

(P10= 2440); VELOCIDAD DE AVANCE F

(P11= 6101); VELOCIDAD DE GIRO S

T8 D8

M6

G43 G0 Z100

XP6 Y - P0 S P11 M3 ;POSICION INICIAL FUERA DE PIEZA

N1 (P7=P2 * COS P4,P8=P2 * SIN P4)

(P7=P1-P7+P6,P8=P8-P3);P7=COORD X+RADIO, P8=COORD Z

G1 X P7 Z P8 F P10 ;MOVIMIENTO SIMULTÁNEO EN X-Z

Y P0 F P10

(P2=P2-P5)

(IF P2 GT 0 GOTO N2)

N2 (P7=P2 * COS P4,P8=P2 * SIN P4)

(P7=P1-P7+P6,P8=P8-P3);P77=COORD X+RADIO, P88=COORD Z

G1 X P7 Z P8 F P10

Y - P0

(P2=P2-P5)

(IF P2 GT 0 GOTO N1)

(P2=0);SE PONE ESTE BLOQUE PARA QUE HAGA LA ULTIMA PASADA

(RPT N1,N2)

G0 Z100

M30

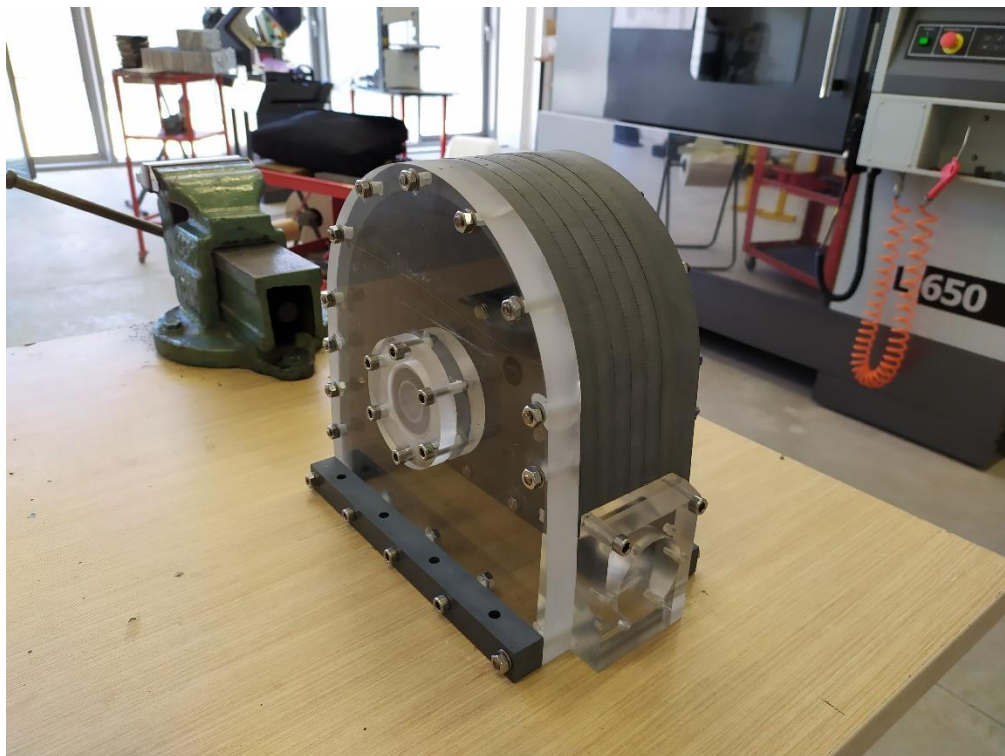


Ilustración 43: Carsasa actual vista isométrica (EPS Linares)

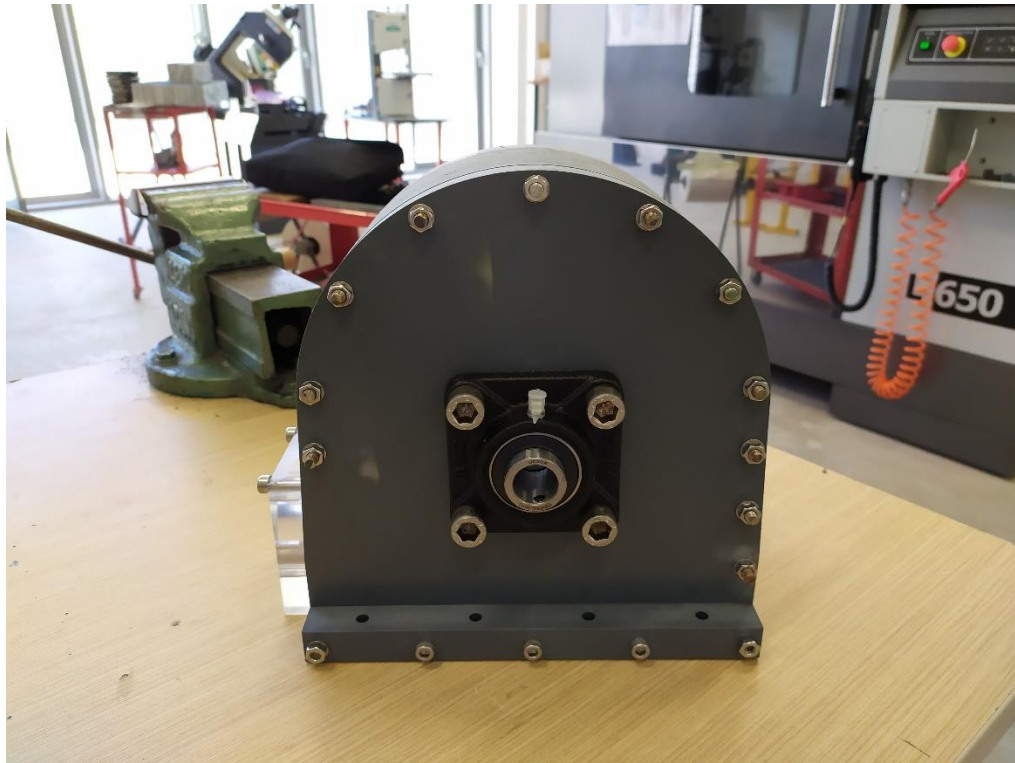


Ilustración 44: Carcasa actual vista posterior (EPS Linares)

Ventajas del nuevo diseño: Carcasa totalmente modulable, diseño y fabricación sencillos, doble rodamiento para evitar el eje de la turbina en voladizo, posibilidad de buscar alineación en el eje gracias a el doble rodamiento, alineación muy precisa del inyector con el rodete y facilidad de desensamblar gracias a que todos los tornillos son métrica 6.

Desventajas del nuevo diseño: mayor peso y mucha oscuridad dentro del habitáculo del rodete debido a que la mayor parte de la carcasa está hecha en PVC.

5.2.2 Inyector

El inyector es una parte muy compleja de una turbina Pelton. Este necesita conseguir un flujo laminar y constante para alcanzar el máximo rendimiento posible. Está dividido en 3 partes, de manera general, que son las que forman el cuerpo del inyector y por tanto las que consiguen ese flujo laminar.

Dentro del inyector se busca tener el mínimo de cuerpos posibles, asemejándose todo lo que se pueda a una tubería.

Este inyector está basado en el inyector procedente de la Pelton que ya tiene la universidad. De ahí, la semejanza el modelo actual con el modelo Edibon (ver ilustración 28 y 45).

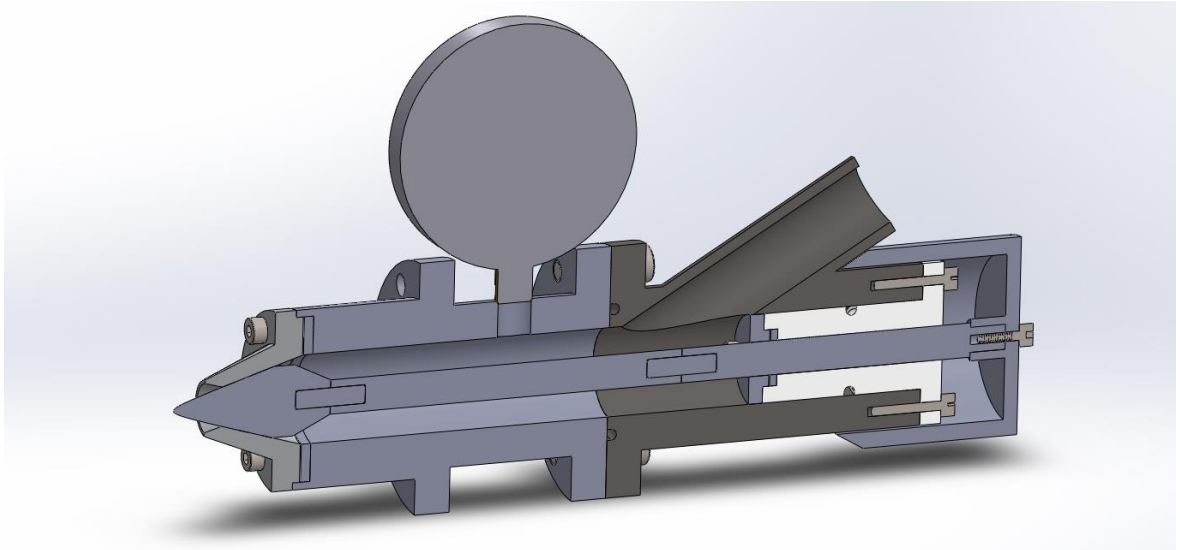


Ilustración 45: Sección del inyector actual (TFG)

Las partes más complejas de este ensamblaje, en cuanto a fabricación, han sido la aguja y el cuerpo principal del inyector (a consultar en Anexo: Planos).

Aguja

Esta parte ha requerido mecanizado en parte por torneado y en parte por CNC. Siendo el principal problema buscar la concentricidad del eje de la aguja con el eje del chorro a la salida. Lo cual, no se ha conseguido del todo, ya que como se ha comprobado en el montaje, la aguja oscila de manera excéntrica alrededor del eje del chorro.

El diseño de la aguja se compone de 1 pieza cilíndrica hecha de PVC con 10 mm de diámetro (ver ilustración 46), una varilla roscada que hace de regulador del caudal (parte trasera de la aguja) y la cabeza de forma cilíndrica y con el mismo ángulo que la tobera para un contacto máximo con la boquilla del inyector. Todo ello unido mediante espárragos roscados de métrica 6 en alojamientos de cada uno de los cuerpos.

Los posibles fallos que dan lugar a la excentricidad son:

- Que el eje se haya mecanizado en varias partes
- Que la precisión con la que se trabaja, tanto en el torno, como en el CNC, no sea suficiente
- Que los roscados interiores de cada una de las partes no sean concéntricos con sus correspondientes caras exteriores
- Que el cuerpo de PVC sufra cierta flexión en el torno producida por la velocidad angular del mismo (poco probable)
- Que el orificio roscado donde se aloja la varilla roscada no sea concéntrico al eje del chorro

Por tanto, esta pieza del inyector se propone como mejora para un futuro diseño.



Ilustración 46: Cuerpo principal de la aguja (pvc) con detalle de torneado (EPS Linares)

Cuerpo principal del inyector

El mayor problema con esta pieza es la inserción del tubo de 25 mm de diámetro a 30°. Lo ideal, es realizar el mecanizado de la pieza al completo mediante un CNC de 6 ejes, siendo aún algo difícil de realizar, pero el Lagun 650 se compone de movimiento solamente en 3 ejes. Consecuentemente se opta por la unión de ambas piezas.

El mecanizado del cuerpo principal se soluciona dejando una parte cuadrada en la base de la pieza sin mecanizar, que sirve para la sujeción de las mordazas (ver ilustración 47).



Ilustración 47: Cuerpo principal con mecanizado básico (EPS Linares)

Después, se realiza un giro a 30°, en uno de sus ejes, con ayuda de un goniómetro. Para poder así realizar el taladro del alojamiento del tubo de 25 mm de diámetro y se corta la parte cuadrada sobrante que nos servía como agarre a las mordazas. Quedando como resultado la siguiente imagen.



Ilustración 48: Detalle del taladro inclinado (EPS Linares)

Finalmente, se realiza la inserción y pegado del tubo de 25 mm. Dicha operación se realiza con un pegamento común para PVC. Obteniendo un resultado más satisfactorio de lo esperado y evitando cualquier tipo de fuga por esta parte del inyector.



Ilustración 49: Resultado final del cuerpo principal del inyector (EPS Linares)

5.2.3 Rodete, Palas y Eje

Siendo esta la parte más delicada del diseño, su fabricación, sin embargo, es algo más sencilla. Aunque no hay que olvidar que la mayor parte de la alineación del conjunto depende de que el eje ajuste con el rodete y las palas encajen correctamente.

Palas

La mayor parte del tiempo invertido en las palas es en el diseño y modelado ya que estas, han sido impresas en 3d. Están fabricadas de PLA (ácido poliláctico).

El proceso se basa en meter en el software de la impresora (Winunisoft) el archivo .stl de el modelado 3d de la pala. Donde se configura el espesor de capa y el grosor de las paredes, además de realizar una simulación virtualizada en tiempo real, de ser necesario.

Después se pasa mediante USB el archivo a la impresora y esta procede a la fabricación, realizándola en un tiempo medio de 17 min por pala.



Ilustración 50: Pala punto de vista 1 (EPS Linares)



Ilustración 51: Pala punto de vista 2 (EPS Linares)

Todas las palas han tenido un post procesado en el cual se han lijado de manera que la superficie quede lo más lisa posible.



Ilustración 52: Pala después del lijado (EPS Linares)

Aun habiéndolas lijado el resultado no es el esperado y la superficie de la pala es demasiado irregular para lo que debería ser una pala Pelton. Incluso así la turbina se ha probado y funciona como se espera.

Eje y Rodete

Tanto el eje como el rodete tienen un proceso de mecanizado similar que se explicará en el caso del eje.

Partimos de la base de un tocho que en este caso es un eje de 20 mm, es decir, que el eje no necesita acabado exterior. Se procede a colocar el eje en las garras del CNC, donde se hace una medición con el palpador para sacar el 0 del sistema de referencia. A continuación, como en el resto de las piezas explicadas, se procede al mecanizado del rebaje que tiene esta pieza en su parte superior para el acople de la polea (consultar ANEXO: Planos) y el roscado interior para un tornillo métrica 12.

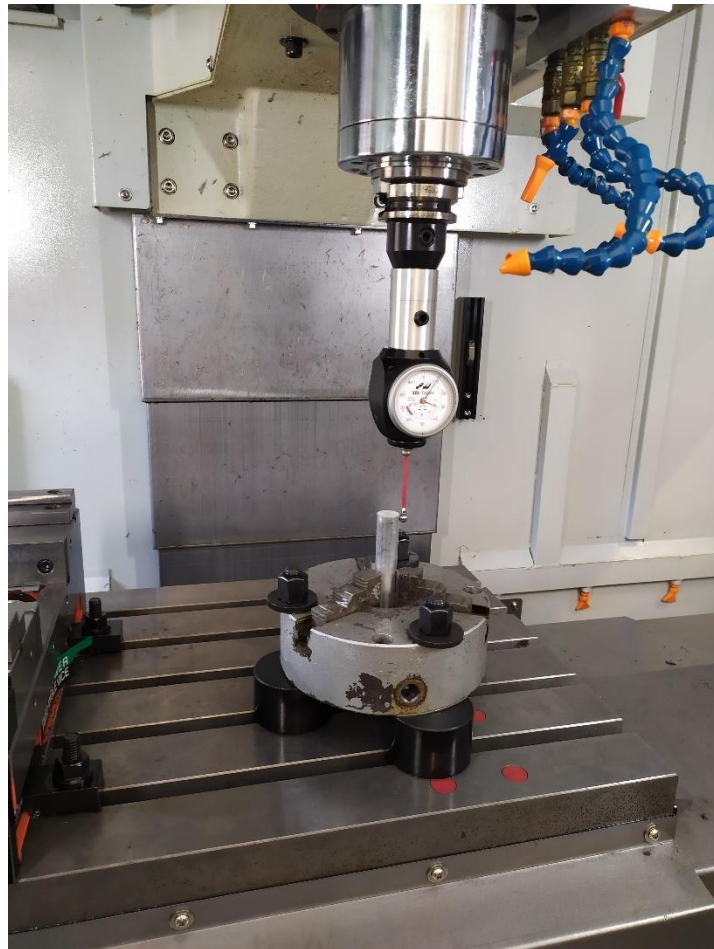


Ilustración 53: Obtención del 0 pieza con palpador (EPS Linares)

La parte más importante de este mecanizado está en una marca que se le realiza al eje para saber hasta donde se ha de acoplar el rodete, para que quede alineado en el eje horizontal.



Ilustración 54: Montaje rodete y palas (EPS Linares)

5.3 Organización y Presupuesto

Para llevar a cabo la fabricación se ha seguido una planificación mediante una tabla para controlar y conocer las tareas a realizar de cada pieza.

CARCASA (Tareas)	ESTADO	OBSERVAC.	UDS.PIEZA	CARACT.	COSTE
Tapa Rodamiento trasero (Interior)	Terminado		1	ya tenía	
Tapa Rodamiento delantero(Exterior)	Terminado		1	ya tenía	
Tapa Rodamiento delantero(Interior)	Terminado		1	ya tenía	
Costillas	Terminado	Corte agua	6	ya tenía	
Taladros costillas a sujeción inyector	Terminado				
Frontal metacri carcasa	Terminado	Corte agua	1	ya tenía	
Trasero PVC carcasa	Terminado	Corte agua	1	ya tenía	
Acoples carcasa a sujeción	Terminado	Corte agua	2	ya tenía	
Sujeción inyector	Terminado		1	ya tenía	
Tornillos pasantes de la carcasa x13	Terminado				
Desagüe rodamiento	Terminado				
Taladros sujeción a soporte	Terminado				
INYECTOR (Tareas)	ESTADO	OBSERVAC.	UDS.PIEZA	CARACT.	COSTE
Boquilla	Terminado		1	ya tenía	
Cuerpo 1	Terminado		1	ya tenía	
Espiga manguera	Terminado		1	RS	
Cuerpo 2	Terminado	Rosca manómetro	1	ya tenía	
Soporte eje	Terminado		1	ya tenía	
Rehacer soporte	Terminado				
Cuerpo aguja 1	Terminado		1	ya tenía	
Rehacer cuerpo aguj 1	Terminado				
Cuerpo aguja 2	Terminado		1	ya tenía	
Cabeza aguja	Terminado		1	ya tenía	
Maniobra	Terminado		1	ya tenía	
Agrandar roscas sujeción inyector	Terminado			ya tenía	
Tapón de soporte eje	Terminado		1	ya tenía	
Polea	Terminado		1	ya tenía	
Esparrago roscado eje x2	Terminado		1	ya tenía	
Manómetro	Terminado		1	ya tenía	
Junta boquilla	Terminado		1	ya tenía	
Junta 3mm grande	Terminado		1	ya tenía	
Repasar tornillos tapón	Terminado		1	ya tenía	
Junta eje de 20mm	Terminado		2	ya tenía	
Junta 3mm pequeña	Terminado		1	ya tenía	
Arandela radios aguja	Terminado				
Arandela aluminio maniobra	Terminado		1	ya tenía	
Junta soporte eje	Terminado		1	ya tenía	
RODETE (Tareas)	ESTADO	OBSERVAC.	UDS.PIEZA	CARACT.	COSTE
Palas x21	Terminado		21	Impr. 3D	

Rodete	Terminado		1	ya tenía	
Eje	Terminado		1		
Rodamiento trasero	Terminado		1	DISMAN	6,45 €
Rodamiento delantero	Terminado		1	ya tenía	
BASTIDOR (Tareas)	ESTADO	OBSERVAC.	UDS.PIEZA	CARACT.	COSTE
Perfiles Bastidor	Terminado			ya tenía	
Soporte para dinamómetros	Terminado			ya tenía	
Soporte guías	Terminado			ya tenía	
Guía superior freno	Terminado			ya tenía	
Guía inferior freno	Terminado			ya tenía	
Tuerca regulación freno	Terminado			ya tenía	
Patas	Terminado		4	ya tenía	
Dinamómetros	Terminado		2	J. Egido	66,00 €
Tornillería inoxidable	Terminado				

	TAREAS	TERMINADO	PENDIENTE	EN PROCESO
CARCASA	12	12	0	0
INYECTOR	24	24	0	0
RODETE	5	5	0	0
BASTIDOR	9	9	0	0
TOTAL	50	50	0	0

Además, se ha controlado el presupuesto aproximado para la realización de la turbina.

