



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

**DISEÑO, FABRICACIÓN Y
CARACTERIZACIÓN DE UNA
TURBINA KAPLAN PARA USO
DOCENTE**

Alumno: Nuria Sabio Hidalgo

Tutor: Mario Miró Barnés

Depto.: Ingeniería mecánica y minera

Septiembre, 2023



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

**DISEÑO, FABRICACIÓN Y
CARACTERIZACIÓN DE UNA
TURBINA KAPLAN PARA USO
DOCENTE**

Alumno:

Tutor:

Nuria Sabio Hidalgo

Prof. D. Mario Miró Barnés

Septiembre, 2023

Índice

1	Resumen.....	14
2	Objetivos	15
3	Fundamentos de Máquinas de fluido	16
3.1	Clasificación	16
3.2	Fundamentos de Turbomáquinas	17
3.3	Clasificación de las turbomáquinas hidráulicas	18
3.4	Elementos característicos de una turbomáquina hidráulica	19
3.5	Turbinas hidráulicas.....	19
3.5.1	Turbinas de acción o de impulso	20
3.5.2	Turbinas de reacción	20
3.6	Turbina Kaplan	21
3.6.1	Descripción y ventajas	21
3.6.2	Elementos de la turbina Kaplan	23
4	Materiales y Maquinaria empleados en el TFG	25
4.1	Materiales empleados.....	25
4.2	Máquinas empleadas	25
4.2.1	Centro de mecanizado CNC Lagun 650	25
4.2.2	Máquina de corte por agua TCI-cutting BP-C 1515:.....	26
4.2.3	Impresora 3D para resina ANYCUBIC Photon Mono X	26
4.2.4	Máquina de corte por laser.....	27
4.2.5	Máquina de impresión por hilo	27
4.2.6	Otras máquinas utilizadas	28
4.3	Software empleado.....	29
5	Cálculo de los elementos principales de la turbina Kaplan	31
5.1	Introducción	31
5.2	Cálculos previos.....	31
5.3	Diseño de los elementos principales de la turbina Kaplan	36
5.3.1	Hélice	36
5.3.2	Álabe directriz.....	36
5.3.3	Cámara espiral	37
6	Diseño CAD.....	39
6.1	Hélice	39
6.2	Álabe directriz.....	41
6.3	Carcasa	44
6.4	Montaje en 3 dimensiones	45
7	Fabricación de los elementos de la turbina y montaje.	47
7.1	Hélice	47
7.2	Carcasa.....	48
7.3	Polea de freno	54
7.4	Álabe directriz.....	55
7.5	Elementos del distribuidor	56

7.6	Nariz delantera y Acoplamiento de la polea a la carcasa.....	64
7.7	Eje principal y eje distribuidor.....	66
7.8	Piezas Externas	68
7.9	Ensamblaje completo	69
8	Caracterización	71
8.1	Incidencia del rotámetro	72
8.2	Resultados obtenidos de la caracterización de la turbina Kaplan	75
8.2.1	Hélice con ángulo de ataque a 45°	75
8.2.2	Hélice de 8 aspas con ángulo de ataque a 85°	81
8.2.3	Hélice de 10 aspas con ángulo de ataque a 85°	87
9	Conclusiones	94
10	Trabajo futuro	95
11	Bibliografía	96
12	Anexos	97
12.1	Manuales de la maquinaria y herramientas utilizadas	97
12.2	Velocidades de mecanizado	109
12.3	Tablas para realizar algunas piezas.....	115
12.4	Planos de los elementos diseñado	127

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Algunos tipos de bombas rotativas de desplazamiento positivo, o rotoestáticas	17
Ilustración 2: a) Turbina de acción; b) Bomba centrífuga	18
Ilustración 3: c) Bomba de paletas; d) Turbina de reacción	18
Ilustración 4: dirección de flujo radial, axial, diagonal cónica o diagonal	19
Ilustración 5: Esquema básico de una turbina de acción	20
Ilustración 6: a) Esquema de una turbina Kaplan de eje vertical; b) Esquema de una turbina Francis.....	21
Ilustración 7: Montaje de un rodete de una de las 3 Turbinas Kaplan construidas por la casa Voith, Alemania.....	21
Ilustración 8: Turbina Kaplan de 1928	21
Ilustración 9: Mecanismo de orientación de los álabes de un rodete Kaplan.	22
Ilustración 10: Esquema de turbina Kaplan	22
Ilustración 11: Curvas de rendimiento de los diversos tipos de turbinas en función del caudal	22
Ilustración 12: Sistema de accionamiento de los álabes del distribuidor.....	23
Ilustración 13: Rodete de una turbina Kaplan.....	24
Ilustración 14: Formas diversas de Volutas	24
Ilustración 15: Tubo de aspiración de turbomáquina hidráulica de reacción	24
Ilustración 16: Centro de mecanizado CNC Lagun 650	25
Ilustración 17: Máquina de corte por agua TCI-cutting BP-C 1515 de la EPS de Jaén	26
Ilustración 18: Impresora 3D para resina ANYCUBIC Photon Mono X	26
Ilustración 19: Máquina de corte por láser	27
Ilustración 20: Máquina de impresión con hilo	27
Ilustración 21: Torno de la EPS de Linares	28
Ilustración 22: Sierra de cinta Optimum S275G de la EPS de Linares	28
Ilustración 23: Esmeriladora de la EPS de Linares.....	29
Ilustración 24: Taladro de columna de la EPS de Linares	29
Ilustración 25: Prensa hidráulica con cilindro móvil cat83010ts.....	29
Ilustración 26: Triángulo de velocidades a la entrada	33
Ilustración 27: Triángulo de velocidades a la salida.....	34
Ilustración 28: Esquema de la cámara espiral logarítmica de una bomba radial	37

Ilustración 29: Diseño de una pala de la hélice.....	39
Ilustración 30: Patrón circular para crear una hélice de 8 palas simétrica.....	40
Ilustración 31: Operación de corte para adaptar las palas al diámetro interior de la tubería de aspiración	40
Ilustración 32: Diseño en 3 dimensiones de la hélice	40
Ilustración 33: Hélice con 10 palas y ángulo de ataque de 85°	41
Ilustración 34: Hélice con 8 palas y ángulo de ataque de 85°	41
Ilustración 35: Parámetros introducidos y visualización del álabe directriz mediante la página web para obtener perfiles NACA.....	41
Ilustración 36: Spline del perfil NACA 9520	42
Ilustración 37: Extrusión del álabe directriz	42
Ilustración 38: Extrusión para realizar el taladro y el doble fondo para insertar un tornillo ...	42
Ilustración 39: Perfil NACA 9520	43
Ilustración 40: Ensamblaje del álabe directriz	43
Ilustración 41: Segundo álabe directriz creado con doble fondo en la parte inferior	43
Ilustración 42: Diseño de la parte trasera de la carcasa	44
Ilustración 43: Diseño de la parte delantera de la carcasa	44
Ilustración 44: Modelado de la carcasa espiral en 3 dimensiones	44
Ilustración 45: Ranura para el cordón tórico de 5 milímetros	45
Ilustración 46: Rampa para suavizar la entrada de agua al distribuidor	45
Ilustración 47:ensamblaje completo de la turbina Kaplan en 3 dimensiones	46
Ilustración 48: Hélice con ángulo de ataque de 45° impresa con la impresora de resinas.....	48
Ilustración 49: Hélices de 8 y 10 palas con ángulo de ataque de 85° impresa en la impresora 3D de resina	48
Ilustración 50: Simulación del mecanizado de la parte trasera de la carcasa de PVC (Fusion 360)	49
Ilustración 51: Mecanizado de los taladros de la carcasa mediante control numérico	49
Ilustración 52: Simulación del mecanizado de la ranura para la junta tórica (Fusion 360).....	50
Ilustración 53: Mecanizado de la espiral logarítmica en el control numérico	50
Ilustración 54: Simulación de la geometría de la espiral una vez hechos los rebajes para la nariz de PVC y el rodamiento (Fusion 360)	51
Ilustración 55:Simulación para el mecanizado de la rampa por la cual entra el agua a la espiral (Fusion 360).....	51