TIEMPOS DE MECANIZADO			
FECHA	MINUTOS	HORAS	MECANIZADO
11/9/2020	300	5:00:00	sujeción inyector
24/9/2020	120	2:00:00	Tapa rodamiento frontal exterior
22/10/2020	360	6:00:00	cuerpo 1 inyector
22/10/2020	120	2:00:00	Soporte eje (inyector)
26/10/2020	240	4:00:00	cuerpo 2 inyector
27/10/2020	150	2:30:00	Boquilla inyector
28/10/2020	150	2:30:00	Aguja inyector
29/10/2020	180	3:00:00	Cuerpo 1 y 2 aguja inyector
30/10/2020	60	1:00:00	Tapón soporte aguja
30/10/2020	120	2:00:00	Maniobra
3/11/2020	90	1:30:00	Tapa rodamiento frontal interior
4/11/2020	90	1:30:00	Tapa rodamiento trasero interior
5/11/2020	30	0:30:00	Taladros Acoples carcasa a sujeción
12/11/2020	300	5:00:00	Rodete y eje
16/11/2020	300	5:00:00	Rehacer aguja y soporte aguja
17/11/2020	180	3:00:00	Ajuste piezas (pruebas de montaje)
18/11/2020	120	2:00:00	Piezas soporte dinamómetros
19/11/2020	60	1:00:00	Tuerca regulación y rehacer sop dinamómetros
	2970	49,5	
Mano de obra CNC	50	horas	990,00 €

TOTAL	1.062,45 €
--------------	-------------------

5.4 Producto final

Como consecuencia de lo realizado durante todo este TFG se obtiene un resultado final del ensamble, tal que:

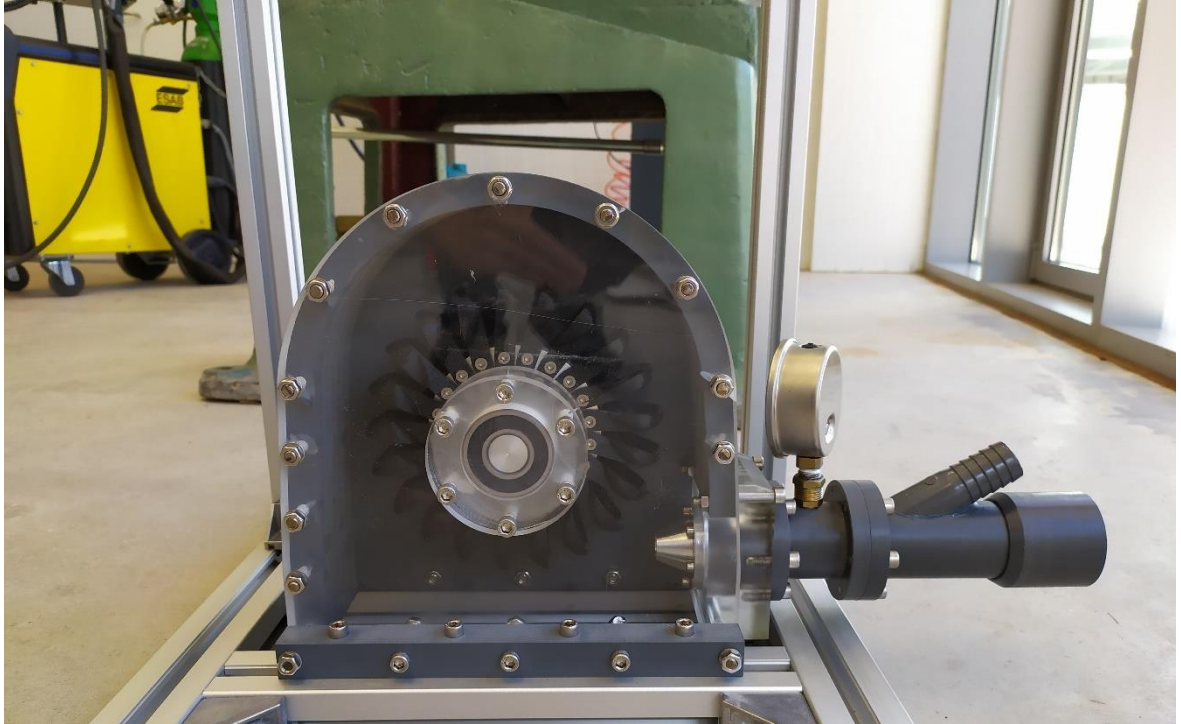


Ilustración 55: Frontal del ensamble completo de la turbina (EPS Linares)



Ilustración 56: Vista inferior del ensamble completo de la turbina (EPS Linares)

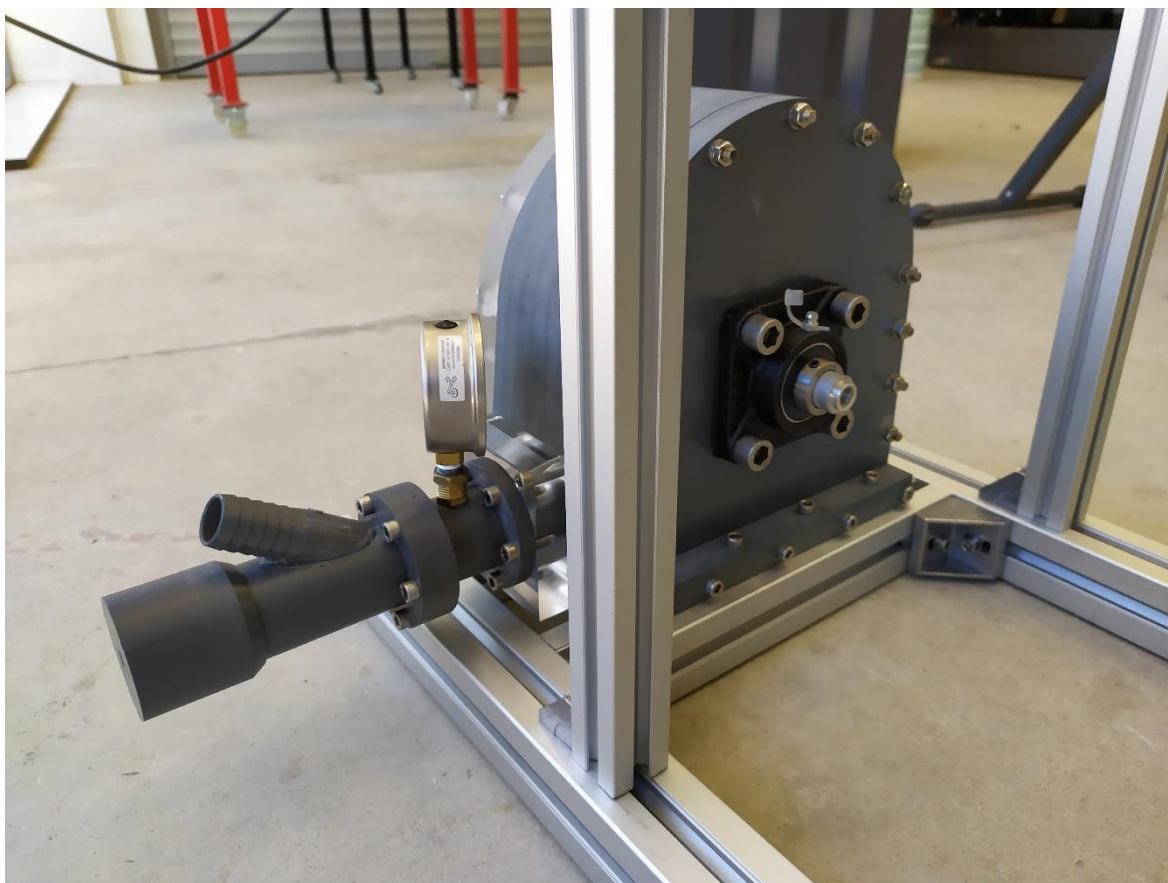


Ilustración 57: Vista posterior del ensamblaje completo de la turbina (EPS Linares)

5.5 Futuras mejoras

Como prototipo, esta turbina tiene capacidad de mejora y corrección de errores iniciales. En este apartado se proponen ciertas que se pueden aplicar para un futuro modelo, con el objetivo de sacar un producto final con los mínimos fallos posibles. Como mejoras:

- Fabricación de varios rodets con diferentes diámetros y formas de pala. Esto, con el simple objetivo de ver cómo cambia el rendimiento de manera práctica y sin tener en cuenta los cálculos geométricos. Además de cambiar la forma de la boca de la pala, para ver cómo afectaría.
- Implementación de un freno eléctrico y generador. Esto es lo más similar a una turbina real, por tanto, sería algo muy interesante de aplicar en este proyecto.
- Realizar todas las juntas en el inyector en forma de brida. Actualmente solamente hay una junta en forma de brida. La forma de brida es la más eficaz en instalaciones, además está normalizada, es por esto que sería muy eficaz contra las fugas que a día de hoy la turbina tiene en el inyector.
- Ensanchamiento de los agujeros pasantes para el eje. Con esto evitas pérdidas por fricción en el eje, que bajan el rendimiento real de la turbina. No afecta al eje en cuanto a alineación, ya que, de eso están encargados los rodamientos.
- Realización de la carcasa al completo con metacrilato. Esto ayudaría a una mejor visión del interior de la carcasa. Dicha característica sería de gran ayuda en una turbina que está enfocada para la docencia, como la de este TFG.

- Realizar un inyector más parecido al de una Pelton normal y que ayude a la generación de flujo laminar (ver ilustración 26). Esto se consigue con una entrada del agua al inyector guiada por un codo de tubería en vez de un cambio brusco.
- Inserción de una guía en el interior del inyector que hace de soporte al eje. Ya se han estado haciendo las primeras pruebas.

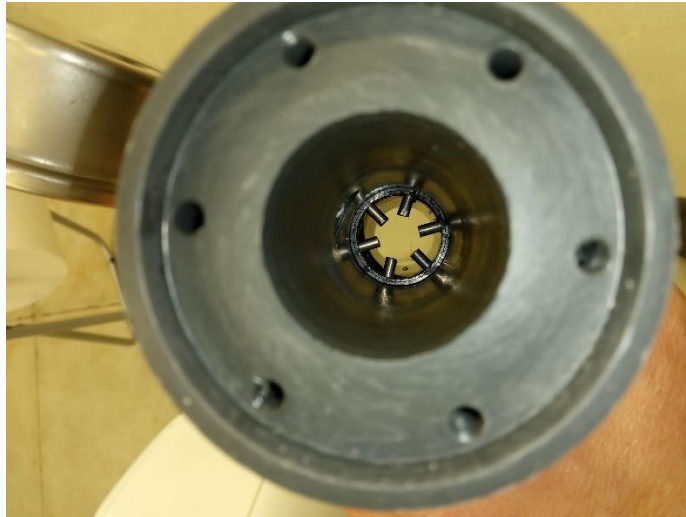


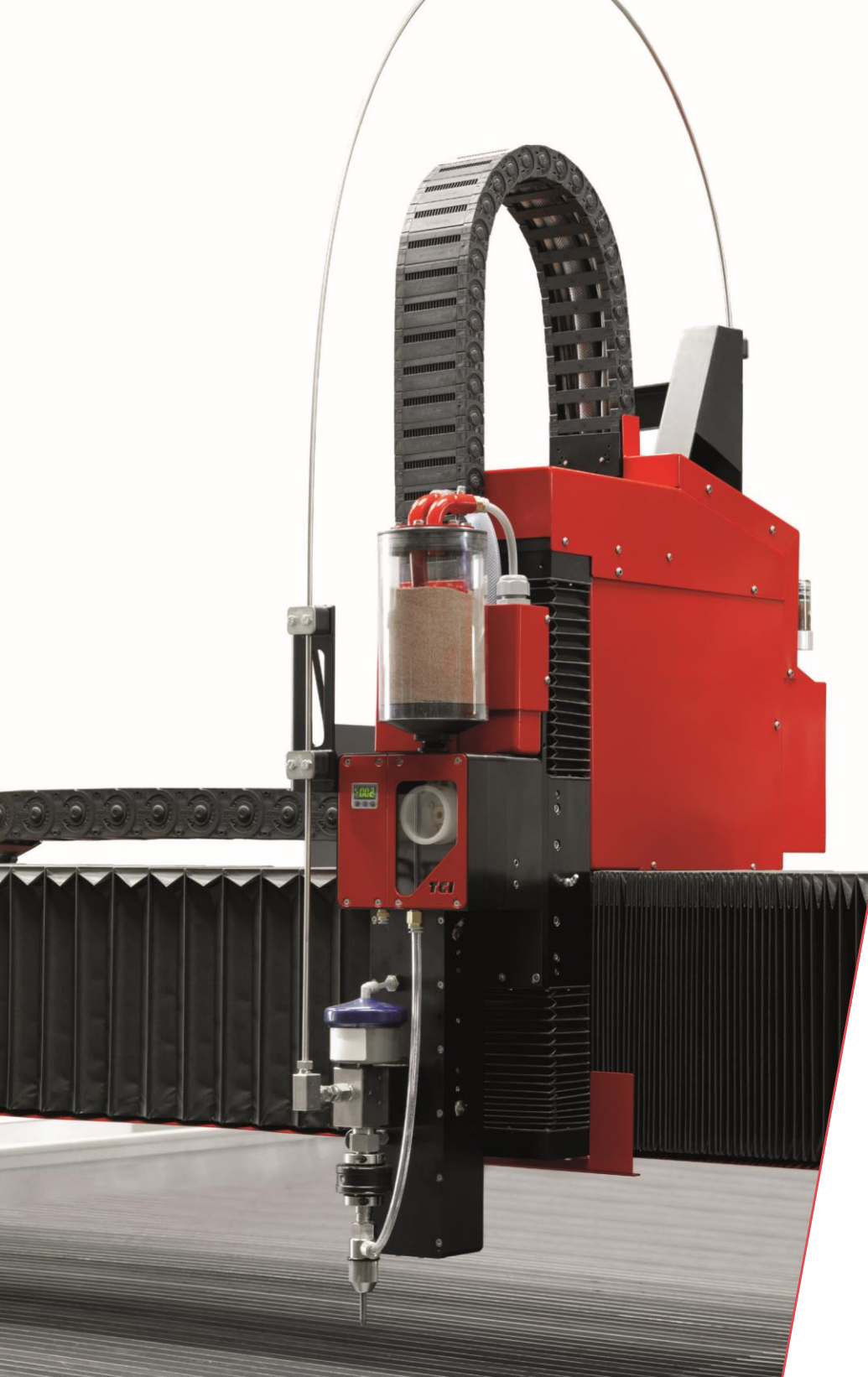
Ilustración 58: Guía para la aguja del inyector (EPS Linares)

6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

En este Trabajo Fin de Grado se ha realizado el diseño y fabricación de una turbina Pelton. Las conclusiones de este trabajo son las siguientes:

- Se ha estudiado y definido el triángulo de velocidades de la cuchara Pelton. Obteniendo también el rendimiento hidráulico teórico de la misma.
- Se han estudiado las condiciones geométricas de la turbina. Definiendo así las medidas de la boquilla del inyector, cucharas y rodete.
- Se ha realizado, posteriormente a la obtención de cotas, un modelo CAD en el software SolidWorks donde se han ido realizando las modificaciones pertinentes durante el proceso de fabricación. Por ende, este modelo ha ido cambiando durante todo el proceso hasta conseguir un modelo final expuesto en este trabajo.
- Se ha contrastado como el CAD tiene que ir de la mano con la fabricación y con las herramientas a utilizar. Debido a que diseñar en un ordenador te permite un amplio rango de operaciones que no se pueden hacer en realidad, sea por equipo o por capacidad propia del modelo.
- Se ha realizado una planimetría de la turbina al completo, exceptuando piezas normalizadas.
- Se ha realizado un estudio genérico para conocer las máquinas de mecanizado, que se usan en la fabricación.
- Se han fabricado cada una de las piezas que forman la turbina, siendo esto lo que más tiempo lleva del trabajo. Comprobando la importancia de los procesos de fabricación y como afectan a un ensamblaje real en diferentes grados de importancia.
- Se ha ensamblado el modelo final viendo la importancia que existe en todos los pasos anteriores y como cada uno de ellos debe estar bien ejecutado o sin mucho error.
- Se han apuntado errores cometidos en la fabricación y se han propuesto como mejoras. Permitiendo así un desarrollo del prototipo realizado hasta llegar a un producto totalmente finalizado.
- Durante todo este proceso se ha realizado una labor de investigación tanto en diseño de turbinas como en procesos de fabricación actuales para el desarrollo de este trabajo. Consiguiendo así un conocimiento más amplio del campo de la fluido-mecánica aplicada a la realidad.
- Finalmente se ha probado la turbina de manera exitosa en un ensayo y se han cogido datos de la misma, siendo imposible por falta de tiempo y debido a la pandemia, la obtención de curvas características de la misma. Consiguiendo, gracias a este ensayo, comprobar que la turbina funciona correctamente y habiendo cumplido el objetivo de tener un segundo banco de ensayos Pelton, haciendo así la docencia más sencilla e ilustrativa.

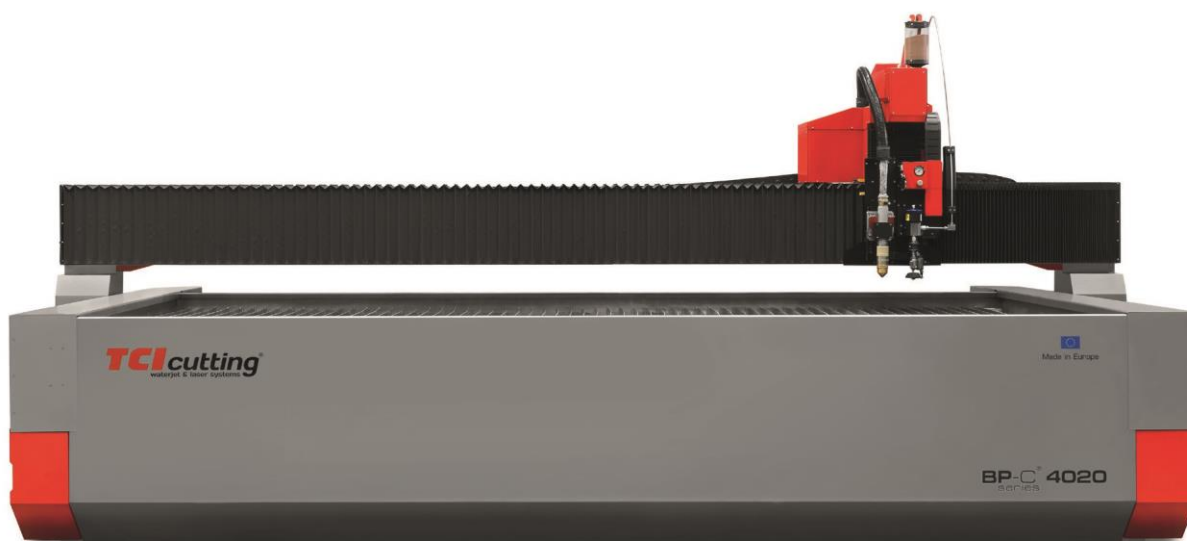
ANEXO: Fichas Técnicas y G-code utilizados en CNC



BP-C[®]
Series

WATERJET
division 

TCIcutting[®]
waterjet & laser systems



BP-C[®] (Compact)

Series

Las máquinas de la serie BP de **TCI Cutting** se caracterizan por una construcción tipo puente, lo que les aporta gran robustez y les permite cortar grandes superficies.

El sistema de motorización Gantry en eje Y, les permite grandes aceleraciones y altas velocidades reduciendo así los tiempos operativos.

Las máquinas de corte BP-C de **TCI Cutting**, ofrecen una instalación funcional, precisa y rentable para todas las aplicaciones estándar.

Máximo rendimiento con una mínima inversión y mantenimiento.

Modelos	Medidas	
	BP-C	1515
	1500x1500x200 mm	
BP-C 4020	4000x2000x200 mm	



Características	Datos Técnicos
Grosor máximo de pieza	200 mm
Carga máxima permitida de piezas	790 kg/m²
Número de cabezales de corte	1 a 2
Velocidad de posicionamiento max simultáneo	85 m/min
Velocidad de corte máxima	20 m/min
Tolerancia de máquina según VDI/DGQ 3441	± 0.05 mm/m
Precisión de repetición	± 0.025 mm/m

Ventajas y características

- Velocidades desplazamiento simultaneo hasta 85 m/min.
- Sistema de tratamiento inteligente para movimiento de hasta 2 cabezales independientes, lo que permite máximo aprovechamiento de materiales.
- Software de seguimiento de estado de consumibles de máquina en tiempo real, que permite realizar un mantenimiento preventivo y evitar paradas.
- Sistema de limpieza de lodos de máquina totalmente automatizado.
- CNC, Armario de control, intensificador y periféricos, resguardados de la zona de trabajo de la máquina.
- Posibilidad de carga de materiales tanto frontal como por los laterales.
- Sistema autónomo de funcionamiento.
- Sistema anticolidión con regulación de sensibilidad digital.
- Atención técnica ON-LINE por Ingenieros Mecánicos, Ingenieros en Automática, Electrónica Industrial e Ingenieros de Diseño Industrial.
- Instalación y puesta en marcha en 7 días.



FAGOR LAGUN 650

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 103 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	585 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

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
IS 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.
- Capito 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

S 210 G

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 160 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 160 mm	160 x 160 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	2.080 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 bimetálica, cilindro de bajada hidráulico, 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

B 40 GSP SERIE INDUSTRIAL OPTIMUM

MASCHINEN - 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 automática de la pinola.
- Cambio sencillo de herramientas.



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

- 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 560 x 2.280 mm
Peso neto	500 kg

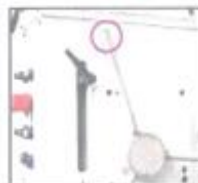
Las máquinas están construidas de acuerdo con las normas CE.

B 40 GSM SERIE INDUSTRIAL OPTIMUM

MASCHINEN - 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 pinola, accionamos la inversión de giro del husillo para hacer roscar.
- Cambio sentido de giro en manivela para roscar.



- Avance automático de la pinola.
- Cambio sencillo de herramientas mediante dispositivo de extracción rápida.



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 560 x 2.280 mm
Peso neto	500 kg

Las máquinas están construidas de acuerdo con las normas CE.

G-code

- Muesca de la boquilla

%Test1,MX,

G17

T13 D13

M6

G00 G43 G90 F1000 S6000

G0 Z50

N1 G0 X35 Y0

Z-12

G1 X10.75 Y0

G0 X35 Y0

N2 G73 Q60

(RPT N1,N2)N8

G0 Z100

M30

- Cono superior del cabezal de la aguja

%Test1,MX,

G17

(P1= 10);SEMIBASE DEL CONO

(P2= 35.25);GENERATRIZ

(P3= 33.8);ALTURA CONO

;(P4= 71,57);ANGULO CONO

(P4= $\text{ASIN}(P3/P2)$);ANGULO CONO

(P5= 0.2);INCREMENTO GENERATRIZ

(P6= 5);RADIO HTA

T7 D7 ;HTA D10

M6

G43 G0 Z100

X0 Y0 S7000 M3

```

N1 (P7=P2 * COS P4,P8=P2 * SIN P4)
(P7=P1-P7+P6,P8=P8-P3);P77=COORD X+RADIO, P88=COORD Z
G1 X P7 Y0 Z P8 F999
G93 I0 J0
N2 G3 Q360 F2900
(P2=P2-P5)
(IF P2 GT 0 GOTO N1)
(P2=0);SE PONE ESTE BLOQUE PARA QUE HAGA LA ULTIMA PASADA
(RPT N1,N2)
G0 Z100
M30
    • Cono inferior del cabezal de la aguja
%Test1,MX,
G17
(P1= 10);SEMIBASE DEL CONO
(P2= 11.63);GENERATRIZ
(P3= 10.5);ALTURA CONO
;(P4= 64.54);ANGULO CONO
(P4= ASIN (P3/P2));ANGULO CONO
(P5= 0.2);INCREMENTO GENERATRIZ
(P6= 5);RADIO HTA
T7 D7 ;HTA D10
M6
G43 G0 Z100
X0 Y0 S7000 M3
N1 (P7=P2 * COS P4,P8=P2 * SIN P4)
(P7=P1-P7+P6,P8=P8-P3);P77=COORD X+RADIO, P88=COORD Z
G1 X P7 Y0 Z P8 F999
G93 I0 J0
N2 G3 Q360 F2900