Ilustración 56: Carcasa trasera mecanizada	52
Ilustración 57: Simulación del mecanizado de los taladros y el agujero central (Fusion 360).....	52
Ilustración 58: Simulación del mecanizado para colocar las dos juntas tóricas (Fusion 360).....	53
Ilustración 59: Carcasa delantera colocada en la máquina de control numérico para mecanizar el agujero central y las ranuras para las juntas tóricas	53
Ilustración 60: Carcasa de metacrilato mecanizada por completo con las 2 juntas tóricas	54
Ilustración 61: Mecanizado de la Polea de Freno	54
Ilustración 62: Álabes en el software ANYCUBIC PhotonWorkshop para ser impresos en 3D	55
Ilustración 63: Álabes directriz fabricados	55
Ilustración 64: Proceso de curación de los álabes y otras piezas	56
Ilustración 65: Álabes tras la rotura	56
Ilustración 66: Chapas de aluminio de 3 milímetros para ser cortadas en la máquina de corte por agua.....	57
Ilustración 67: Chapa protectora del rodamiento trasero	57
Ilustración 68: Chapa de unión entre la carcasa y el distribuidor	57
Ilustración 69: Chapa indicadora, chapa de base sin plegar y chapa de sujeción del manómetro	57
Ilustración 70: Anillo distribuidor y varilla roscada del sistema de giro	58
Ilustración 71: Casquillo insertado en el anillo distribuidor	58
Ilustración 72: Casquillo colocado en el anillo distribuidor	59
Ilustración 73: Diseño del tope para el anillo distribuidor.....	59
Ilustración 74: Topes en el software ANYCUBIC PhotonWorkshop para ser impresos en 3D	59
Ilustración 75: Tope del anillo distribuidor. Fabricado y unido a la carcasa	60
Ilustración 76: Álabes y chapa de unión entre el anillo distribuidor y el eje del álabes	60
Ilustración 77: Nuevo diseño de la chapa distribuidora.....	61
Ilustración 78: Nuevo diseño del eje del álabes directriz	61
Ilustración 79: Nuevo indicador.....	61
Ilustración 80: Nuevo diseño de la chapa distribuidora.....	61
Ilustración 81: Eje nuevo realizado en el torno	62
Ilustración 82: Eje nuevo colocado en la máquina de control numérico para la realización del taladro delantero.....	62

Ilustración 83: Modificación de la parte trasera del eje	63
Ilustración 84: Ranura para poder girar los álabes sin tener que desarmar la carcasa de metacrilato.....	63
Ilustración 85: Nueva chapa indicadora.....	63
Ilustración 86: Diseño del acoplamiento de la polea a la carcasa.....	64
Ilustración 87: Acoplamiento de la polea a la carcasa mecanizado	64
Ilustración 88: Diseño de la nariz de PVC.....	65
Ilustración 89: Simulación del mecanizado de la nariz de PVC (Fusion 360)	65
Ilustración 90: Útil para sujetar la nariz de PVC en la máquina de control numérico	65
Ilustración 91: Nariz de PVC mecanizada con el retén que le corresponde	66
Ilustración 92: Vista trasera de la nariz con la ranura para la junta tórica.....	66
Ilustración 93: Diseño del eje principal	67
Ilustración 94: Eje principal mecanizado con un rodamiento intermedio de diámetro exterior igual a 32 milímetros	67
Ilustración 95: Diseño del eje distribuidor.....	67
Ilustración 96: Eje distribuidor mecanizado	67
Ilustración 97: Soporte para el tacómetro hecho mediante impresión por hilo	68
Ilustración 98: Chapa indicadora de apertura de los álabes directrices cortada y grabada mediante el corte láser	68
Ilustración 99: Chapa grabada mediante el corte láser	69
Ilustración 100: Montaje del bastidor	69
Ilustración 101: Turbina Kaplan sobre el banco de ensayo	70
Ilustración 102: Pieza para la sujeción del codo de entrada para un tubo de 40 milímetros	70
Ilustración 103: Pieza para la sujeción del codo de entrada para un tubo de 32 milímetros ...	70
Ilustración 104: Turbina ensamblada al completo sobre el banco de ensayo	71
Ilustración 105: Adaptación de ambos bancos de ensayo.....	72
Ilustración 106: Caudalímetro utilizado.....	72
Ilustración 107: Depósito cubicado	73
Ilustración 108: Hélice con aspas rotas por fatiga	81
Ilustración 109: Álabes directrices fabricados originalmente.....	88
Ilustración 110: Características de la Sierra de cinta S275G de Optimum.....	97
Ilustración 111: Características del Taladro de columna B 40 GSP de Optimum.....	98
Ilustración 112: Características de la esmeriladora QSM 200 de Optimum.....	99

Ilustración 113: : Características de la PRENSA HIDRÁULICA CON CILINDRO MÓVIL CAT83010TS.....	105
Ilustración 114: Características de la PRENSA HIDRÁULICA CON CILINDRO MÓVIL CAT83010TS.....	106
Ilustración 115: Especificaciones de la máquina de impresión por hilo.....	107
Ilustración 116: Especificaciones del extrusor de hilo	108

Índice de Tablas

Tabla 1: Símbolos	13
Tabla 2: Rango de las velocidades específicas para diferentes turbomáquinas hidráulicas	35
Tabla 3: Obtención del factor de corrección.....	74
Tabla 4: Caracterización con un caudal fijo de 22 m ³ /h	75
Tabla 5: Caracterización con un caudal fijo de 15,5 m ³ /h	75
Tabla 6: Caracterización con un caudal fijo de 12,2 m ³ /h	76
Tabla 7: Caracterización con un caudal fijo de 10 m ³ /h	78
Tabla 8: Caracterización con un caudal fijo de 15 m ³ /h	78
Tabla 9: Caracterización con un caudal fijo de 19 m ³ /h	79
Tabla 10: Caracterización con un caudal fijo de 21 m ³ /h	81
Tabla 11: Caracterización con un caudal fijo de 17 m ³ /h	82
Tabla 12: Caracterización con un caudal fijo de 12 m ³ /h	82
Tabla 13: Caracterización con un caudal fijo de 12 m ³ /h	84
Tabla 14: Caracterización con un caudal fijo de 17 m ³ /h	84
Tabla 15: Caracterización con un caudal fijo de 20 m ³ /h	85
Tabla 16: Caracterización con un caudal fijo de 12 m ³ /h	88
Tabla 17: Caracterización con un caudal fijo de 16 m ³ /h	88
Tabla 18: Caracterización con un caudal fijo de 20 m ³ /h	89
Tabla 19: Caracterización con un caudal fijo de 20 m ³ /h	91
Tabla 20: Caracterización con un caudal fijo de 16 m ³ /h	91
Tabla 21: Caracterización con un caudal fijo de 12 m ³ /h	92
Tabla 22: Características del Centro de mecanizado CNC Lagun 650.....	100
Tabla 23: Características del Centro de mecanizado CNC Lagun 650.....	101
Tabla 24: Características de la Máquina de corte por agua TCI-cutting BP-C 1515	102
Tabla 25: Características de la Impresora 3D para resina ANYCUBIC Photon Mono X.....	103
Tabla 26: Parámetros recomendados para la impresión con resina en ANYCUBIC Photon Mono X	104
Tabla 27: Características de la fuente de alimentación de la máquina de corte por láser.....	109
Tabla 28: Condiciones de mecanizado para fresado de aluminio.....	109
Tabla 29: Condiciones de mecanizado para fresado de acero	110
Tabla 30: Condiciones de mecanizado para fresado de plásticos	110
Tabla 31: Condiciones de mecanizado para fresado de broce	111