```

```

(P2=P2-P5)
(IF P2 GT 0 GOTO N1)
(P2=0);SE PONE ESTE BLOQUE PARA QUE HAGA LA ULTIMA PASADA
(RPT N1,N2)
G0 Z100
M30
    • Cono superior de la boquilla del inyector
%Test1,MX,
G17
(P1= 7);RADIO BASE DEL CONO
(P22= 5.35);GENERATRIZ TOTAL
(P2= 0);GENERATRIZ VALOR INICIO
(P3= 5);ALTURA CONO
(P4= 69.19);ANGULO CONO ENTRE BASE Y GENERATRIZ
(P5= 0.25);INCREMENTO GENERATRIZ
(P6= 4);RADIO HTA
;
T8 D8
M6
G43 G0 Z100
X0 Y0 S6500 M3
N1 (P7=P2 * COS P4,P8=P2 * SIN P4)
(P7=P1-P7-P6,P8);P7=COORD X-RADIO, P8=COORD Z
G1 X P7 Y0 Z -P8 F999
G93 I0 J0
N2 G3 Q360 F2600
(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 inferior de la boquilla del inyector

%Test1,MX,

G17

(P1= 12.5);RADIO BASE DEL CONO

(P2= 24.26);GENERATRIZ TOTAL

(P2= 0);GENERATRIZ VALOR INICIO

(P3= 23.1);ALTURA CONO

(P4= 72.24);ANGULO CONO ENTRE BASE Y GENERATRIZ

(P5= 0.25);INCREMENTO GENERATRIZ

(P6= 4);RADIO HTA

;

T8 D8

M6

G43 G0 Z100

X0 Y0 S6500 M3

N1 (P7=P2 * COS P4,P8=P2 * SIN P4)

(P7=P1-P7-P6,P8);P7=COORD X-RADIO, P8=COORD Z

G1 X P7 Y0 Z -P8 F999

G93 I0 J0

N2 G3 Q360 F2600

(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 de la pieza denominada como maniobra

%00000

G17

(P1= 27.5);SEMIBASE DEL CONO

(P2= 9);GENERATRIZ

(P3= 7.79);ALTURA CONO

(P4= 60);ANGULO CONO

(P5= 0.2);INCREMENTO GENERATRIZ

(P6= 6);RADIO HTA

;

T7 D7

M6

G43 G0 Z100

X0 Y0 S5093 M3

N1 (P7=P2 * COS P4,P8=P2 * SIN P4)

(P7=P1-P7+P6,P8=P8-P3);P77=COORD X+RADIO, P88=COORD Z

G1 X P7 Y0 Z P8 F999

G93 I0 J0

N2 G3 Q360 F2037

(P2=P2-P5)

(IF P2 GT 0 GOTO N1)

(P2=0);SE PONE ESTE BLOQUE PARA QUE HAGA LA ULTIMA PASADA

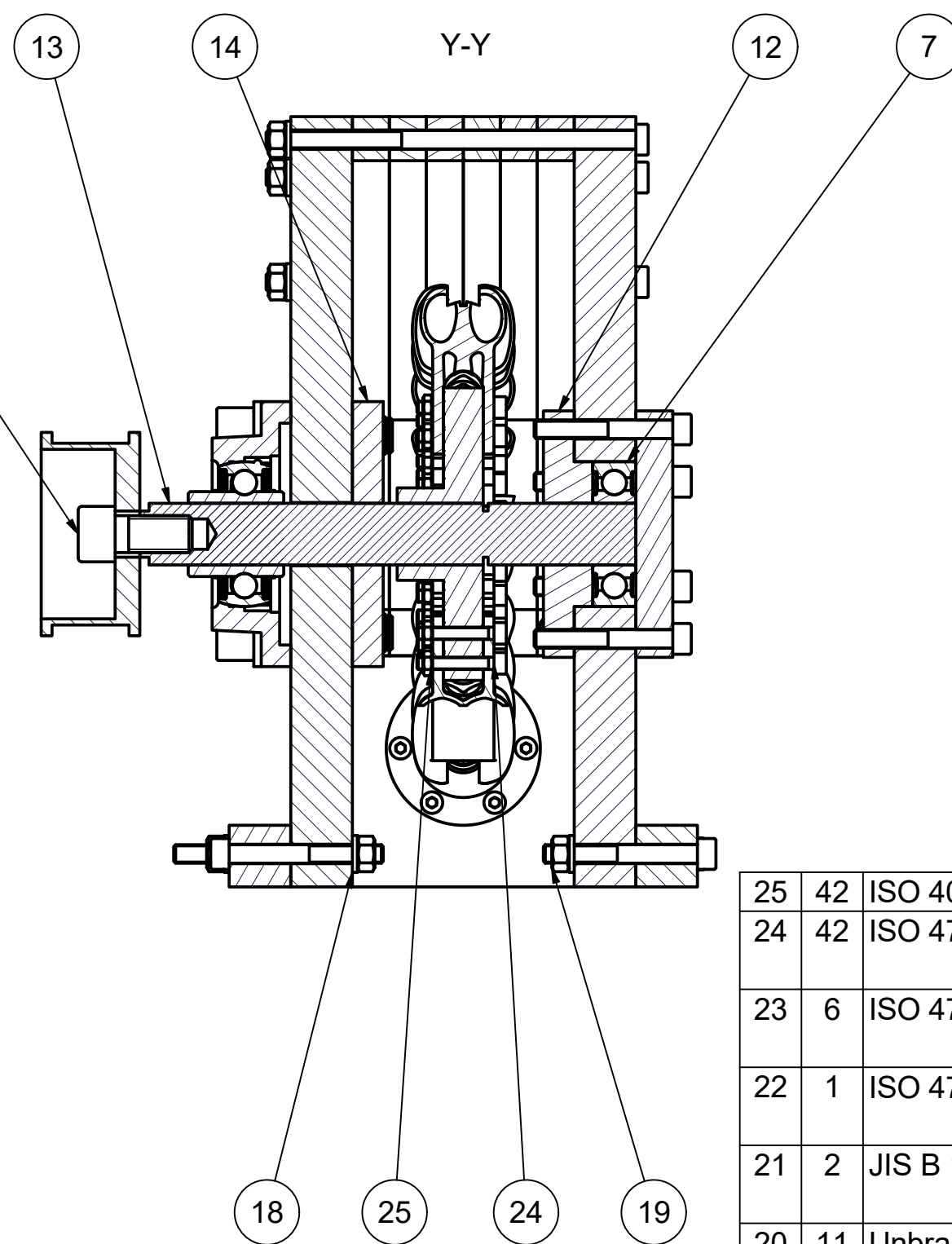
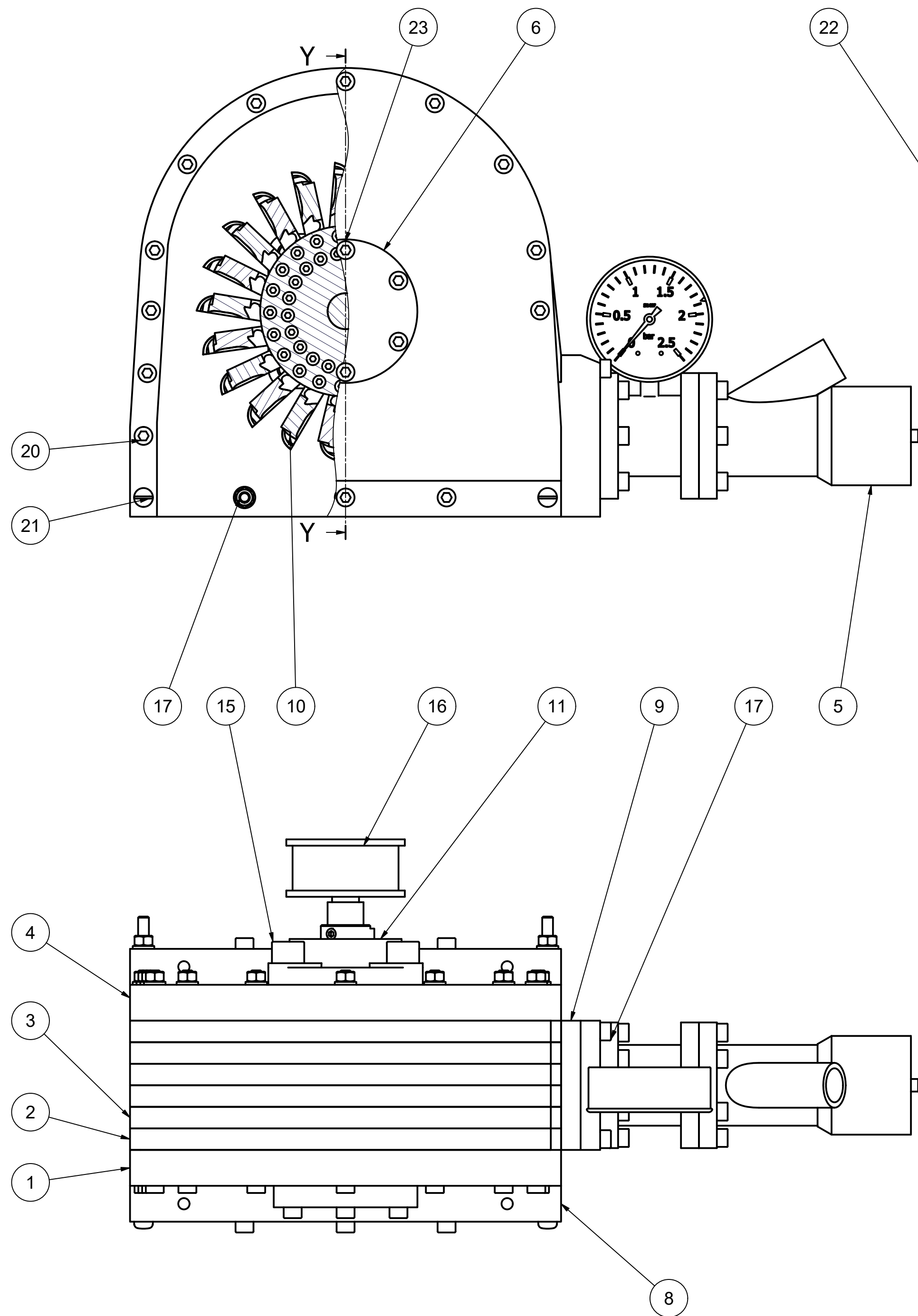
(RPT N1,N2)

G0 Z100

M30

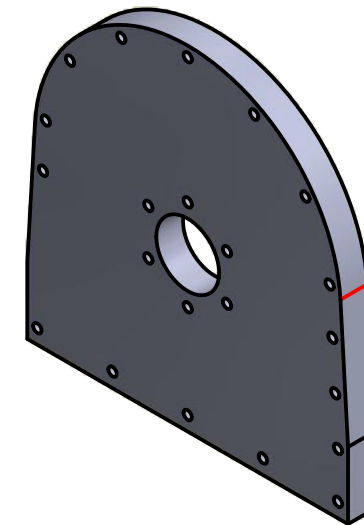
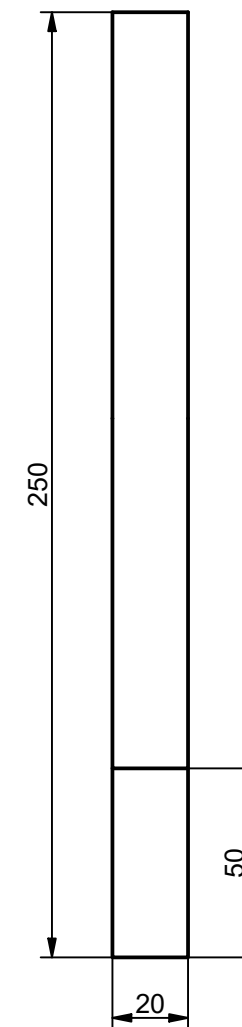
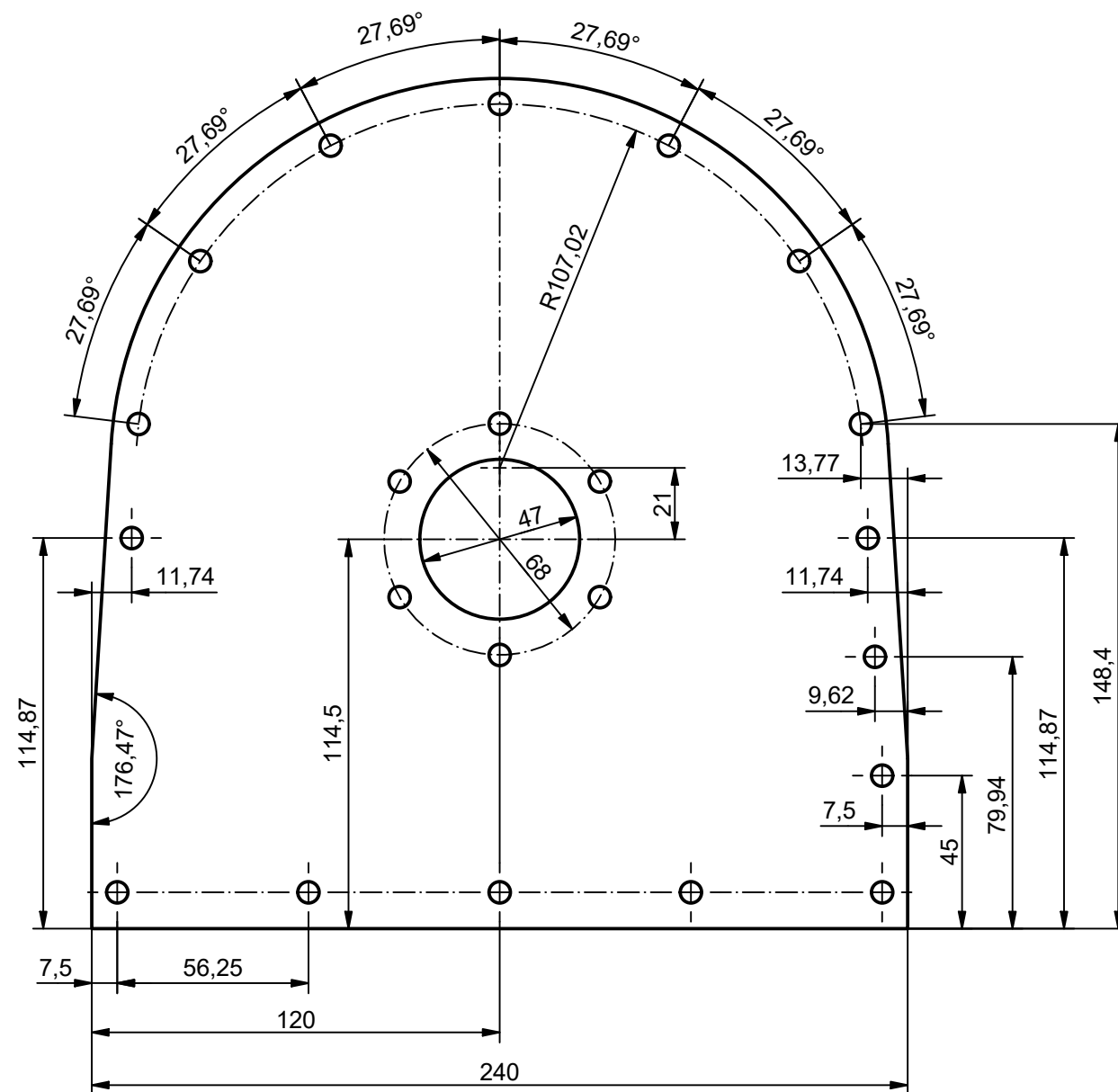
BIBLIOGRAFÍA

- [1]: (s.f.). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Turbina_Pelton.
- [2] Bustamante Cabrera, E., & Arias Reyes, C. (2008). *Diseño y construcción de una turbina Pelton para generación eléctrica, capacidad 2 kW*.
- [3] Hernandez, C., & Indacochea, E. (1988). *Apuntes para un manual técnico de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas*. Olade.
- [4] http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/index.php/Usuario:33_10025. (s.f.).
- [5] <http://www.sapiensman.com/tecnoficio/docs1/d5.php>. (s.f.).
- [6]<https://all3dp.com/es/1/anet-a8-impresora-3d-casera-analisis-diy-kit/#:~:text=Caracter%C3%ADsticas%20de%20la%20Anet%20A8,Plataforma%20de%20impresi%C3%B3n%3A%20aluminio&text=Impresi%C3%B3n%20sin%20conexi%C3%B3n%20mediante%20tarjeta%20SD>. (s.f.).
- [7]<https://www.dgdrchuck.com/es/3-jaw-hydraulic-soild-power-chuck-for-cnc-lathe-machine-three-jaws-drill-chuck.html>. (s.f.).
- [8]<https://www.maquituls.es/sierras-de-cinta/256-sierra-de-cinta-optimum-s-275-g-.html>. (s.f.).
- [9]<https://www.mk-coin.com/es/catalogo/mordazas/mordazas-mec%C3%A1nicas/mordazas-gran-presi%C3%B3n-para-cnc-detail>. (s.f.).
- [10]<https://www.tcicutting.com/es/maquinas-corte-agua/waterjet-bp-c/>. (s.f.).

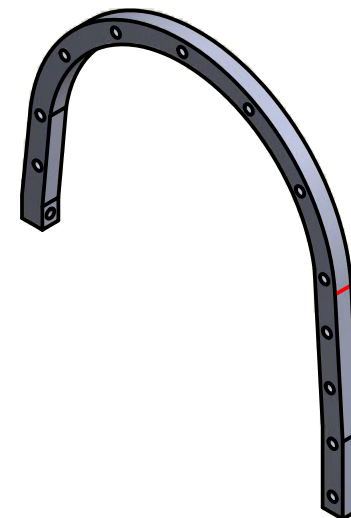
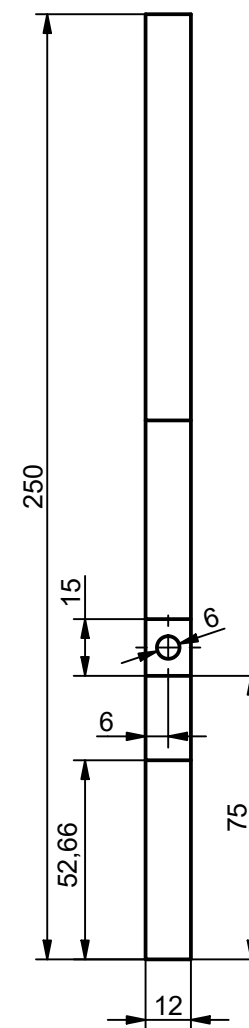
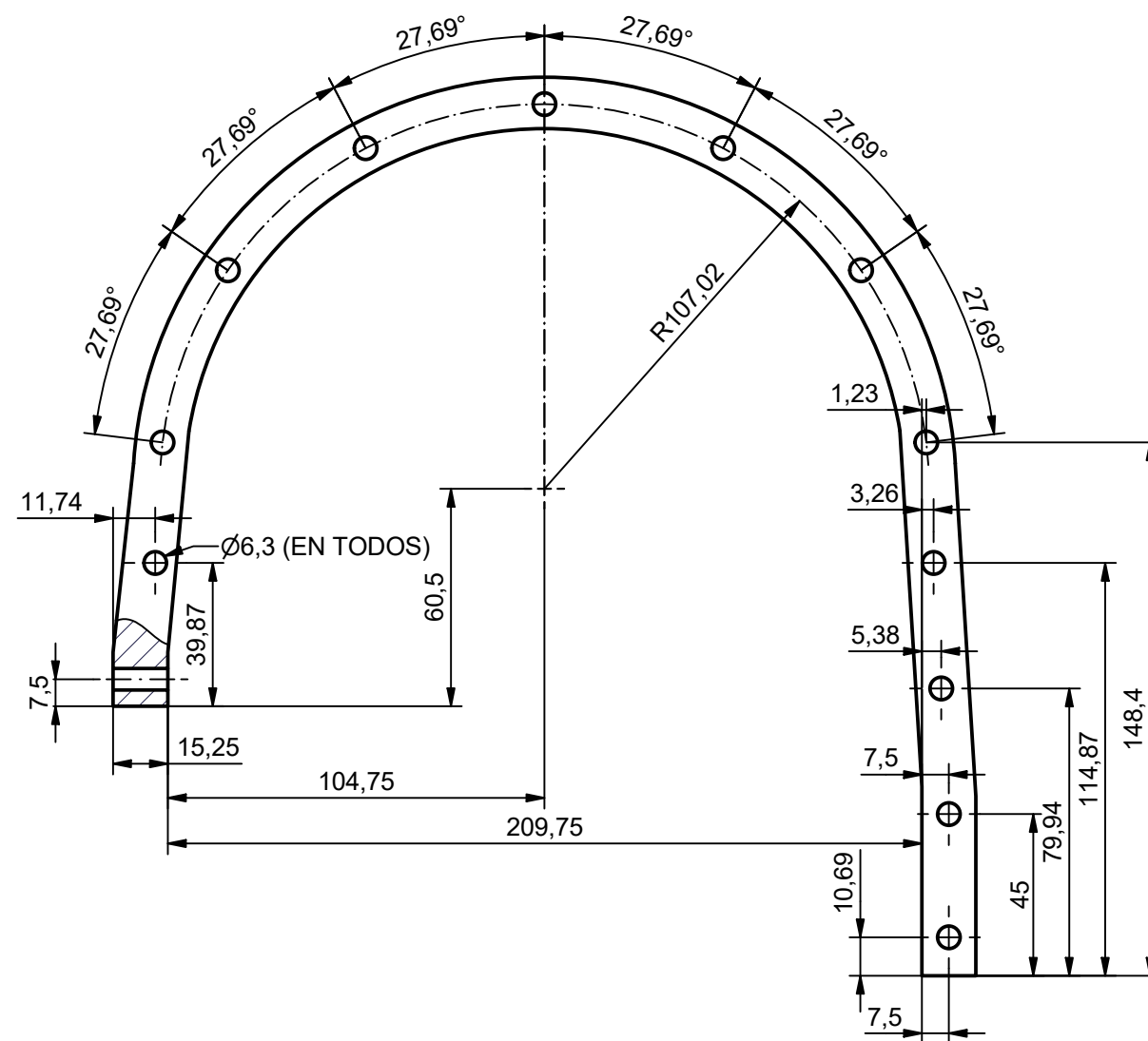


25	42	ISO 4032 - M4	Tuercas hexagonales, tipo 1
24	42	ISO 4762 - M4 x 25	Tornillo de cabeza cilíndrica con hueco hexagonal
23	6	ISO 4762 - M6 x 45	Tornillo de cabeza cilíndrica con hueco hexagonal
22	1	ISO 4762 - M12 x 25	Tornillo de cabeza cilíndrica con hueco hexagonal
21	2	JIS B 1101 - M6 x 170	Tornillos de cabeza con cara ranurada
20	11	Unbrako - M6 x 120	Tornillo de cabeza cilíndrica
19	21	ISO 4033 - M6	Tuercas hexagonales, tipo 2
18	21	ISO 7089 - 6	Arandelas planas - Serie normal
17	8	ISO 4762 - M6 x 50	Tornillo de cabeza cilíndrica con hueco hexagonal
16	1	Polea	
15	4	ISO 4762 M12 x 45	
14	1	Tapa Trasera	
13	1	Eje	
12	1	Tapa eje posterior	
11	1	ucf204	Rodamiento trasero
10	1	Ensamblaje del Rodete	Palas y rodete
9	1	Acople del inyector	
8	2	Acople de sujecion	
7	1	SKF 6204_2RSH	Rodamiento delantero
6	1	Tapa eje frontal	
5	1	Ensamblaje del inyector	
4	1	Tapa posterior	
3	4	Costilla sin taladro lateral	
2	2	Costilla con taladro lateral	
1	1	Frontal Metacrilato	

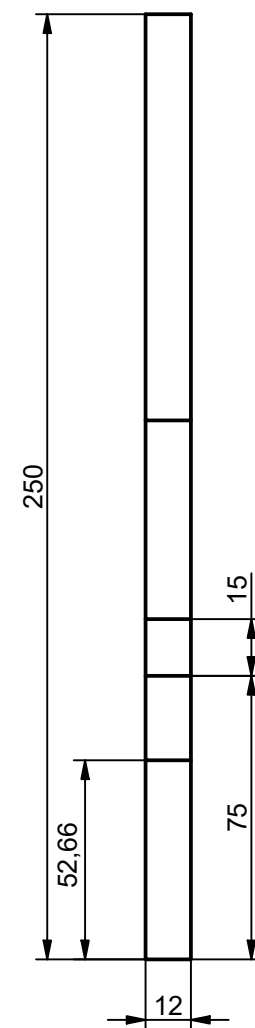
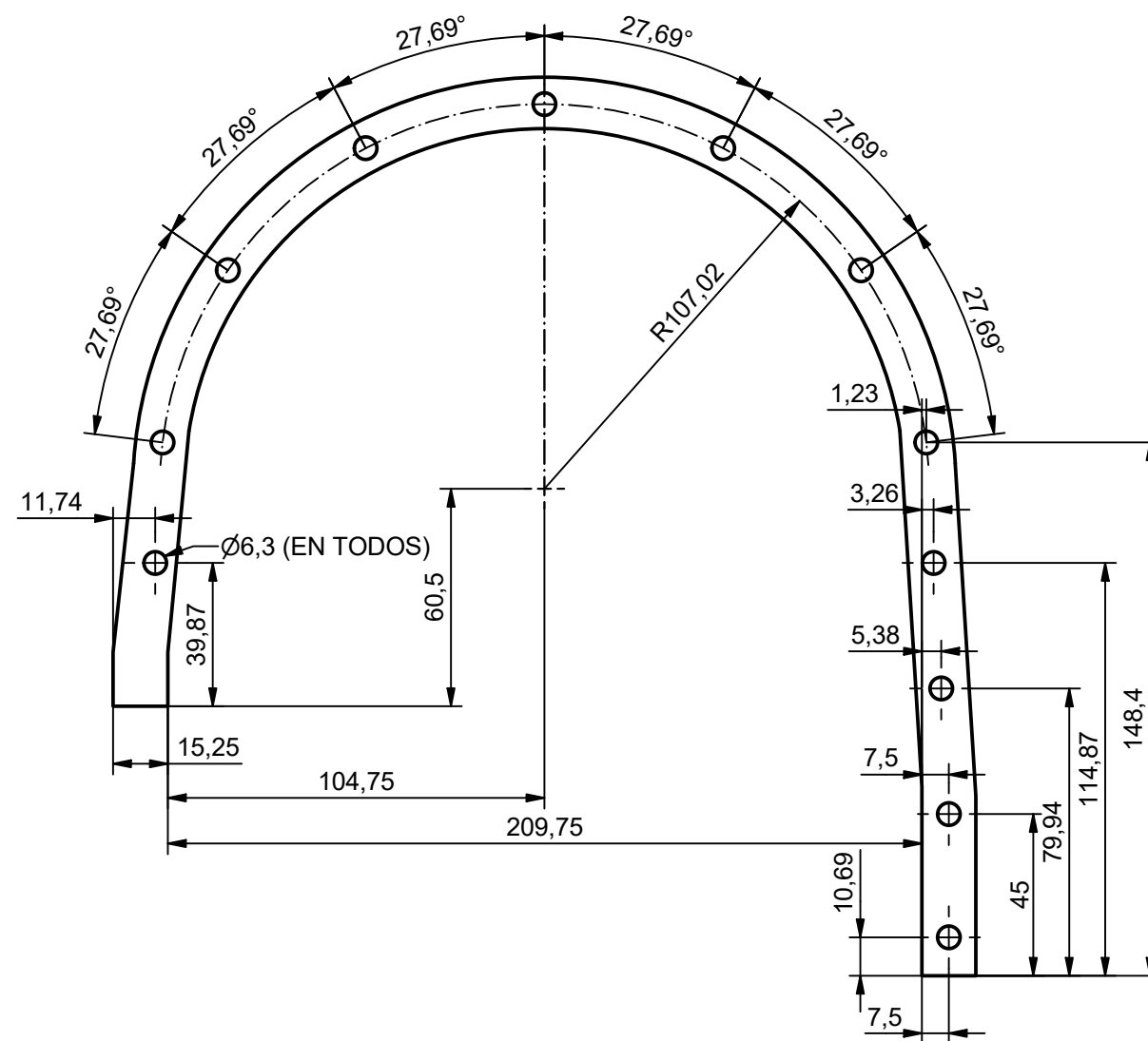
Marca	Ctd.	Designación			Descripción
		FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO			GASPAR		
COMPROBADO					
ESCALA:		Diseño, fabricación y caracterización de unaturbina pelton para uso docente			Nº PLANO
1 : 2		Ensamblaje Turbina Pelton			1
					A2
					SUSTITUYE A:
					SUSTITUIDO POR:



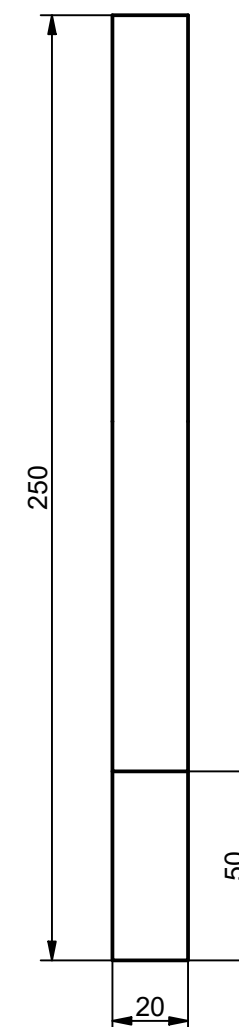
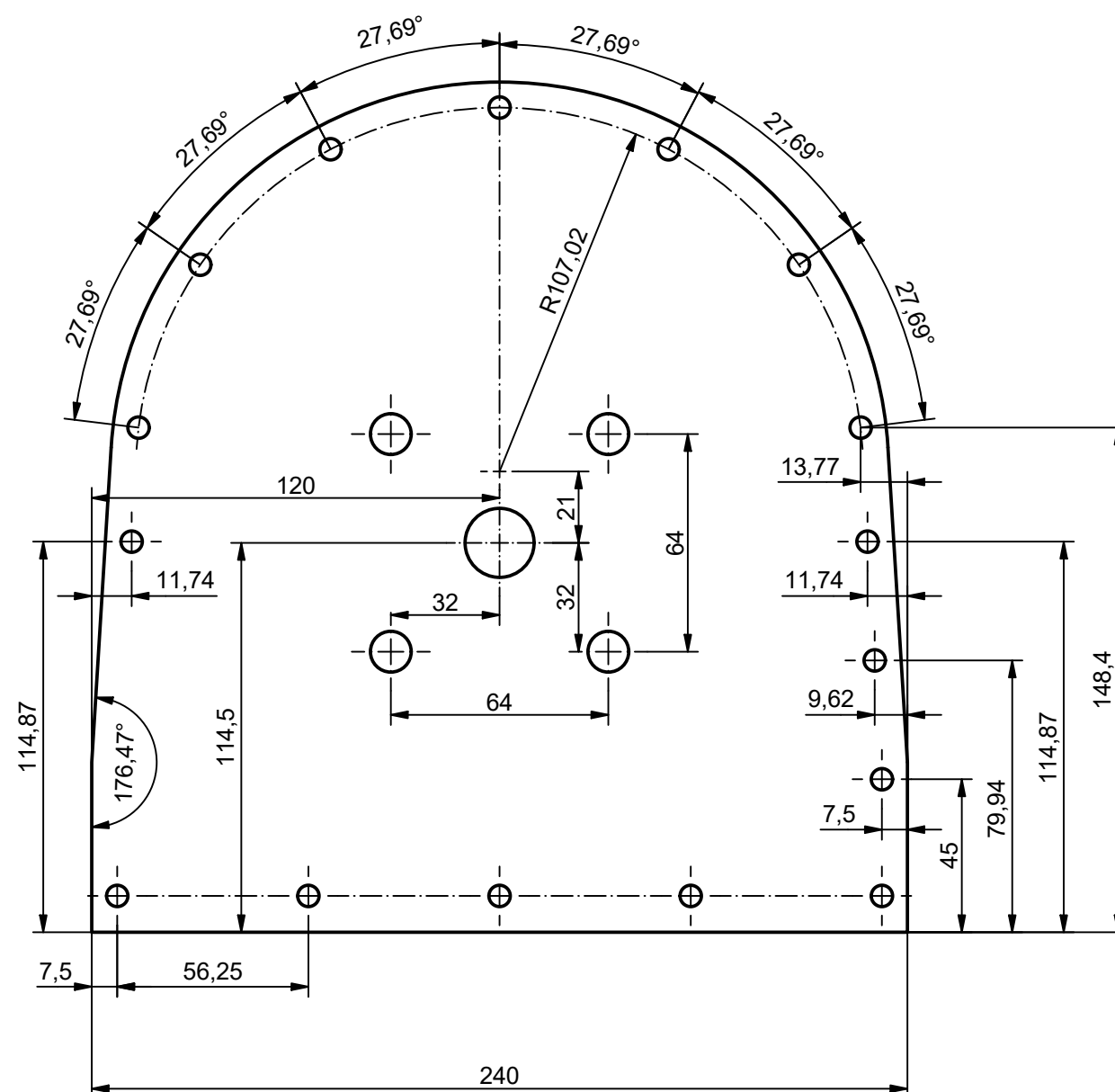