Tabla 32: Condiciones de mecanizado para taladros	111
Tabla 33: Condiciones de mecanizado para roscas.....	112
Tabla 34: Datos de partida para realizar los cálculos	112
Tabla 35: Horas de trabajo y presupuesto final	113
Tabla 36: Componentes del ensamblaje de la turbina Kaplan y costo	115
Tabla 37: Datos para realizar el spline de la voluta logarítmica.....	117
Tabla 38: Datos para realizar el spline del álabe directriz	123
Tabla 39: Datos para realizar el spline de los Perfiles para la hélice.....	127

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Perfil NACA 5615 utilizado para diseñar la hélice	36
Gráfico 2: Perfil NACA 9520 utilizado para diseñar el álabe directriz	37
Gráfico 3: Spline de la voluta logarítmica	38
Gráfico 4: Rendimiento frente a Velocidad de giro	76
Gráfico 5: Par frente a Velocidad de giro	76
Gráfico 6: Caudal frente a Velocidad de giro	77
Gráfico 7: Potencia del eje frente a Velocidad de giro	77
Gráfico 8: Potencia hidráulica frente a Velocidad de giro.....	77
Gráfico 9: Rendimiento frente a Velocidad de giro.....	79
Gráfico 10: Par frente a Velocidad de giro	79
Gráfico 11: Caudal frente a Velocidad de giro	80
Gráfico 12: Potencia del eje frente a Velocidad de giro	80
Gráfico 13: Potencia hidráulica frente a Velocidad de giro.....	80
Gráfico 14: Rendimiento frente a Velocidad de giro.....	82
Gráfico 15: Par frente a Velocidad de giro	83
Gráfico 16: Caudal frente a Velocidad de giro	83
Gráfico 17: Potencia del eje frente a Velocidad de giro	83
Gráfico 18: Potencia hidráulica frente a Velocidad de giro.....	84
Gráfico 19: Rendimiento frente a Velocidad de giro.....	85
Gráfico 20: Par frente a Velocidad de giro	86
Gráfico 21: Caudal frente a Velocidad de giro	86
Gráfico 22: Potencia del eje frente a Velocidad de giro	86
Gráfico 23: Potencia hidráulica frente a Velocidad de giro.....	87
Gráfico 24: Álabes directrices rotos tras cerrar la válvula de entrada del caudal.....	87
Gráfico 25: Rendimiento frente a Velocidad de giro.....	89
Gráfico 26: Par frente a Velocidad de giro	90
Gráfico 27: Caudal frente a Velocidad de giro	90
Gráfico 28: Potencia del eje frente a Velocidad de giro	90
Gráfico 29: Potencia hidráulica frente a Velocidad de giro.....	91
Gráfico 30: Rendimiento frente a Velocidad de giro.....	92
Gráfico 31: Par frente a Velocidad de giro	92
Gráfico 32: Caudal frente a Velocidad de giro	93

Gráfico 33: Potencia del eje frente a Velocidad de giro	93
Gráfico 34: Potencia hidráulica frente a Velocidad de giro.....	93

Simbología Utilizada

α	Ángulo formado por la velocidad absoluto y tangencial
β	Ángulo formado por la velocidad relativa y tangencial
η_h	Rendimiento hidráulico
Ω	Velocidad angular
Ω_s	Velocidad específica
Ψ	Factor experimental dependiente de β_2
θ	Ángulo en el radio de la cámara espiral logarítmica
b	Altura del álabe
D	Diámetro
e_z	Coeficiente de ajuste
g	Aceleración de la gravedad
H_n	Altura neta en mca
$H_{t\infty}$	Altura teórica de Euler
H_t	Altura teórica
Q	Caudal
r	Radio
s	Espesor del álabe
S	Momento estático de la línea media del álabe
t	Paso del fluido a través de los álabes
U	Velocidad tangencial
V, c	Velocidad absoluta
V_m	Velocidad meridiana
V_u	Componente tangencial de la velocidad absoluta
W	Velocidad relativa
W_u	Componente tangencial de la velocidad relativa
Y	Energía intercambiada de un fluido
z	Número de álabes
p	Presión
ρ	Densidad
Z	Salto de altura de la turbina
H_u	Altura de Euler para un número finito de álabes