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		GASPAR			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de unaturbina pelton para uso docente			Nº PLANO 2	A3
1 : 2				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



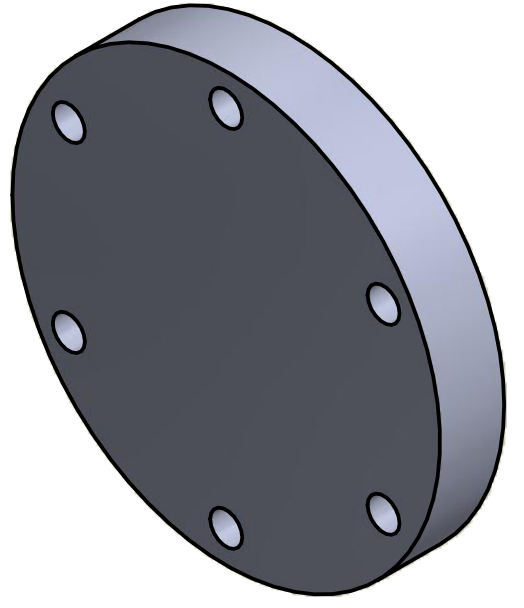
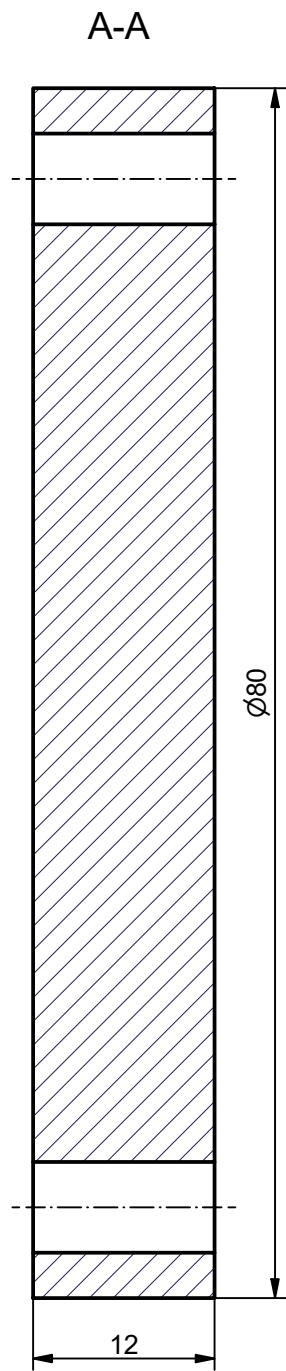
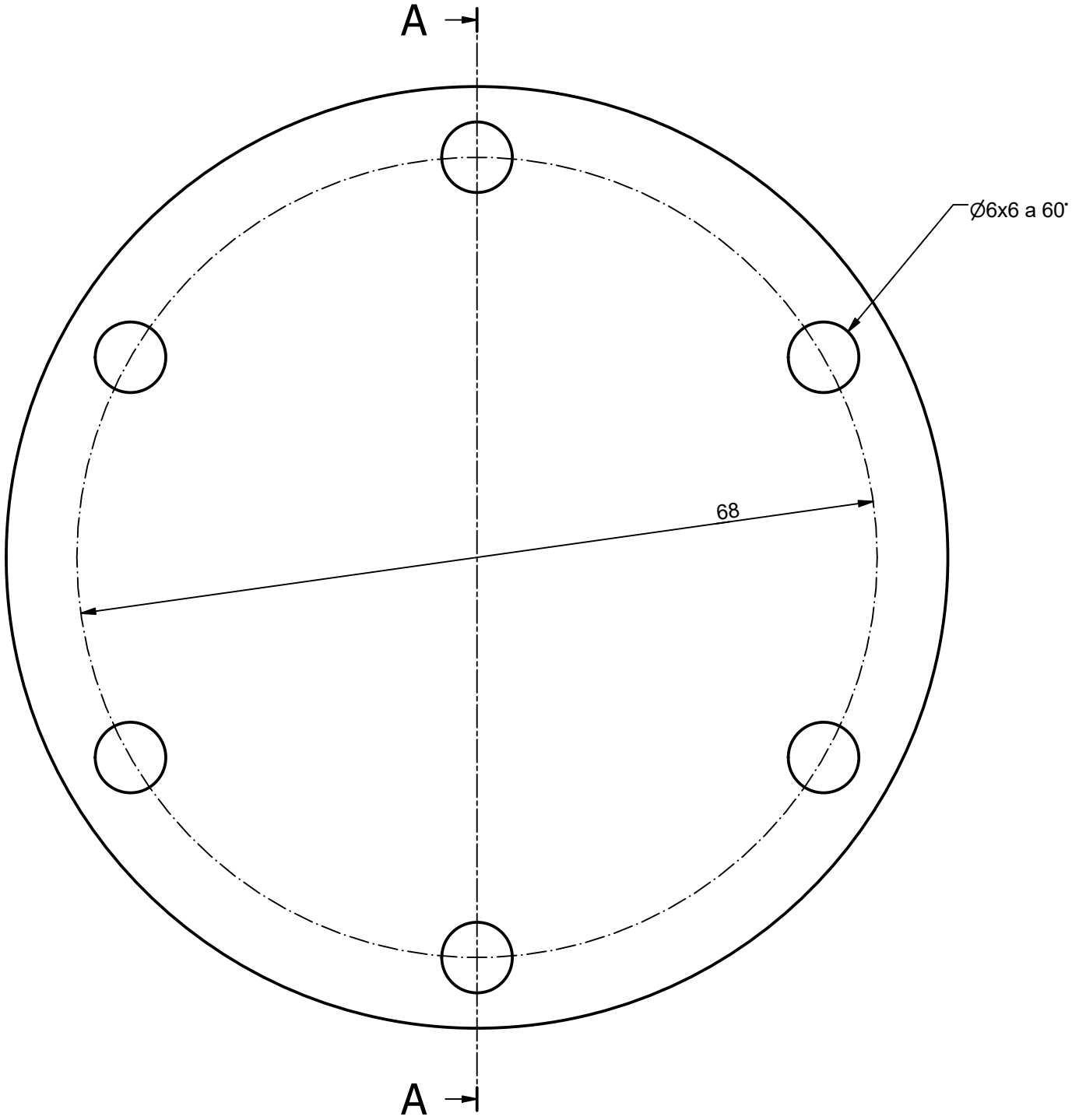
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		GASPAR			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de unaturbina pelton para uso docente			Nº PLANO 3	A3
1 : 2				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



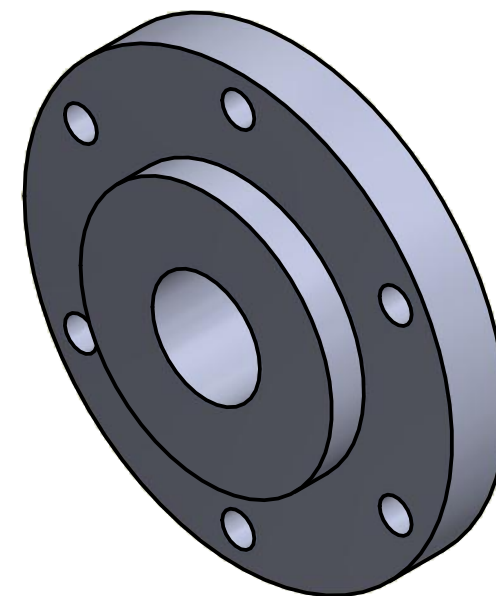
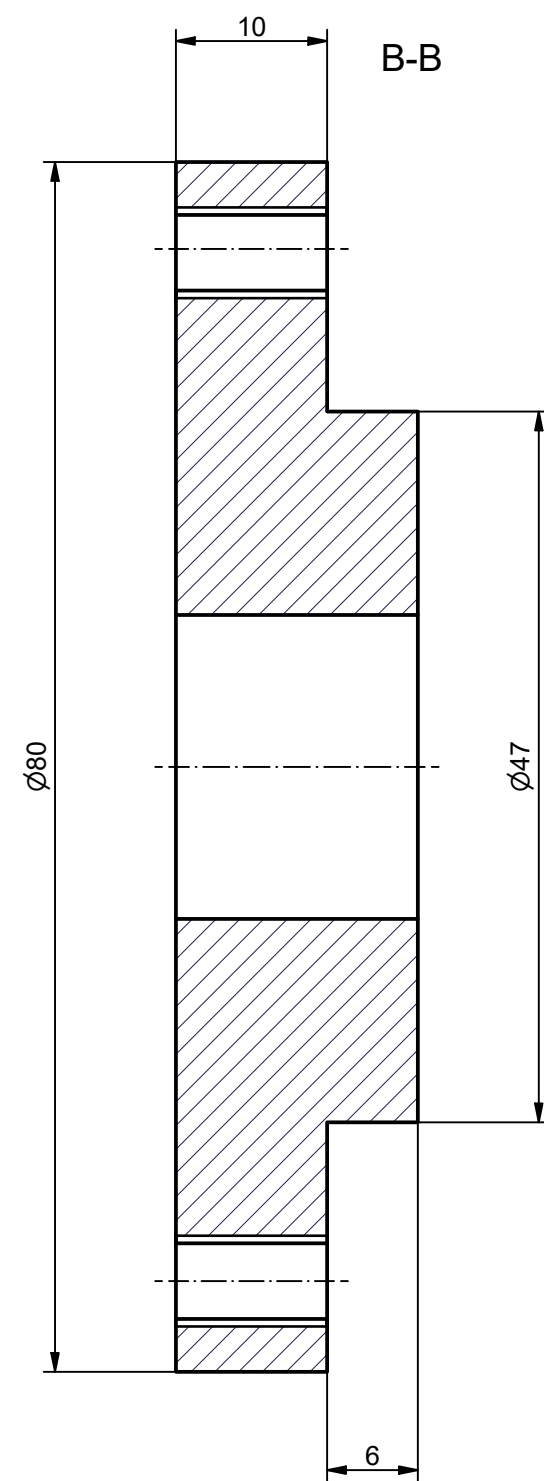
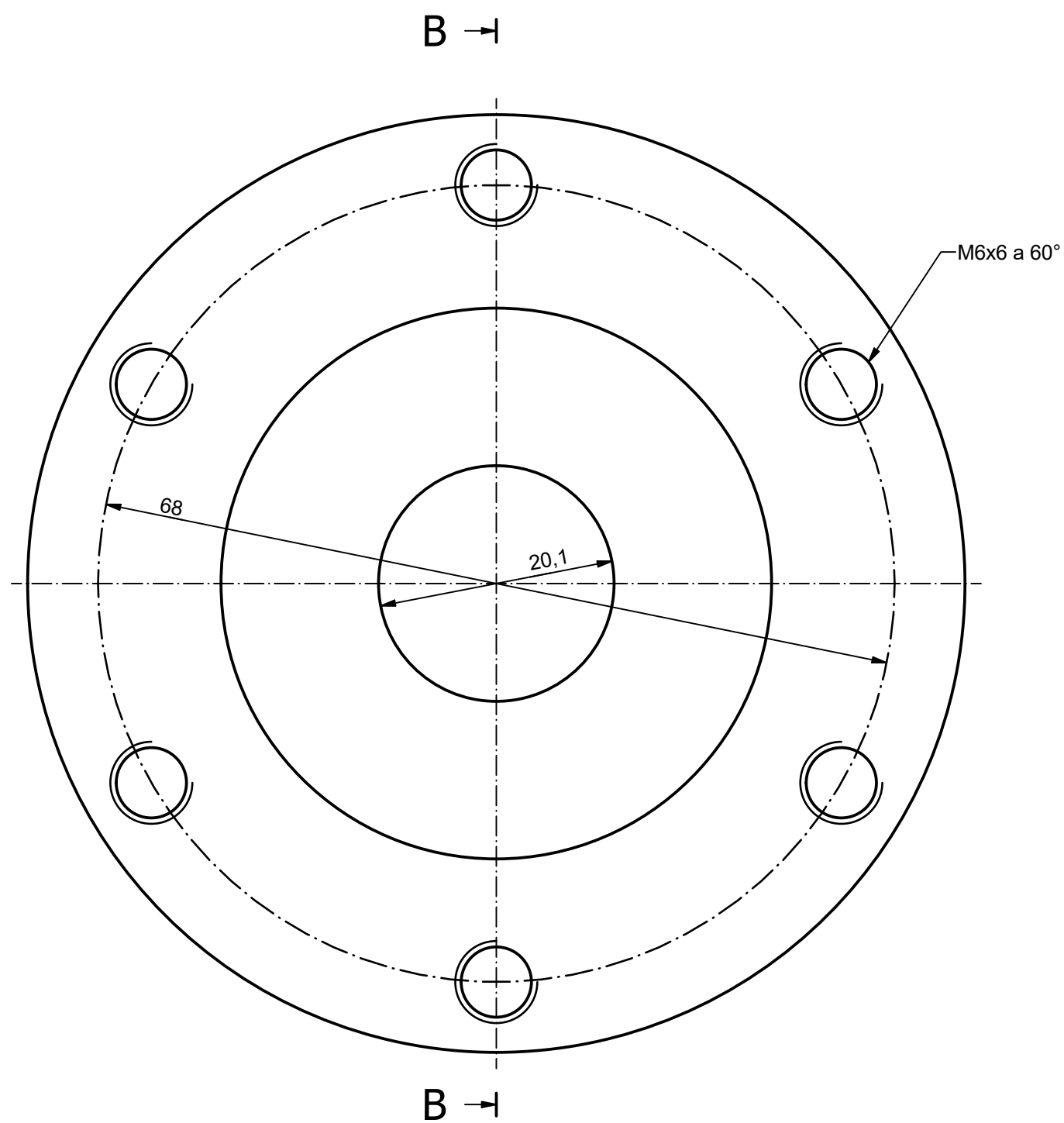
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		GASPAR			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina pelton para uso docente Costilla sin taladro lateral			Nº PLANO 4	A3
1 : 2				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



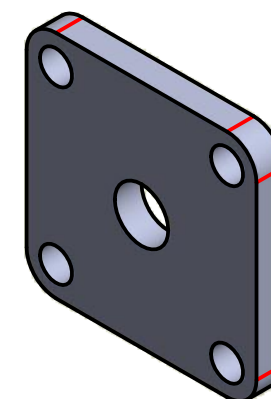
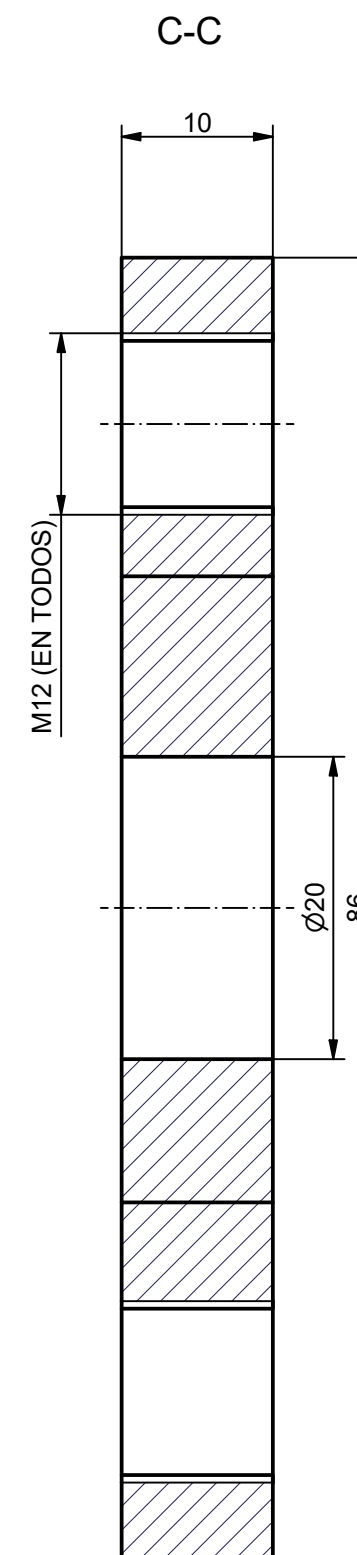
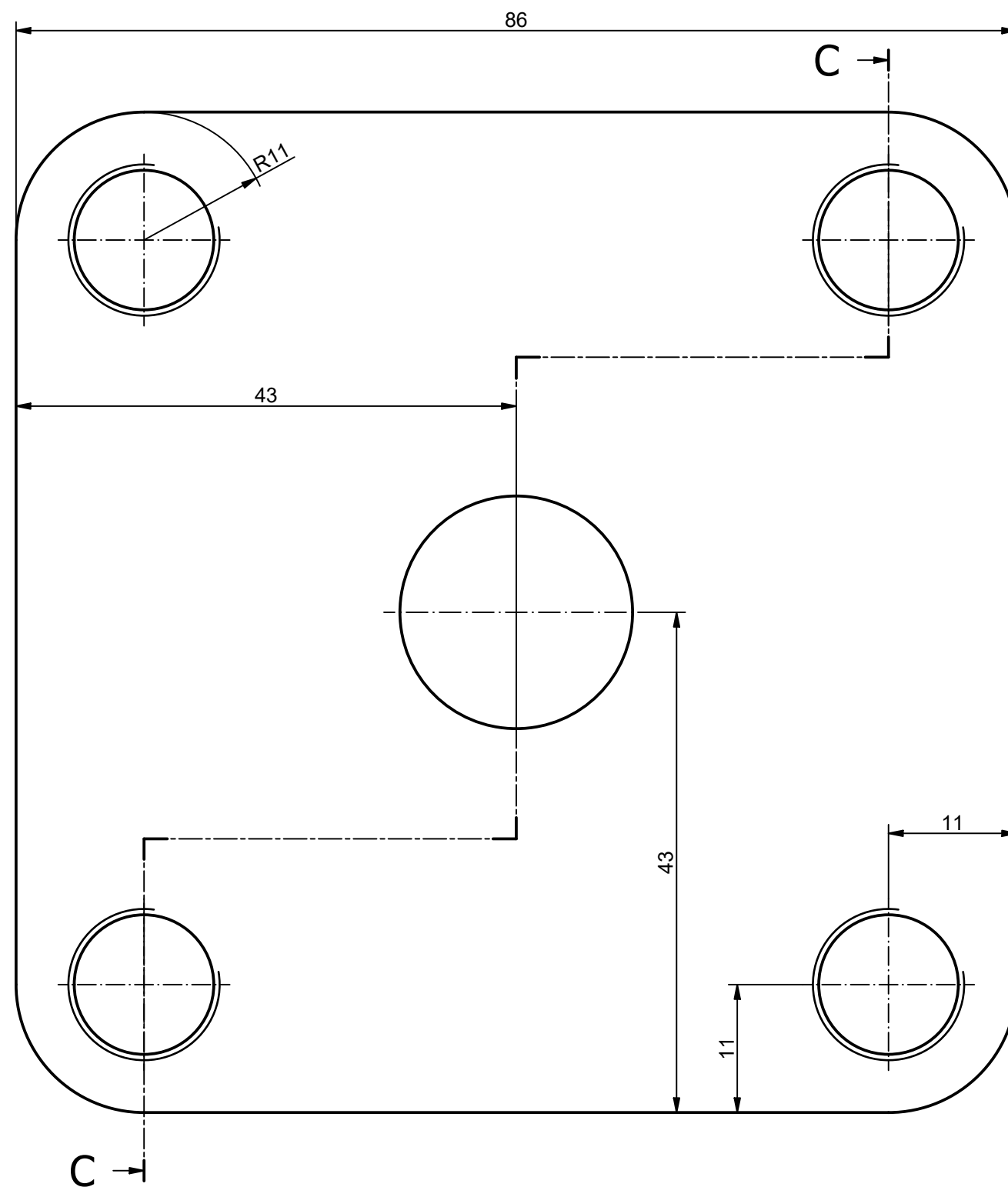
	FECHA:	NOMBRE:	FIRMA:	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		GASPAR		
COMPROBADO				
ESCALA: 1 : 2	Diseño, fabricación y caracterización de unaturbina pelton para uso docente Frontal de metacrilato			Nº PLANO 5
				A3
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



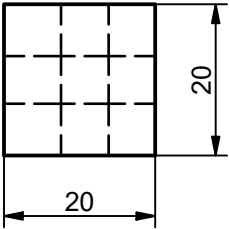
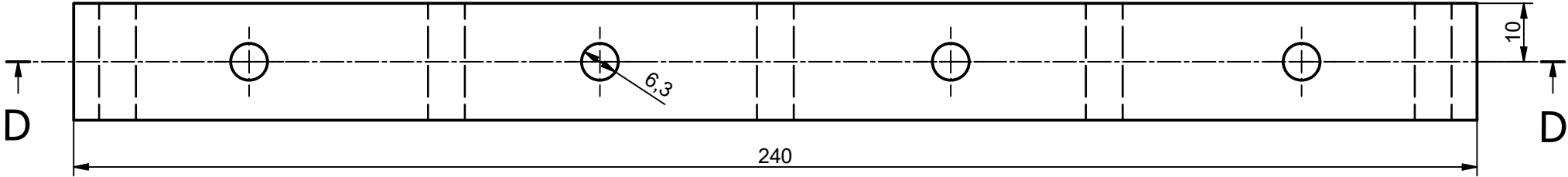
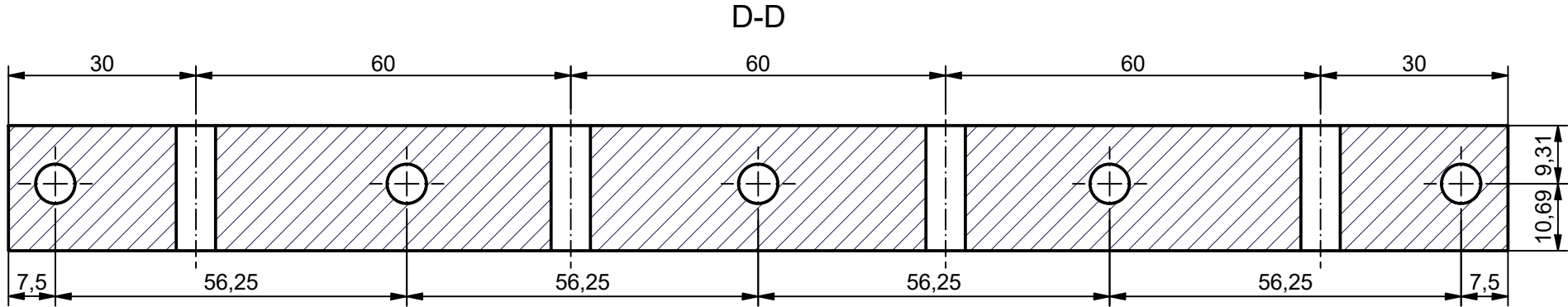
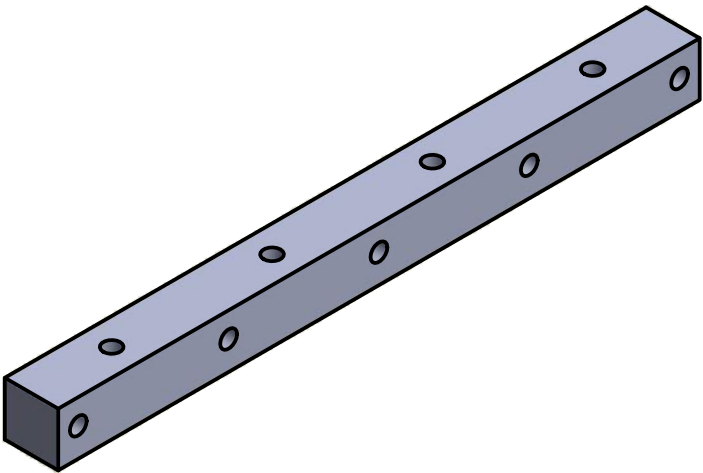
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		GASPAR			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina pelton para uso docente			Nº PLANO 6	A3
2 : 1				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



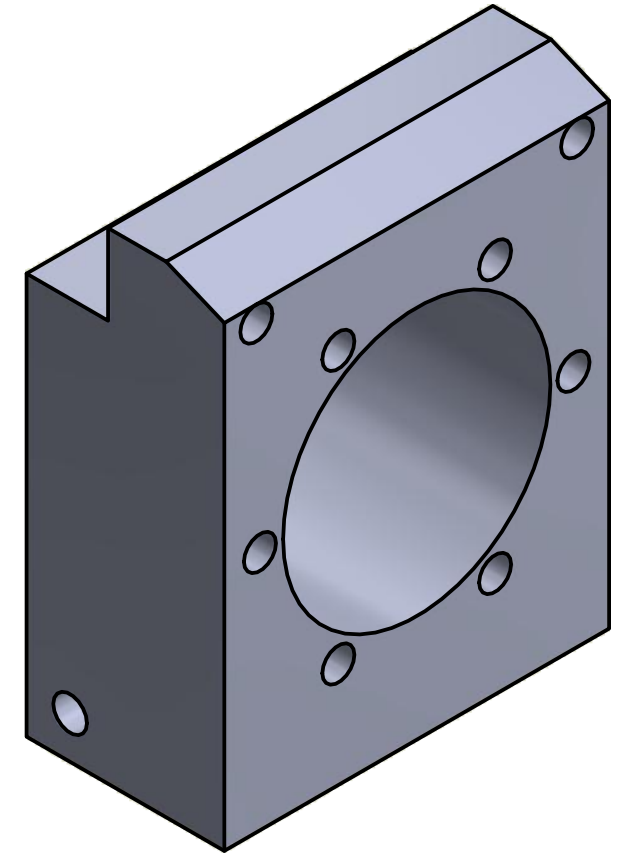
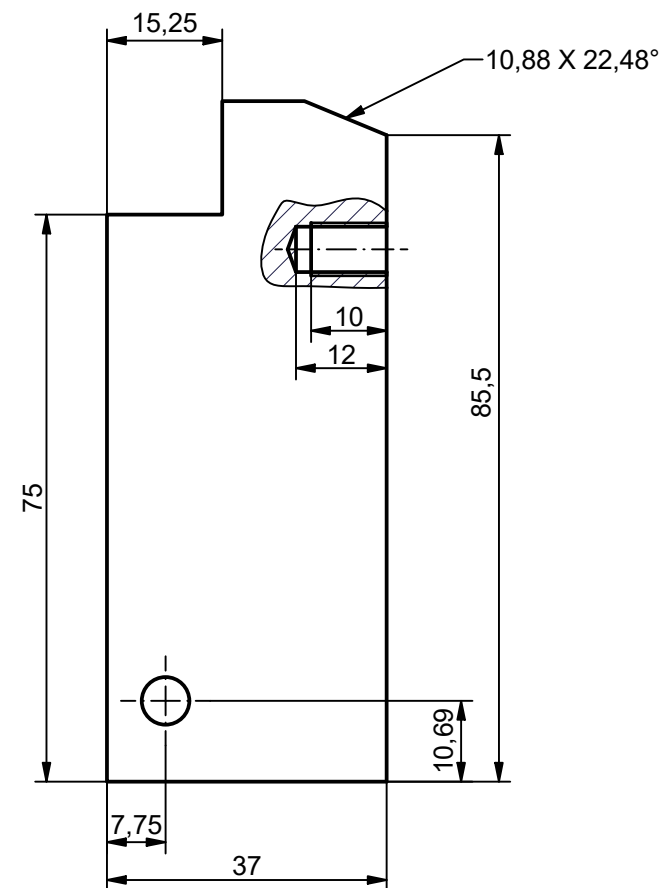
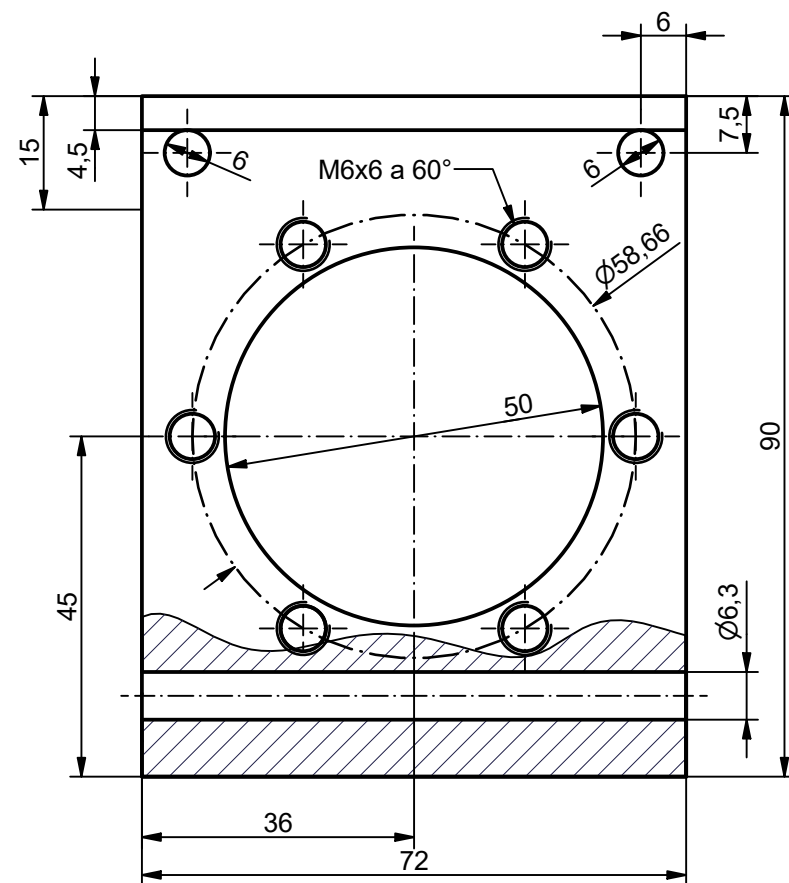
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		GASPAR			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina pelton para uso docente Tapa eje posterior			Nº PLANO 7	A3
2 : 1				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



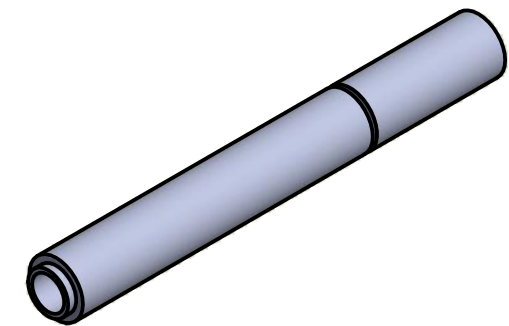
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		GASPAR			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina pelton para uso docente			Nº PLANO 8	A3
2 : 1				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