H	Altura neta en m
v_e	Velocidad de entrada del fluido
v_s	Velocidad de salida del fluido
C	Constante

Tabla 1: Símbolos

1 Resumen

Este es un trabajo de fin de grado teórico/experimental en el cual se pretende diseñar, fabricar y caracterizar una turbina Kaplan con un sistema de freno mecánico. Para llevar a cabo esto se han aplicado conocimientos de diversas materias obtenidos a lo largo del grado. Los conocimientos aplicados pertenecen a asignaturas tales como mecánica de fluidos, máquinas e instalaciones de fluidos, diseño de máquinas e ingeniería de fabricación.

Para comenzar con este trabajo se realizaron diversos ensayos con la turbina Kaplan original que se encuentra en el laboratorio de mecánica de fluidos en la EPS de Linares. Tras realizar dichos ensayos se comenzó con la fase de cálculos para conocer las velocidades y el rendimiento de dicha turbina. De esta manera, en la fase de diseño se ha podido optimizar su funcionamiento y justificar las dimensiones de cada elemento diseñado mediante Autodesk Inventor 2022.

Siguiendo con el proceso de fabricación, se analizaron los métodos a emplear para realizar las diversas piezas para optimizar el tiempo de fabricación y comprobar el material que se va a utilizar haciendo que este sea lo más económico posible. Durante este proceso se han utilizado diversas máquinas y software tales como:

- Autodesk Inventor 2022
- Autodesk Fusión 360
- Fagor 8055, software incorporado en el centro de mecanizado
- Lantek, versión 2019-2020, para el diseño y mecanizado de las piezas en la máquina de corte por agua
- HMI Smart Touch V6 de TCI Cutting, incorporado en la máquina de corte por agua
- Software ANYCUBIC PhotonWorkshop incorporado en ANYCUBIC Photon Mono X
- K40 WHISPERER para la máquina de corte por láser
- ULTIMAKER CURA para la máquina de impresión con hilo

Finalmente, tras completar el ensamblaje de la turbina se procede a hacer ensayos para caracterizarla y comprobar su correcto funcionamiento dando así las conclusiones y unas posibles mejoras de cara al futuro.

2 Objetivos

Los objetivos fundamentales de este trabajo fin de grado son:

1. Obtener datos experimentales de la turbina Kaplan original que se localiza en el laboratorio para poder realizar un prototipo de esta, aplicando algunas mejoras.
2. Aplicar los conocimientos estudiados relacionados con las turbomáquinas hidráulicas y mecánica de fluidos ya estudiados para obtener los cálculos necesarios para la realización de este prototipo.
3. Diseñar, de manera minuciosa, una turbina Kaplan según los cálculos teóricos y aplicando los conocimientos obtenidos en diseño industrial y diseño de máquinas.
4. Diseñar un sistema de medición manual y no informático como el de la turbina de partida para comprender a la perfección los conceptos relacionados con las turbinas.
5. Fabricar el prototipo a partir de los planos obtenidos aplicando conocimientos sobre ingeniería de fabricación y ciencia de los materiales para evitar defectos y fallas durante el proceso de fabricación.
6. Someter el prototipo a pruebas para detectar posibles fugas y defectos no detectados durante el montaje.
7. Corregir las incidencias y realizar diferentes ensayos para caracterizar la turbina.
8. Disponer la turbina en el laboratorio para la realización de prácticas por parte del alumnado.

3 Fundamentos de Máquinas de fluido

Las máquinas de fluido son aquellas que permiten el intercambio de energía mecánica. Puede ser que sea el fluido el que suministre la energía como en el caso de las turbinas hidráulicas, o bien que el fluido absorba energía como en el caso de una bomba de agua. Generalmente este proceso se lleva a cabo mediante un eje principal.

Dentro de las máquinas de fluido se encuentran diversos tipos de máquinas desde una pequeña fresa neumática de un dentista hasta una gigantesca turbina de vapor de agua de una central térmica.