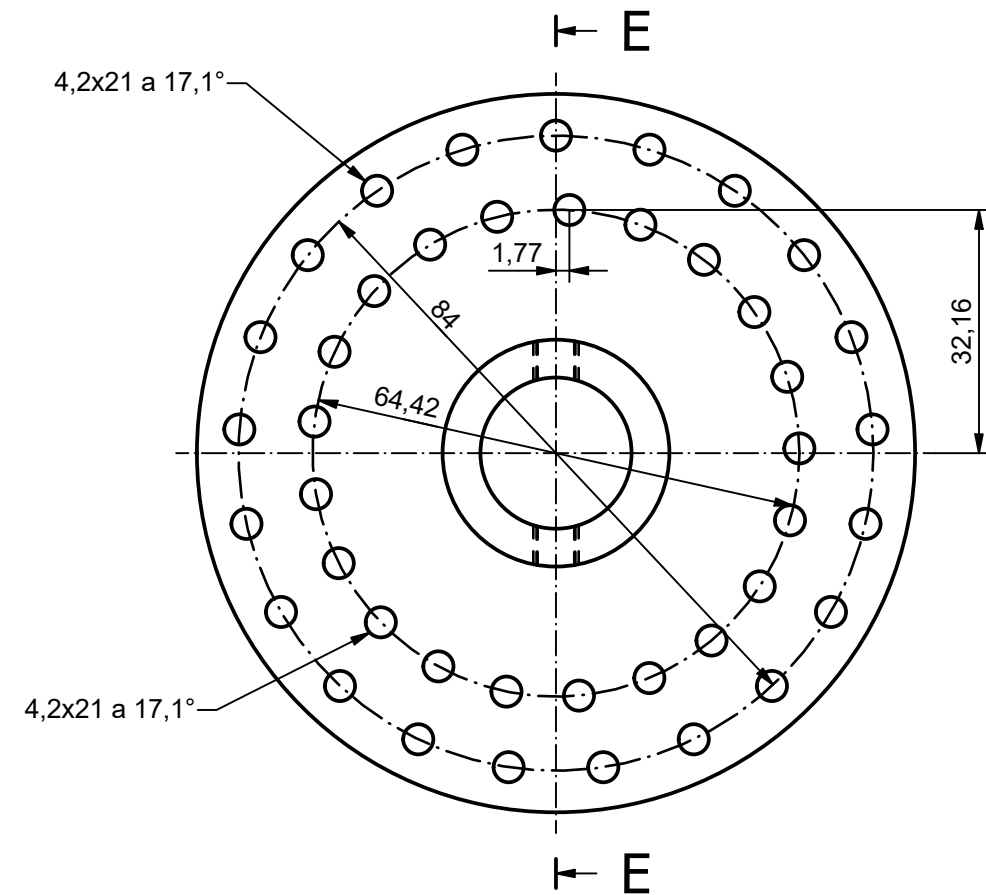
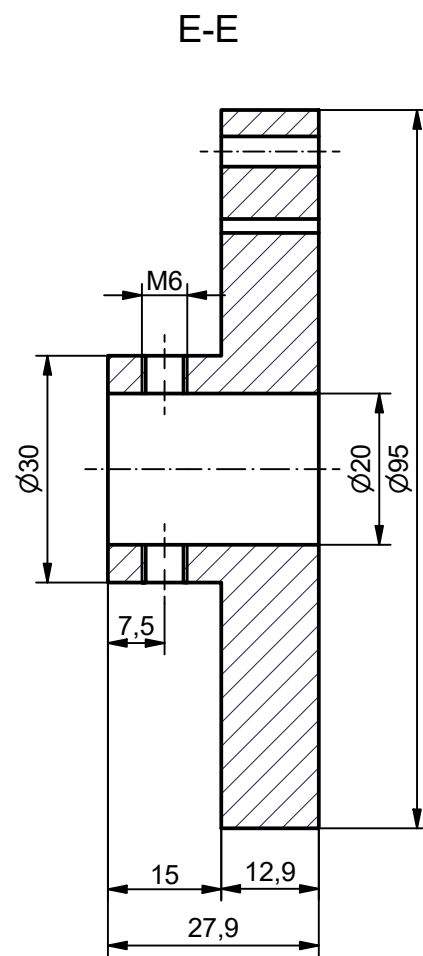
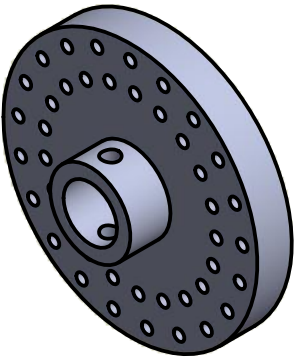
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		GASPAR			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina pelton para uso docente Acople de sujeción para carcasa			Nº PLANO 9	A3
1 : 1				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		GASPAR			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina pelton para uso docente			Nº PLANO	A3
1 : 1				10	
				SUSTITUYE A:	
	Acople del Inyector			SUSTITUIDO POR:	

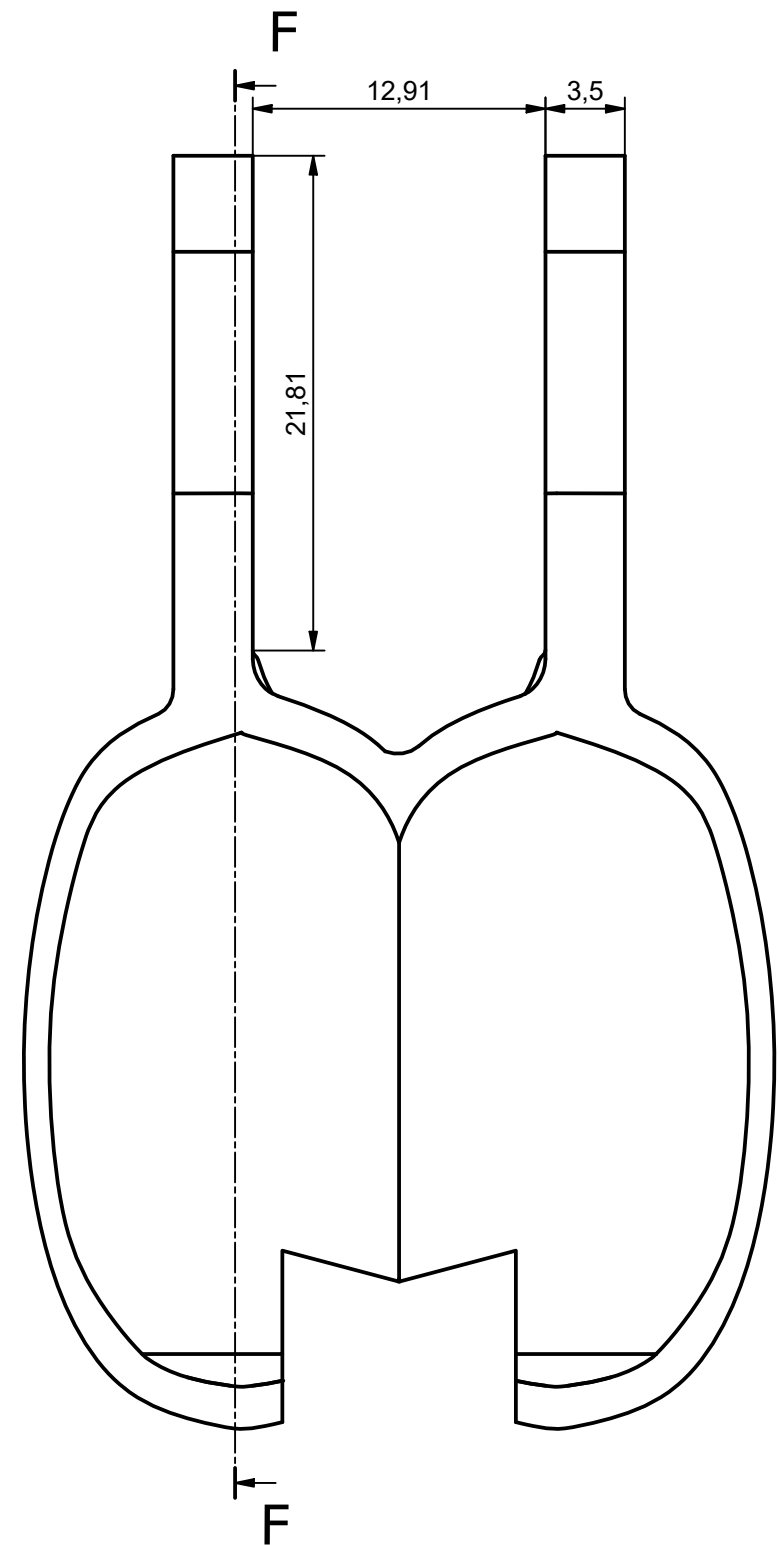
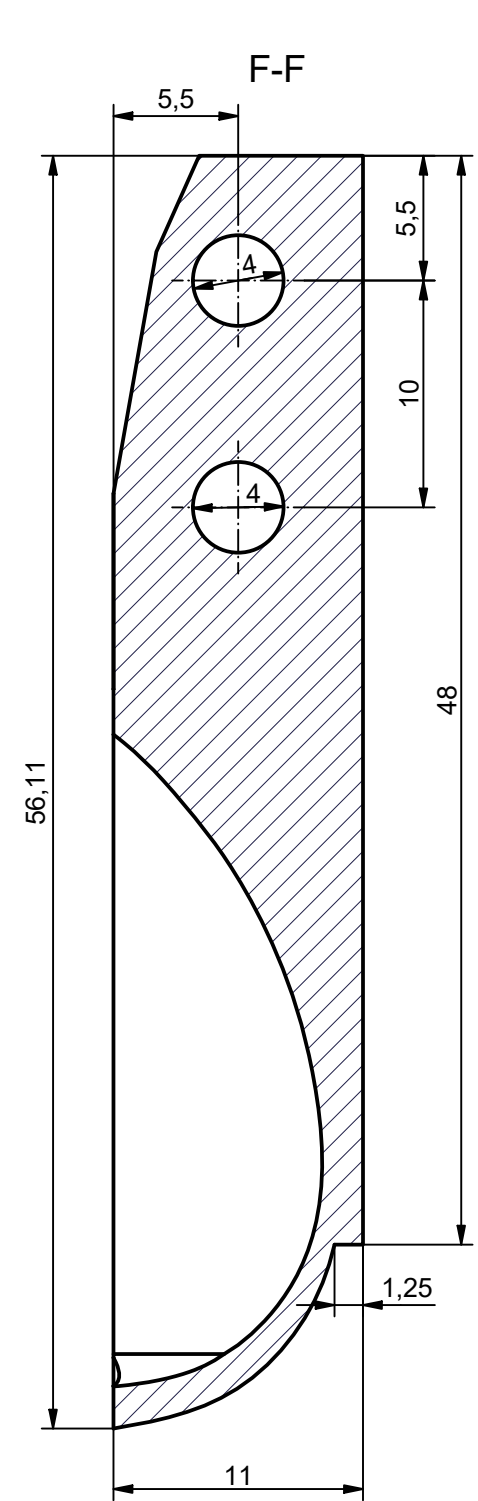


	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		GASPAR			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina pelton para uso docente Eje			Nº PLANO 11	A3
1 : 2				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	

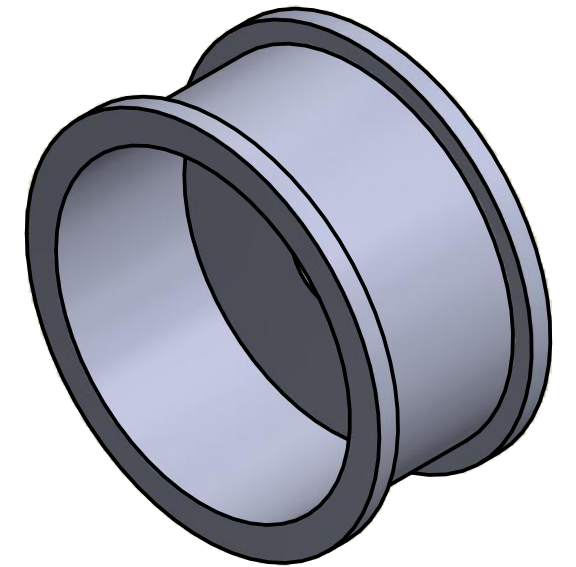
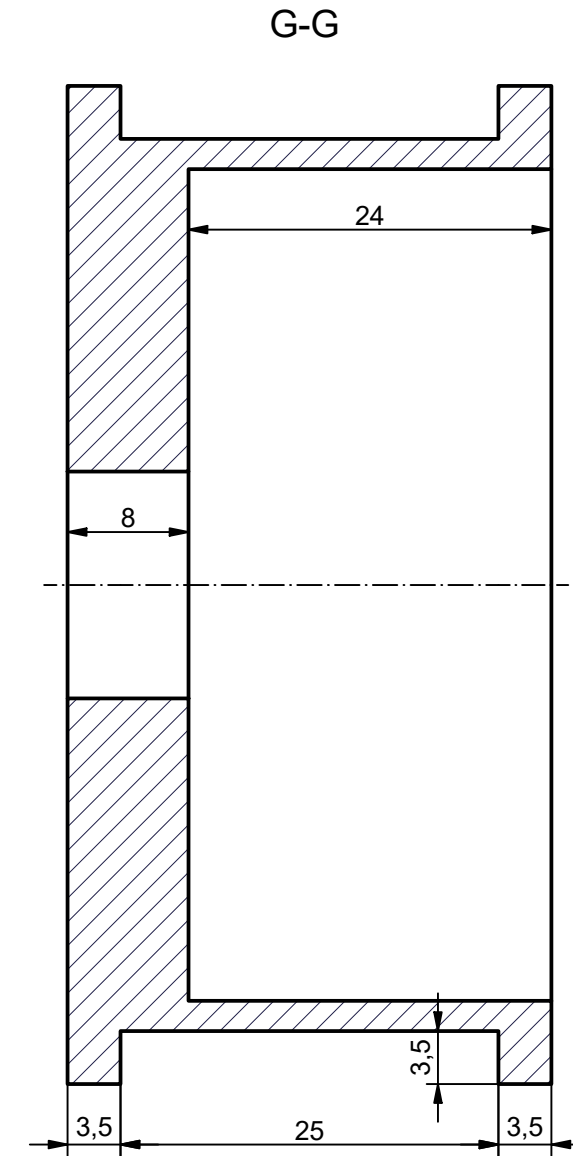
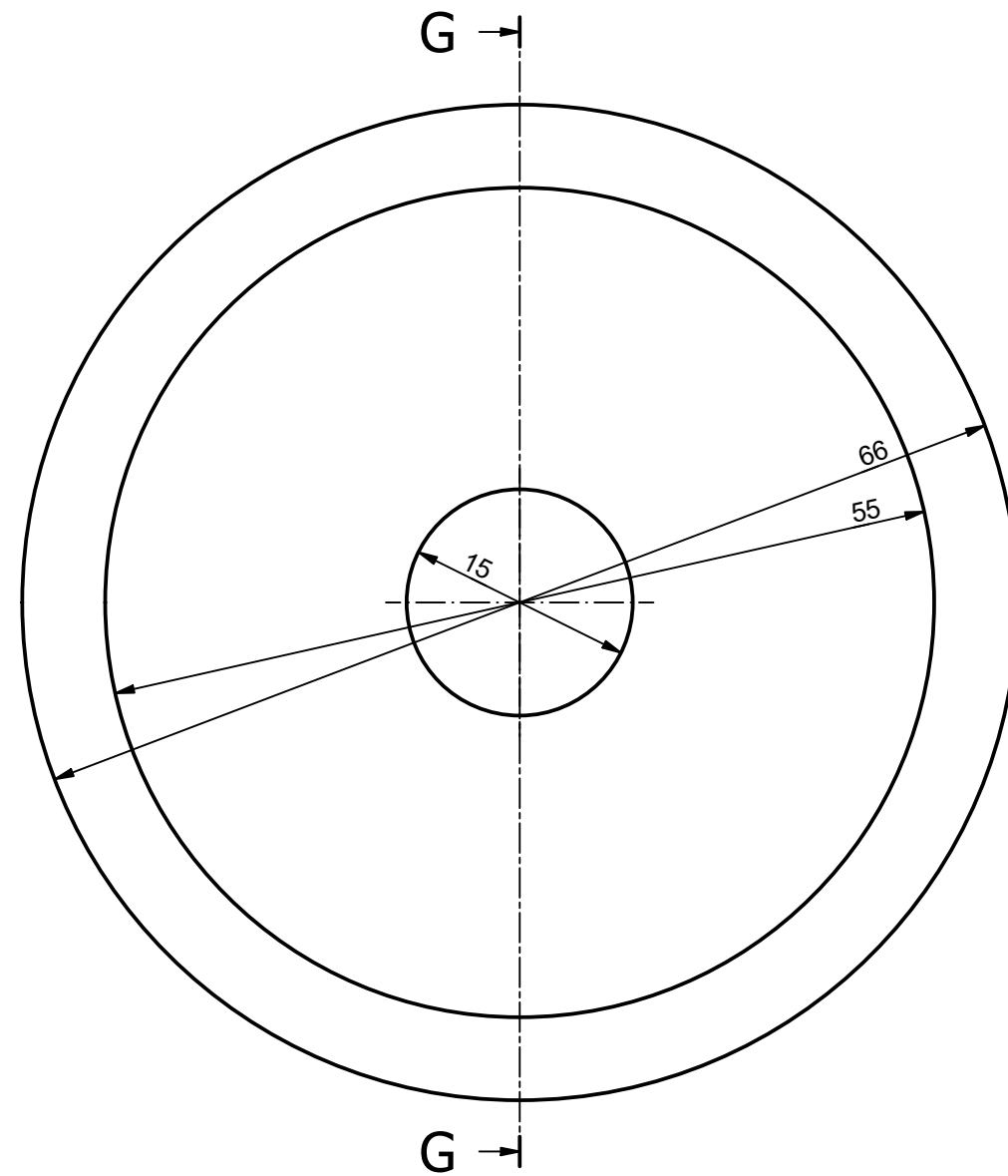


	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		GASPAR			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina pelton para uso docente Rodete			Nº PLANO 12	A3
1 : 1				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	

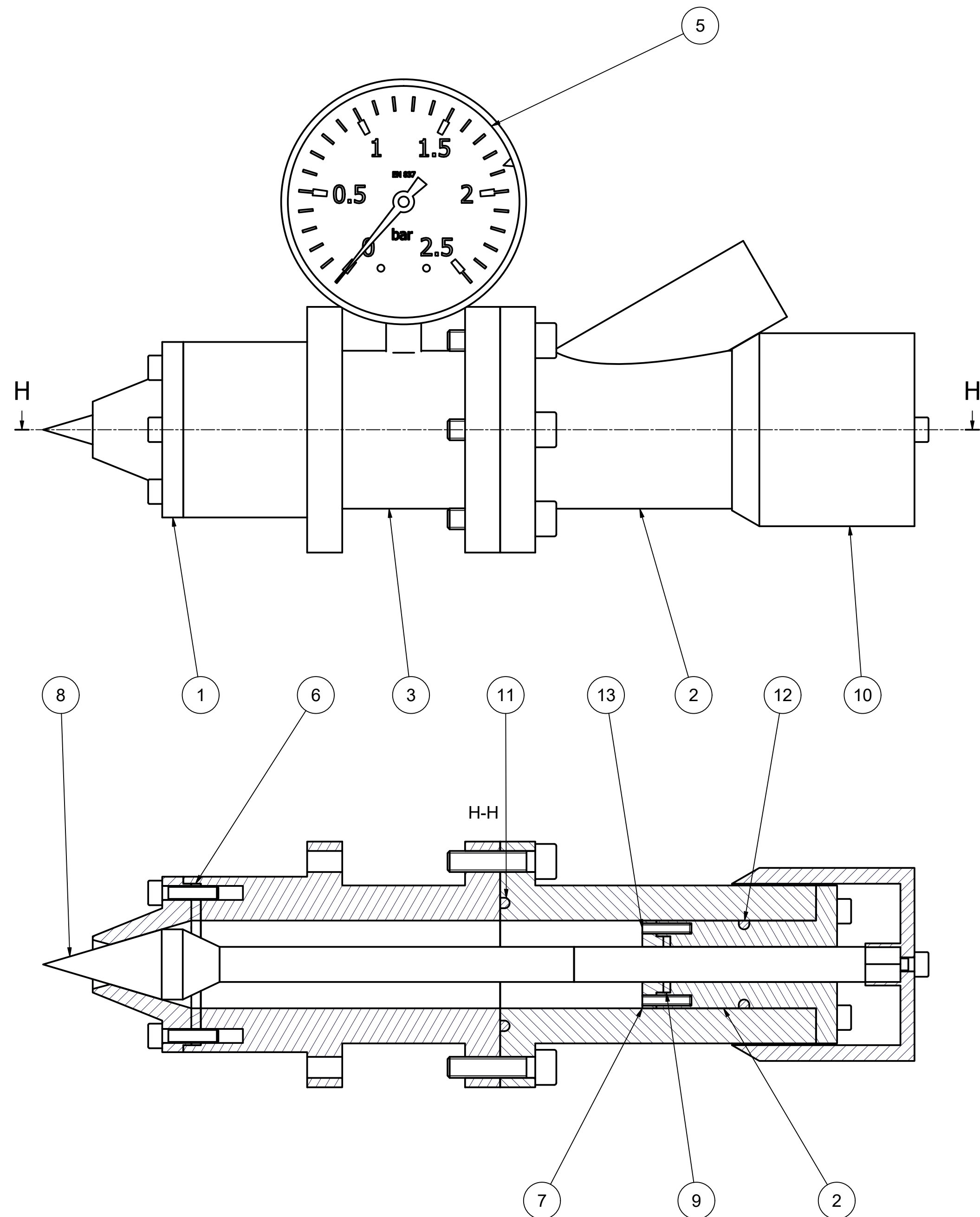
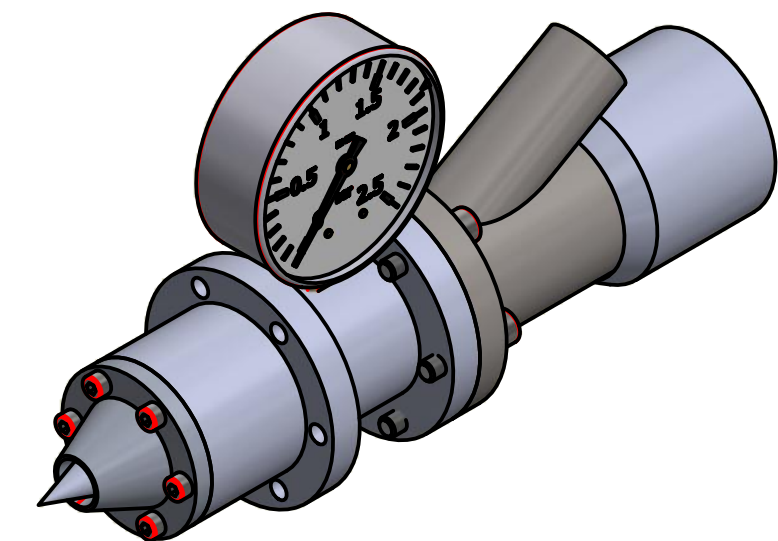
Las dimensiones relacionadas al diseño se encuentran en la memoria



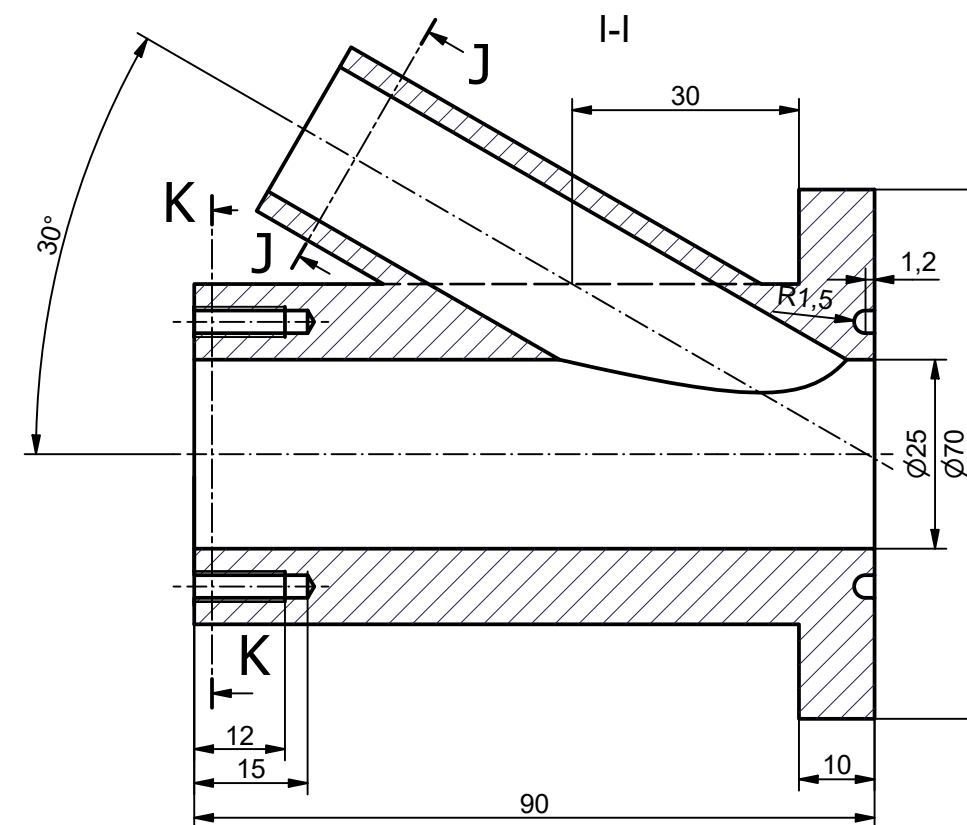
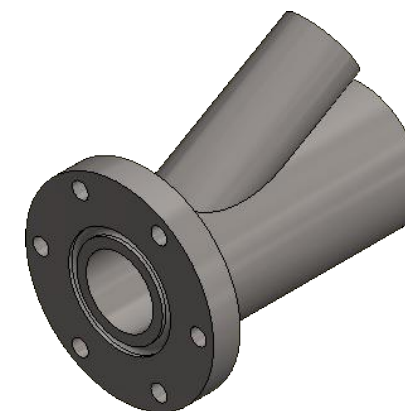
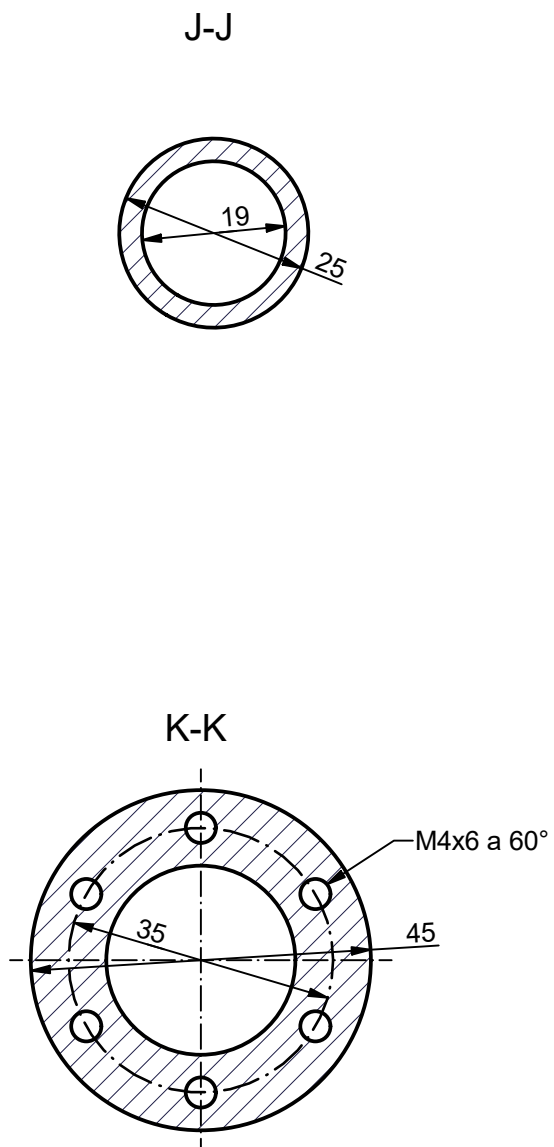
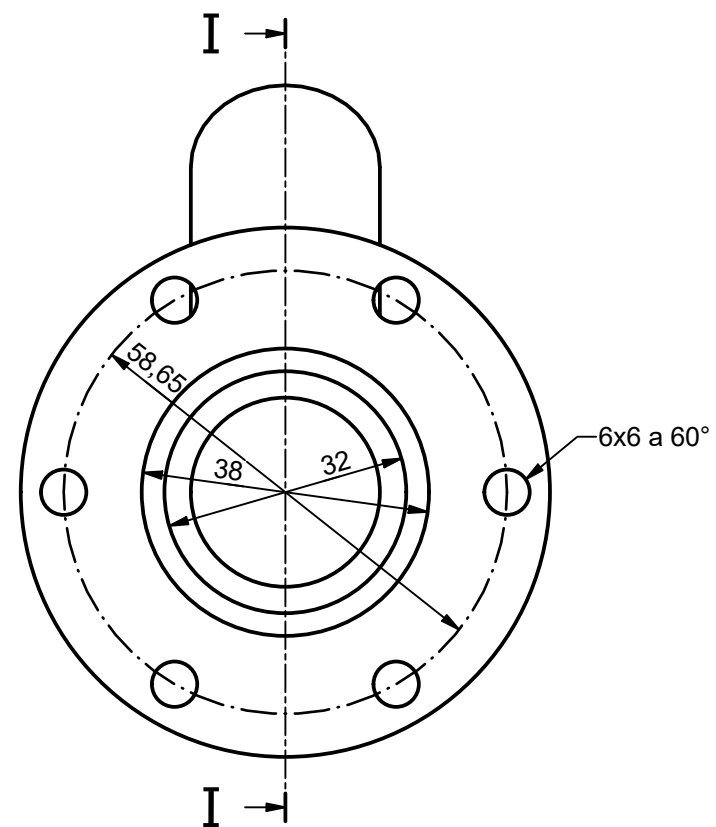
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		GASPAR			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina pelton para uso docente Pala			Nº PLANO 13	A3
3 : 1				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



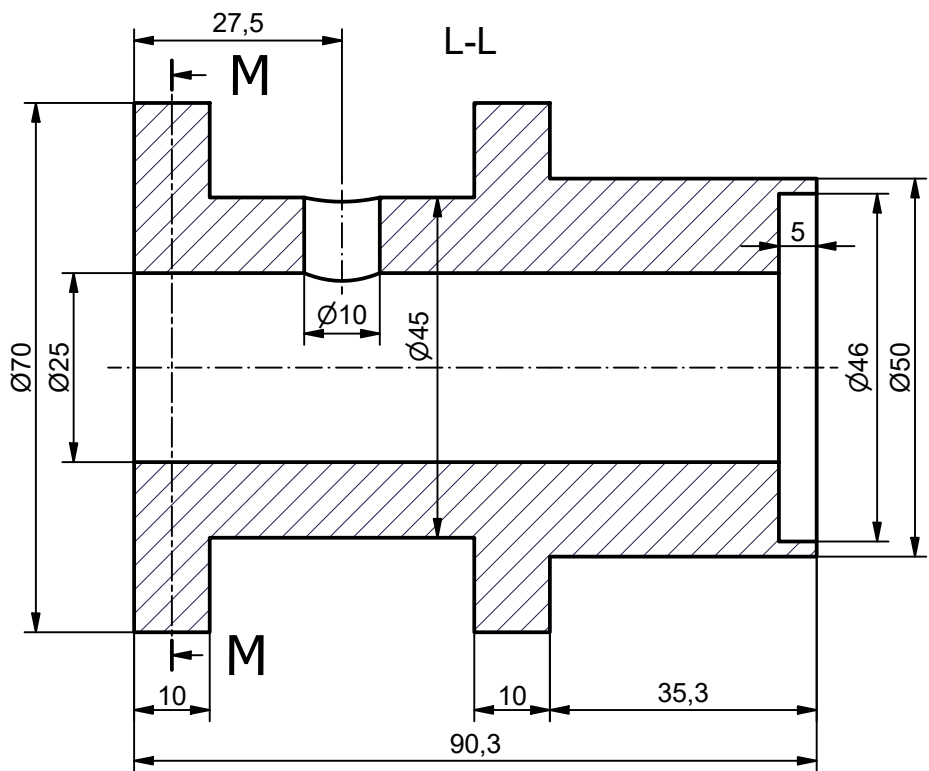
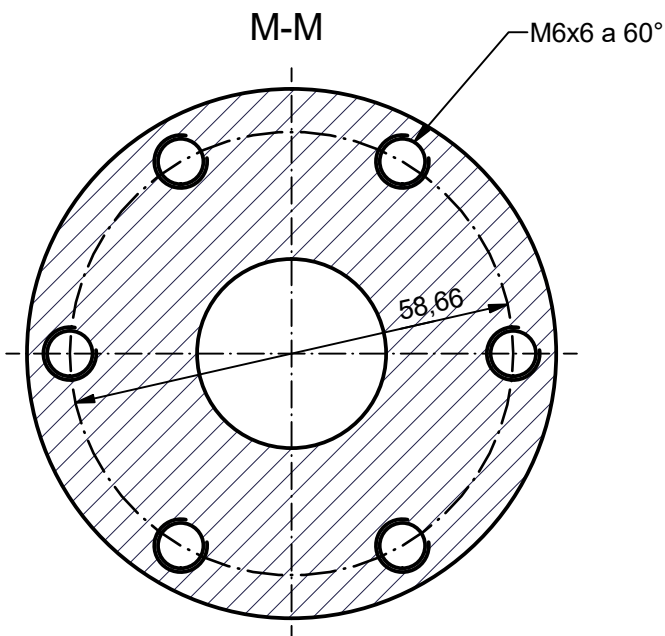
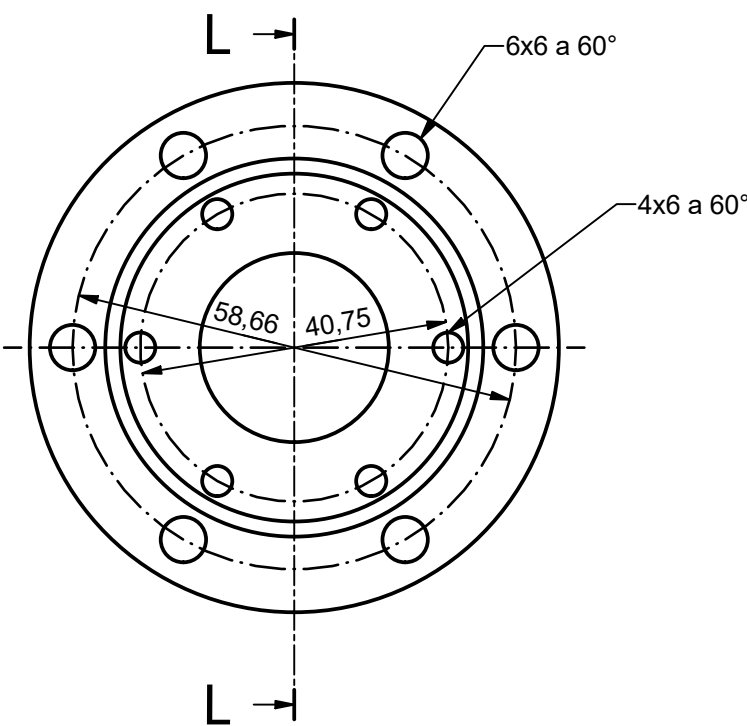
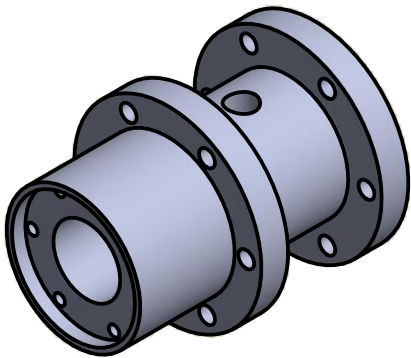
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		GASPAR			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina pelton para uso docente			Nº PLANO 14	A3
2 : 1				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



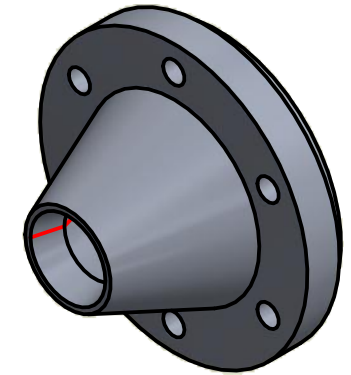
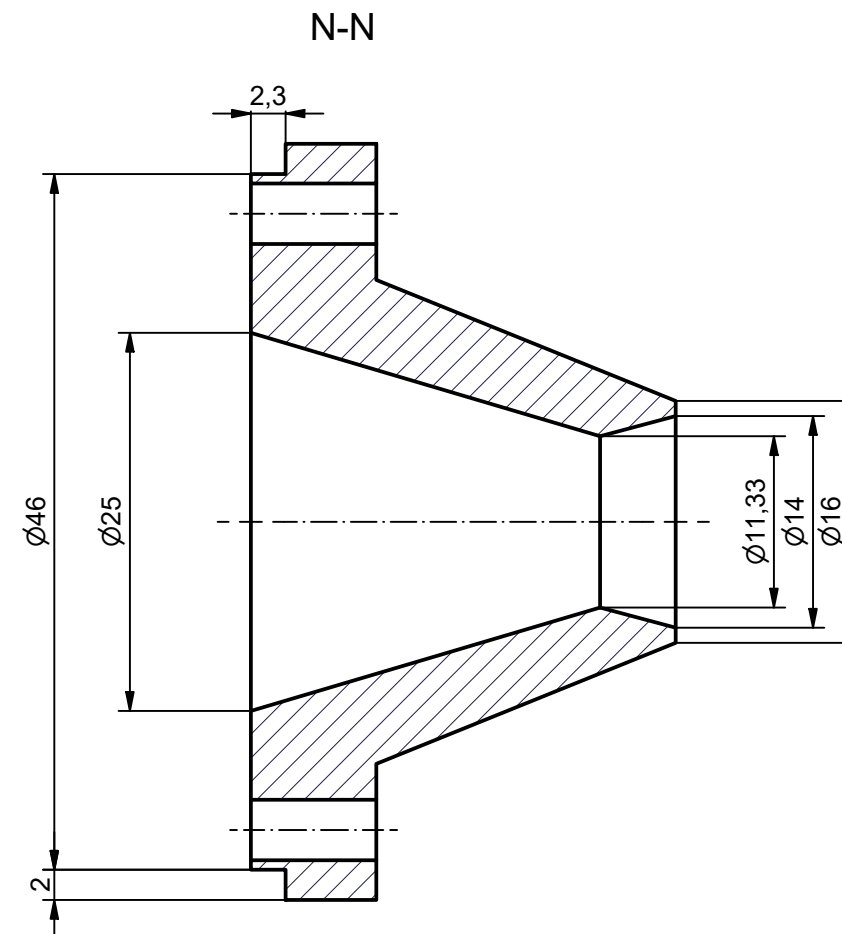
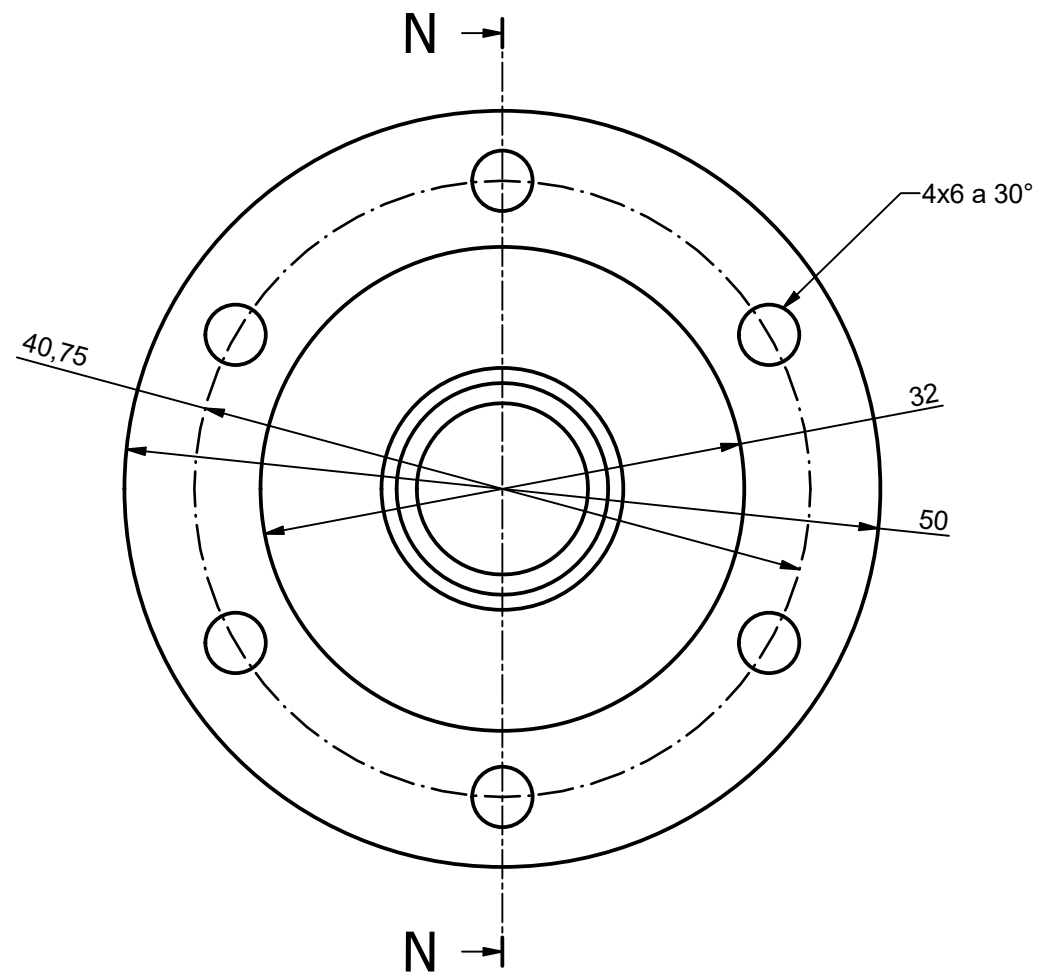