3.1 Clasificación

Algunas de las clasificaciones que se han propuesto para catalogar estas máquinas a lo largo del tiempo han sido rechazadas ya que no se han considerado lo suficientemente rigurosas. Por ejemplo, la clasificación según la naturaleza del fluido se ha rechazado debido a que el gas se puede considerar incompresible prácticamente como el líquido. Mediante esta clasificación se separarían máquinas totalmente parecidas como las bombas y los ventiladores.

Otra de las clasificaciones rechazadas es la que diferencia entre máquinas alternativas y máquinas rotativas. Con esta clasificación se podría diferenciar a la perfección entre una bomba de engranajes y una bomba de paletas. Pero al ser rechazada sólo afecta a la mecánica y no tiene en cuenta otros aspectos. Sin embargo, a pesar de que algunas clasificaciones han sido rechazadas, se han desarrollado tres criterios lo suficientemente estrictos científicamente para clasificar a las máquinas de fluido. Estos tres criterios se basan en el principio de funcionamiento, la compresibilidad del fluido y el sentido de transmisión de la energía.

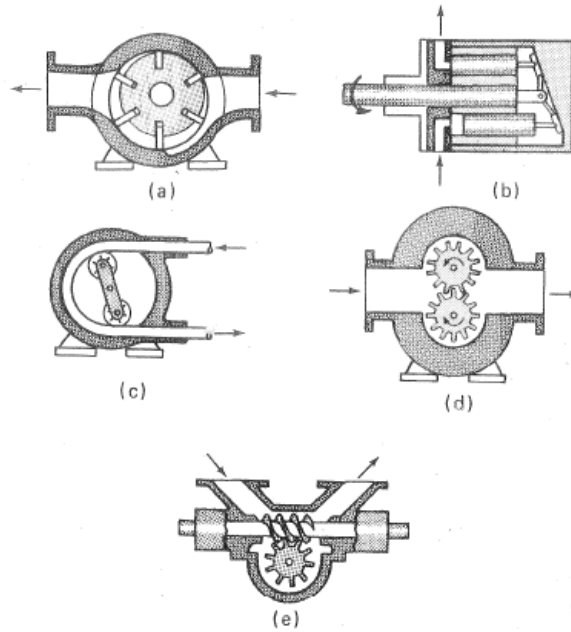


Ilustración 1: Algunos tipos de bombas rotativas de desplazamiento positivo, o rotoestáticas

3.2 Fundamentos de Turbomáquinas

Las turbomáquinas son un tipo de máquina de fluido en las que se intercambia energía mediante un cambio del momento cinético del fluido continuo al pasar por el rotor. El rotor es el elemento principal de las turbomáquinas, ya que es el que produce el movimiento para que se produzca el intercambio de energía entre el fluido y la máquina. En el rotor, el flujo es considerado estacionario siempre y cuando se tome un sistema de referencia fijo a tierra.

A lo largo de la historia se hicieron estudios para convalidar la idea de máquina de fluido en la cual están comprendidas las turbomáquinas. Leonhard Euler (1707-1813) publicó una memoria en la cual se expone su teoría sobre el intercambio de energía en las máquinas hidráulicas de reacción. Esta es muy conocida por Ecuación de Euler. Todas las turbomáquinas se rigen por la ecuación de Euler o la ecuación fundamental de las turbomáquinas.

$$Y \left[\frac{J}{kg} \right] = u_1 v_{1u} - u_2 v_{2u} \quad (Ec.1)$$

Existen diversas maneras para clasificar las turbomáquinas, pero la clasificación que más se emplea es según la compresibilidad del fluido. En esta las turbomáquinas se clasifican como térmicas o hidráulicas. Serán turbomáquinas térmicas cuando el fluido sufra una variación considerable de su densidad, y serán hidráulicas cuando esta variación no exista o sea tan pequeña que pueda considerarse constante.

Las turbomáquinas hidráulicas son aquellas máquinas de fluido en las que se trabaja con un flujo incompresible. En este tipo de máquinas de fluido se pueden distinguir diferentes

tipos como son las turbinas, las bombas y los ventiladores. Con el empleo de una de estas turbomáquinas se aprovecha, sobre todo, la energía de los saltos naturales de agua.