17	6	ISO 4762 - M4 x 12	Tornillo de cabeza cilíndrica con hueco hexagonal	
16	1	ISO 4762 - M4 x 10	Tornillo de cabeza cilíndrica con hueco hexagonal	
15	6	ISO 4762 - M6 x 25	Tornillo de cabeza cilíndrica con hueco hexagonal	
14	6	ISO 4762 - M4 x 16	Tornillo de cabeza cilíndrica con hueco hexagonal	
13	1	Prisionero M3	07165-203X8	
12	1	Junta 3mm pequeña		
11	1	Junta 3mm grande		
10	1	Regulador del inyector		
9	1	Junta para soporte del eje		
8	1	Aguja		
7	1	Tapón		
6	1	Junta para boquilla		
5	1	Manómetro		
4	1	Soporte eje		
3	1	Cuerpo inyector 2		
2	1	Cuerpo inyector 1		
1	1	Boquilla inyector		
Marca	Ctd.	Designación		Descripción
DIBUJADO		FECHA	NOMBRE	FIRMA
COMPROBADO			GASPAR	
ESCUOLA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES				
ESCALA:		Diseño, fabricación y caracterización de unaturbina pelton para uso docente		Nº PLANO
1 : 1		Ensamblaje del inyector		15
				A2
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



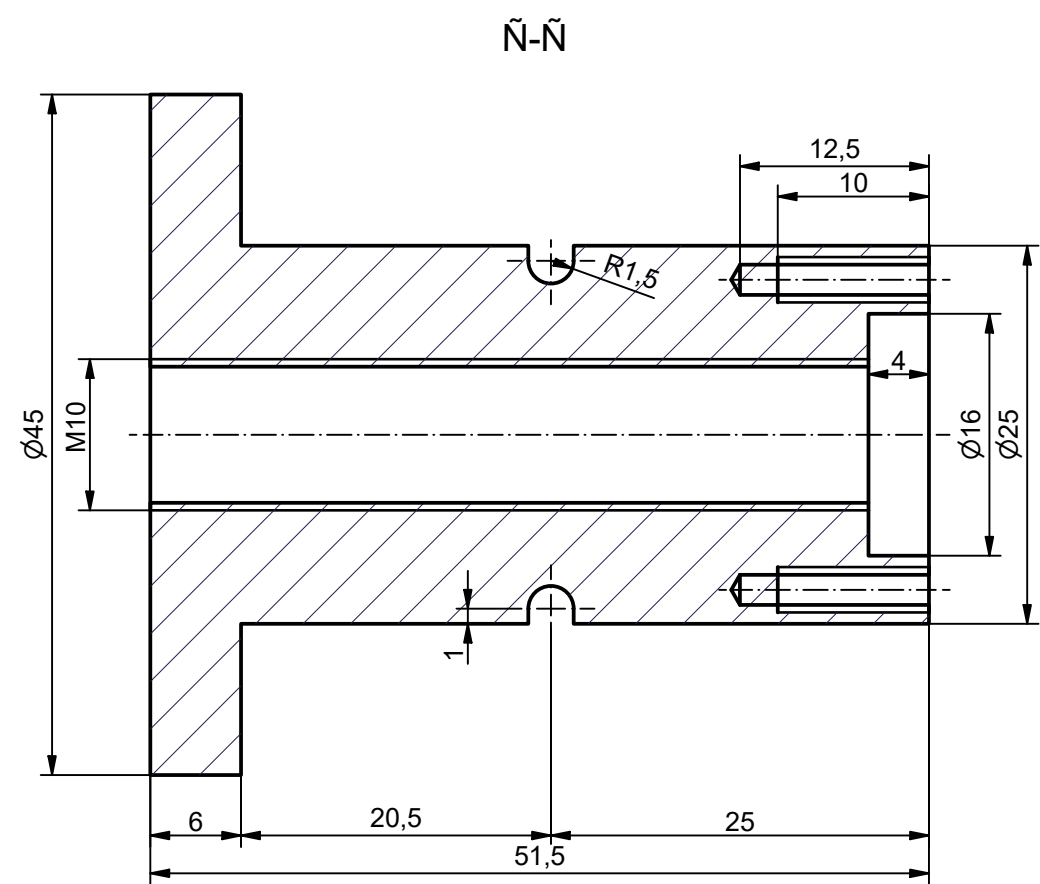
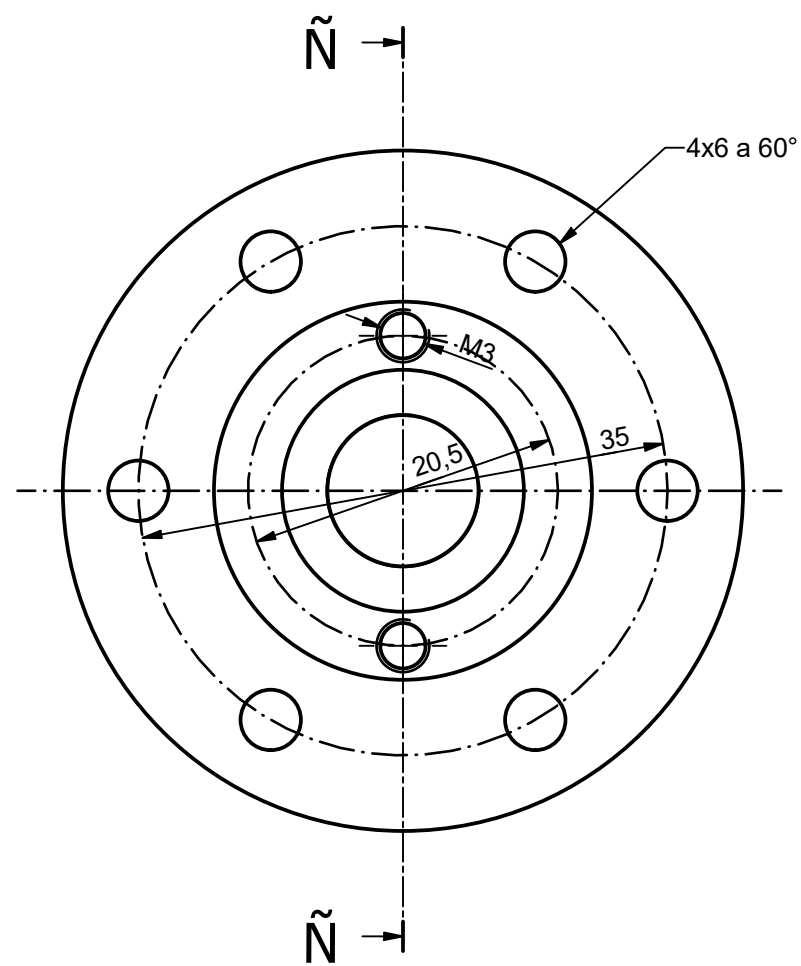
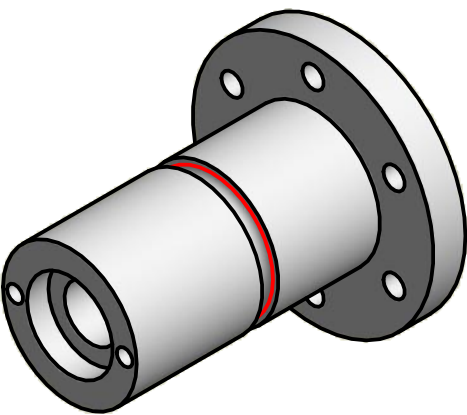
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		GASPAR			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina pelton para uso docente Cuerpo principal del inyector			Nº PLANO 16	A3
1 : 1				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



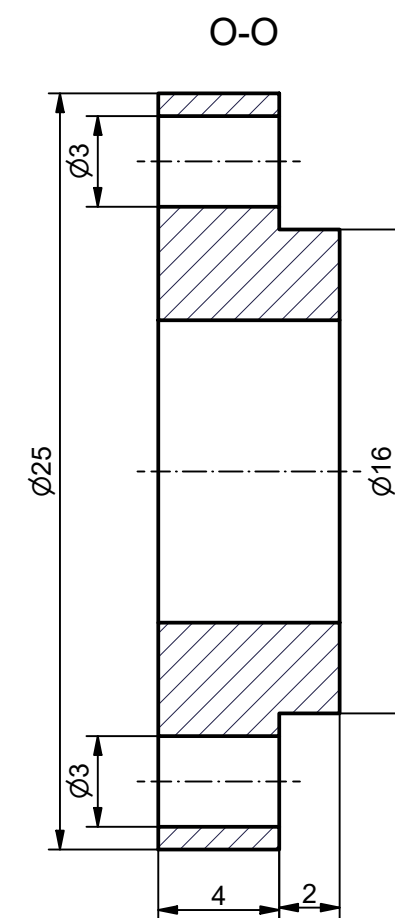
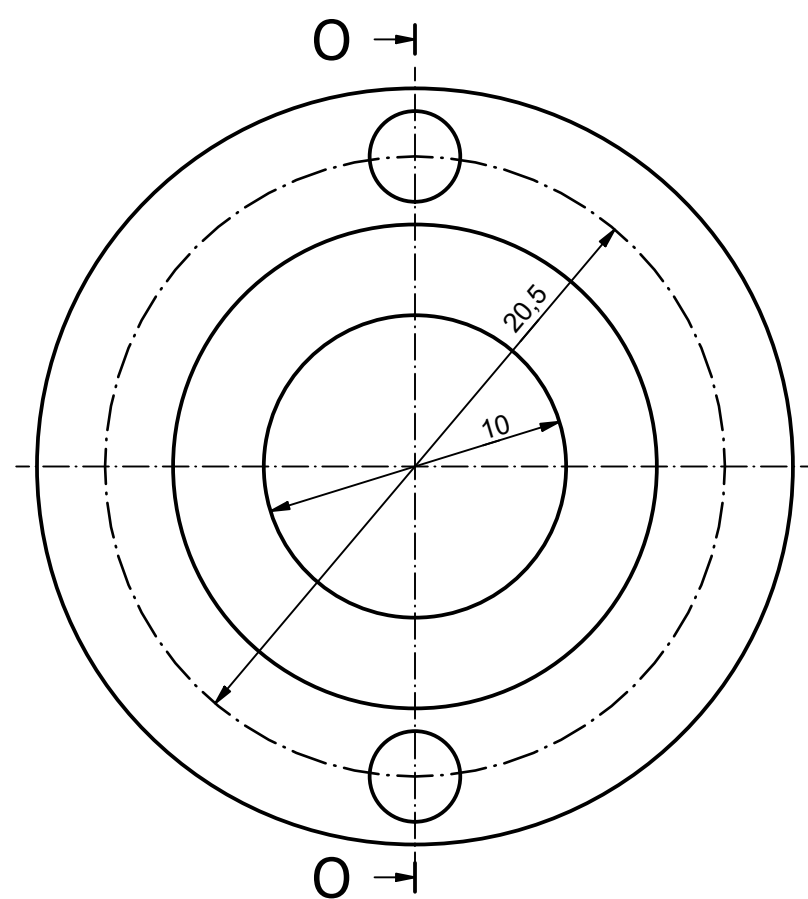
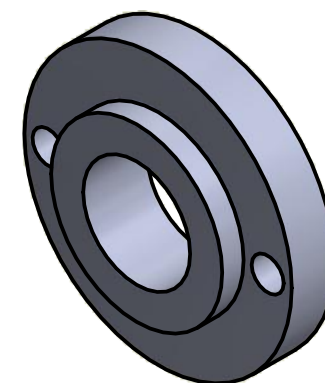
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		GASPAR			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina pelton para uso docente Cuerpo secundario			Nº PLANO 17	A3
1 : 1				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



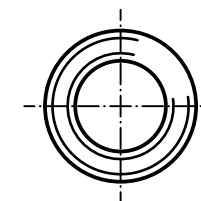
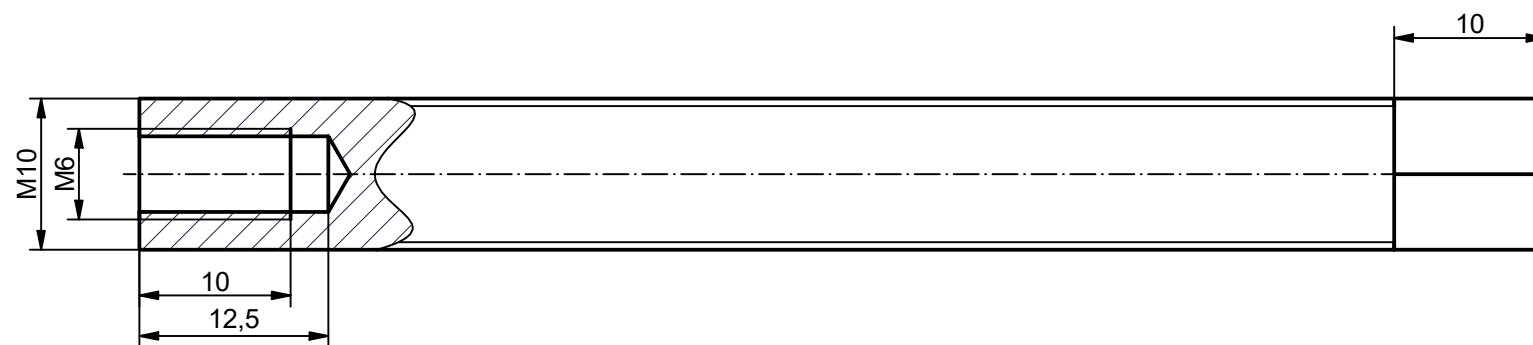
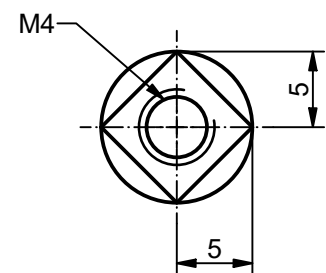
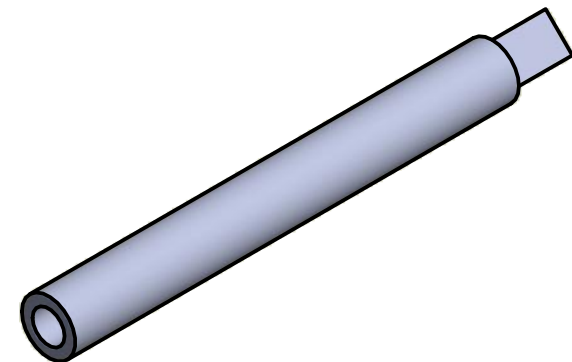
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		GASPAR			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina pelton para uso docente Boquilla			Nº PLANO 18	A3
2 : 1				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



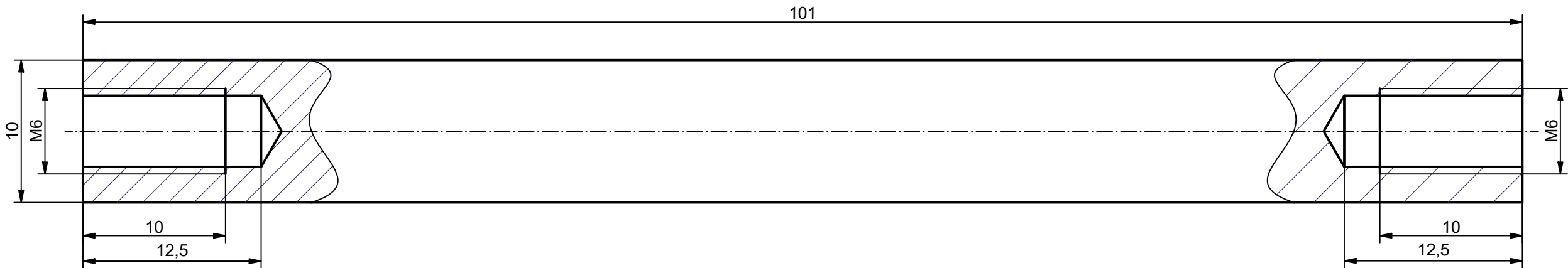
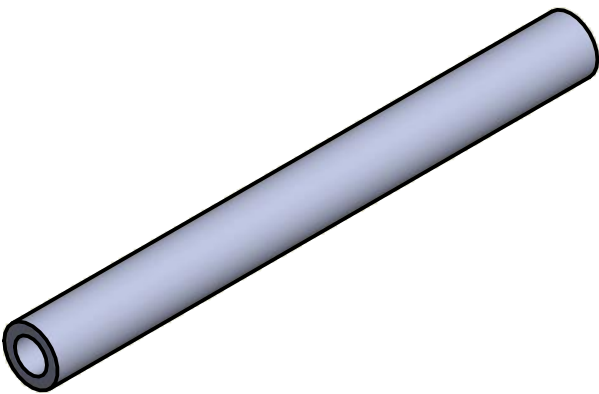
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		GASPAR			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina pelton para uso docente			Nº PLANO 19	A3
2 : 1				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



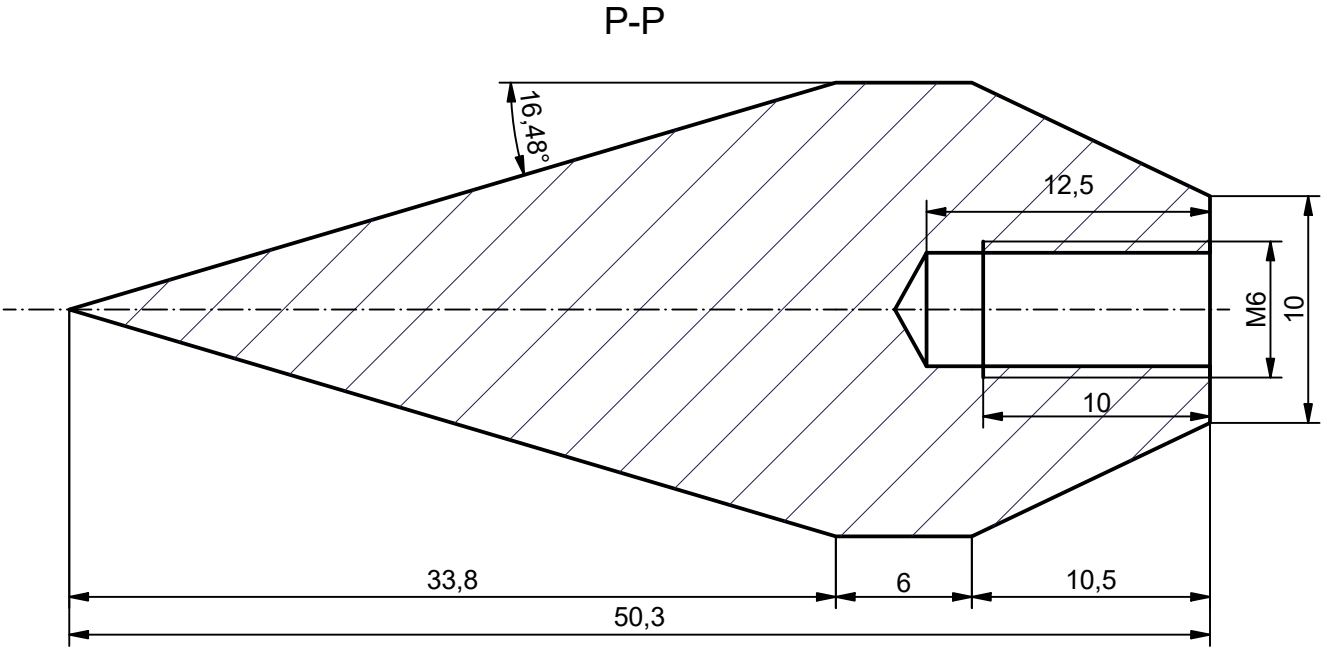
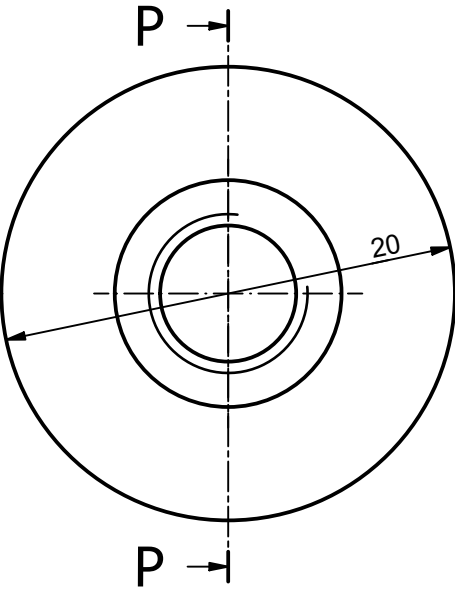
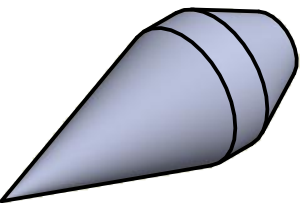
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		GASPAR			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina pelton para uso docente			Nº PLANO 20	A3
4 : 1				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



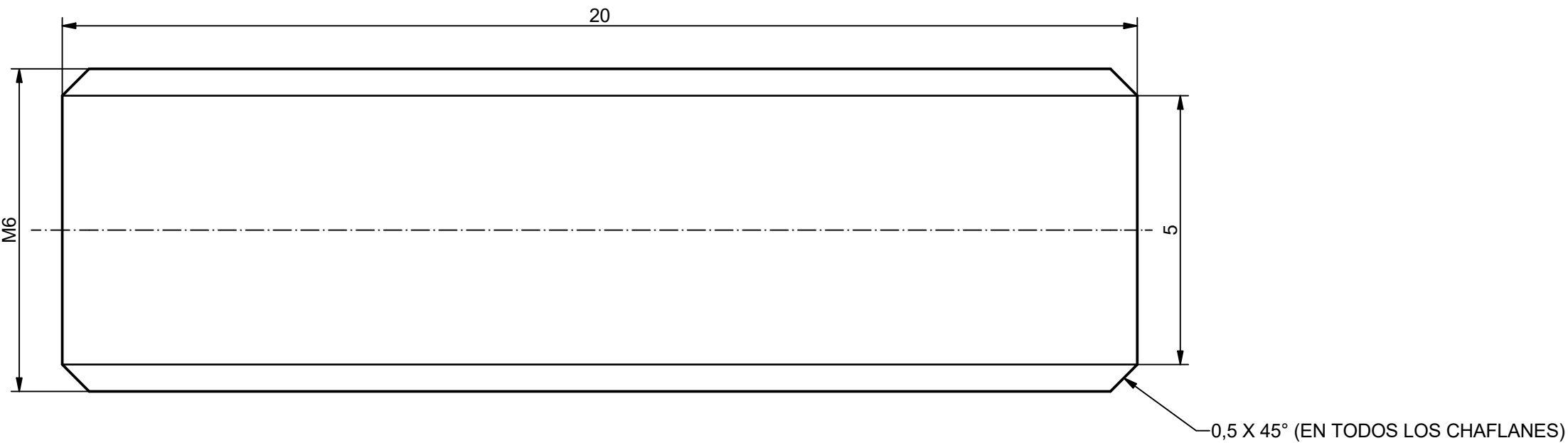
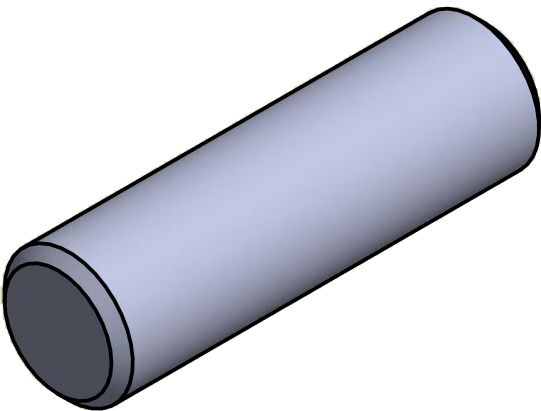
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		GASPAR			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina pelton para uso docente Cuerpo Secundario Aguja			Nº PLANO 21	A3
2 : 1				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



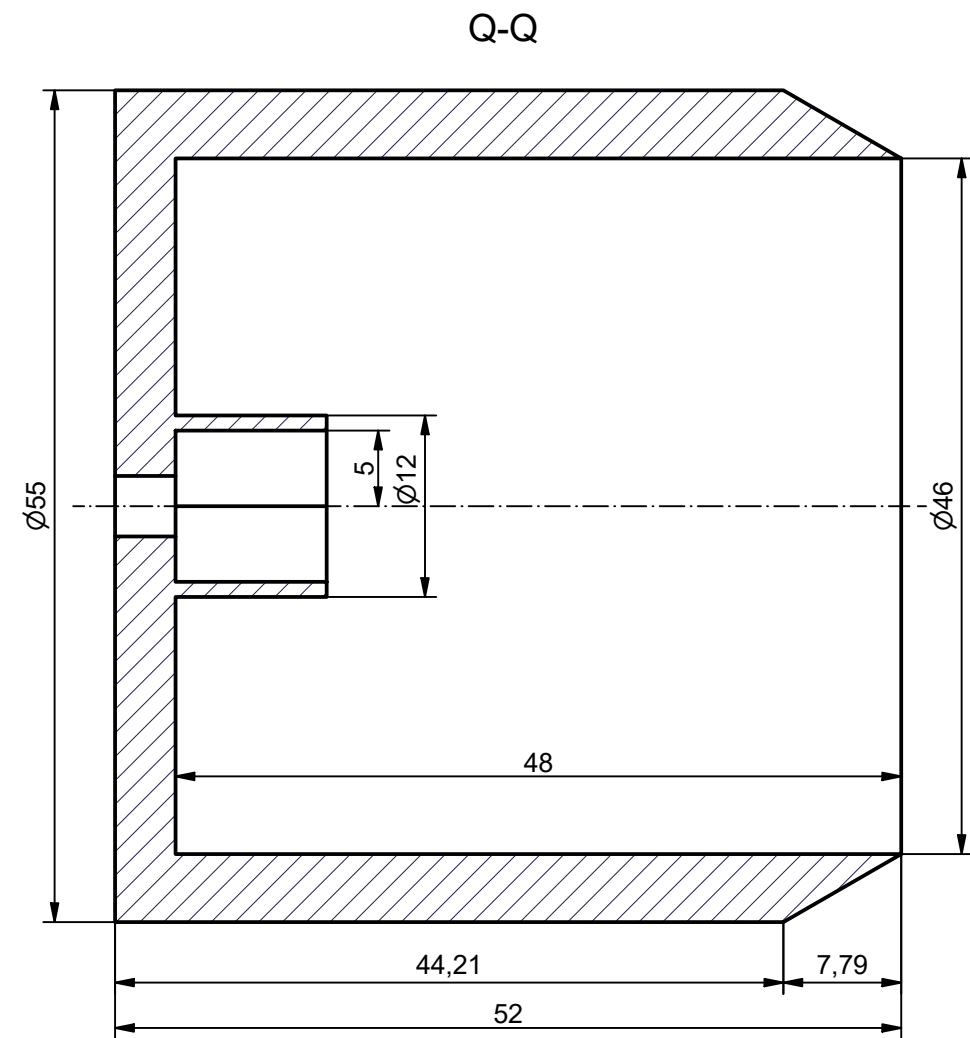
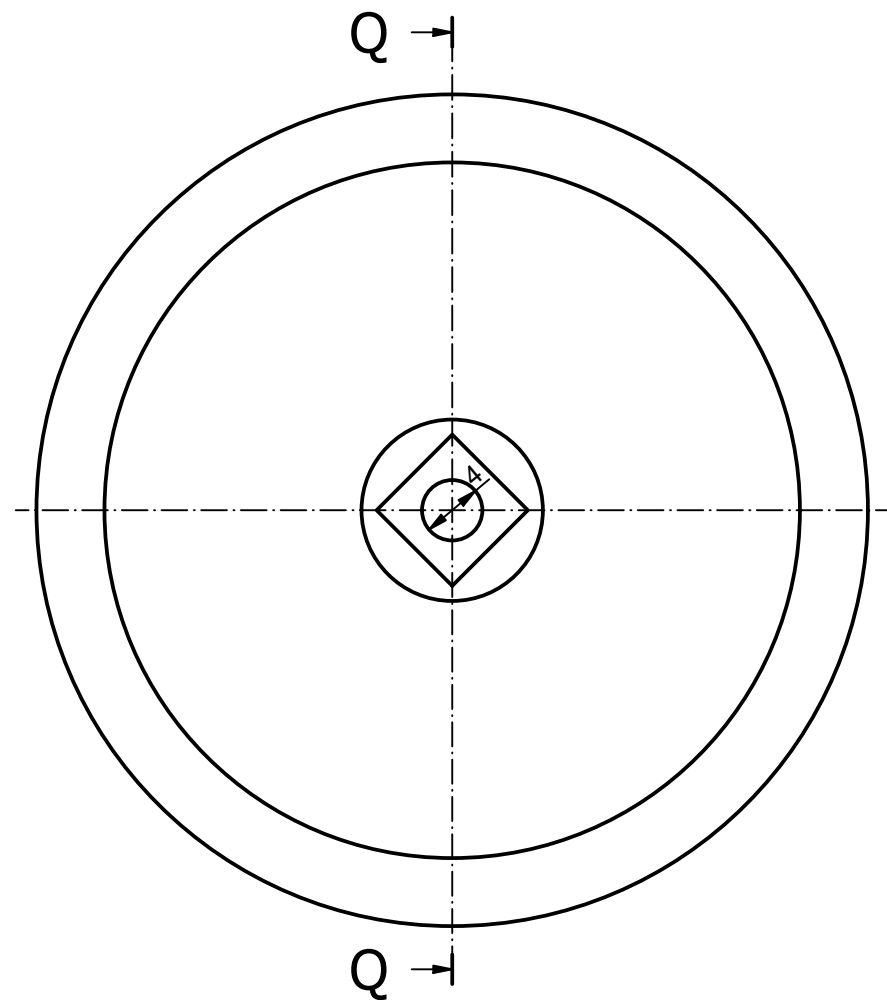
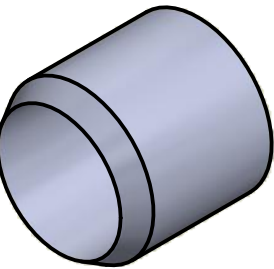
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		GASPAR			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina pelton para uso docente Cuerpo Principal de la Aguja			Nº PLANO 22	A3
1 : 1				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



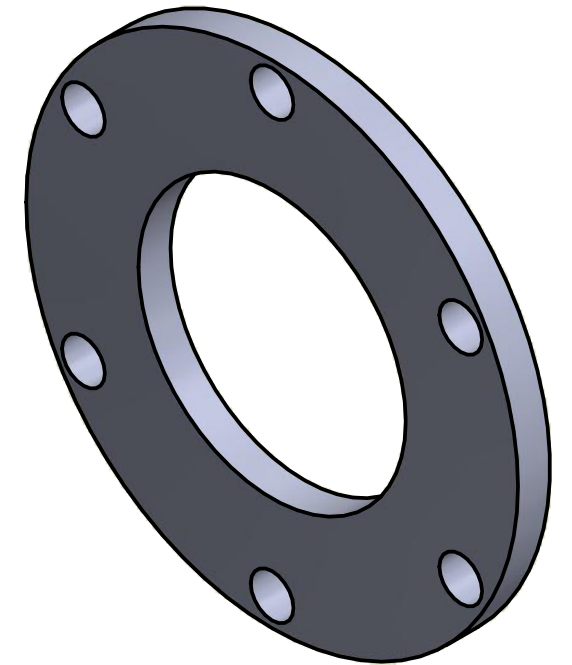
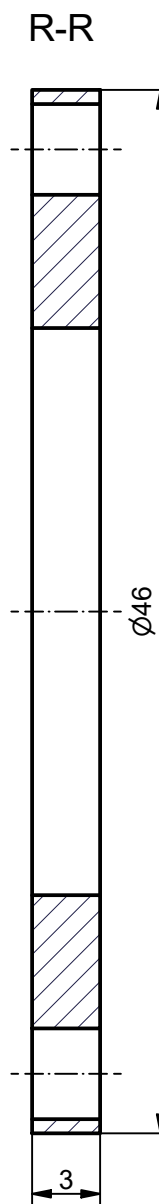
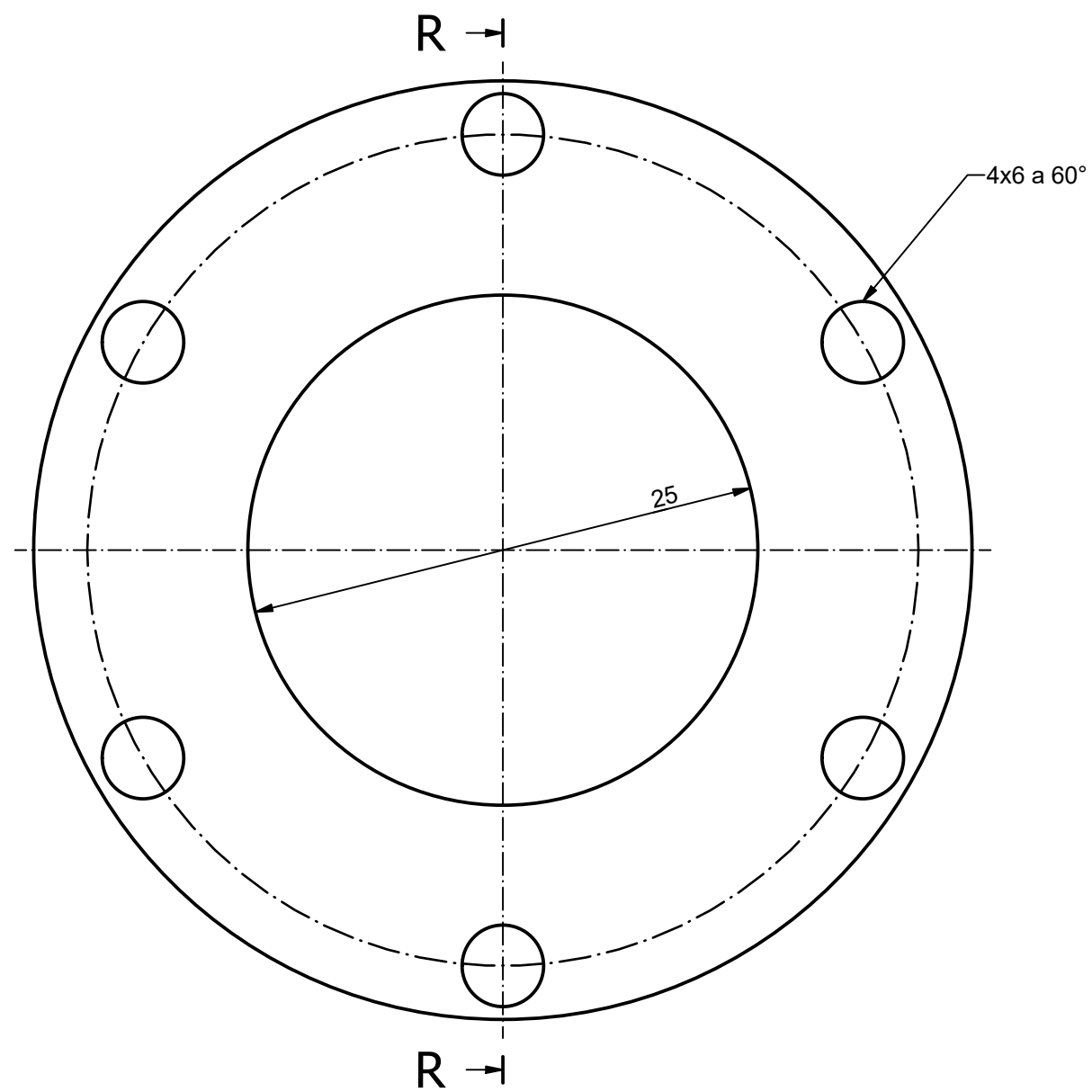
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		GASPAR			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina pelton para uso docente Cabeza Aguja			Nº PLANO 23	A3
3 : 1				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



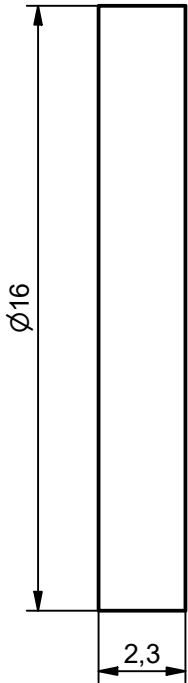
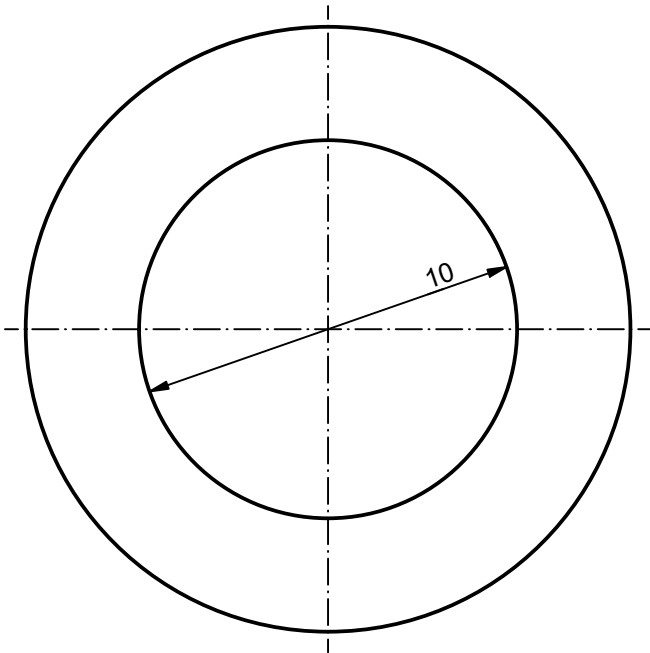
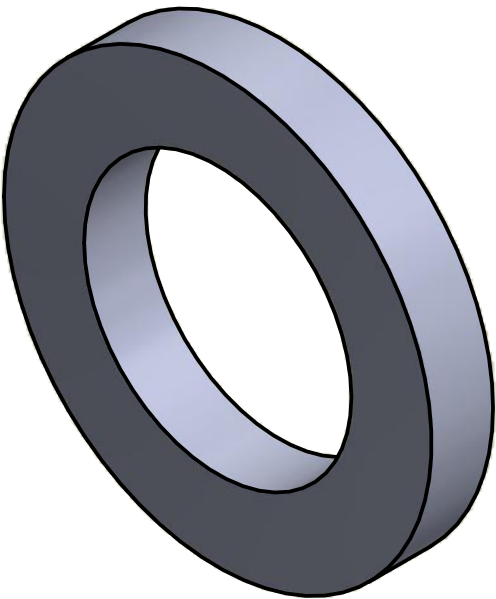
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		GASPAR			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de unaturbina pelton para uso docente Esparrago			Nº PLANO 24	A3
10 : 1				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		GASPAR			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina pelton para uso docente			Nº PLANO 25	A3
2 : 1				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		GASPAR			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina pelton para uso docente			Nº PLANO 26	A3
3 : 1				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		GASPAR			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina pelton para uso docente Junta Eje			Nº PLANO 27	A3
5 : 1				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	