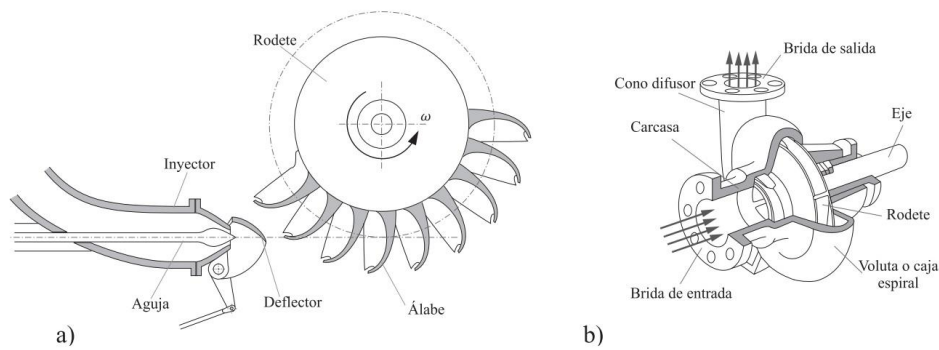


Ilustración 2: a) Turbina de acción; b) Bomba centrífuga

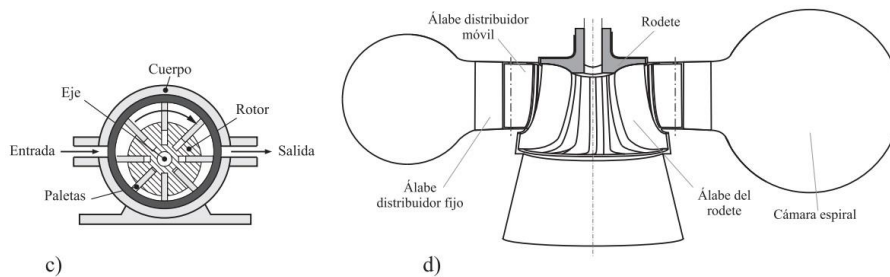


Ilustración 3: c) Bomba de paletas; d) Turbina de reacción

3.3 Clasificación de las turbomáquinas hidráulicas

Las turbomáquinas hidráulicas se clasifican según el sentido de transmisión de la energía y según la dirección del flujo en el rotor.

Por un lado, según el sentido de transmisión de la energía se pueden clasificar en turbomáquinas hidráulicas motoras o generadoras. Las turbomáquinas hidráulicas motoras son aquellas en las que el fluido cede energía al rotor. Mientras que las turbomáquinas hidráulicas generadoras son aquellas en las que el rotor es el que le cede energía al fluido.

Por otro lado, se pueden clasificar según la dirección del flujo en el rotor. Con este criterio se puede decir que una turbomáquina hidráulica puede ser radial, axial, diagonal cónica o diagonal, tal y como se muestra en la siguiente imagen en el orden en el cual acaban de ser nombradas.

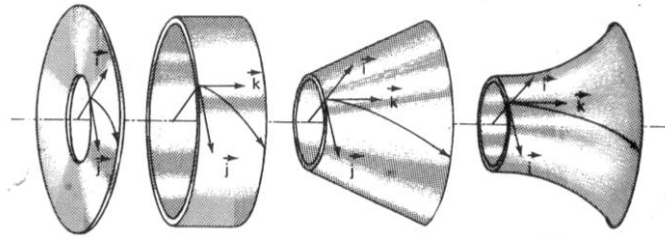


Ilustración 4: dirección de flujo radial, axial, diagonal cónica o diagonal

3.4 Elementos característicos de una turbomáquina hidráulica

En las turbomáquinas hidráulicas se distinguen tres elementos principales que son el distribuidor, el difusor y la voluta, también conocida como cámara espiral.

El distribuidor es aquel que conduce el fluido hasta la entrada del rotor. En algunas turbinas puede tener álabes no giratorios, pero sí regulables para controlar el flujo de caudal entrante al rotor.

El difusor es el que recoge el fluido saliente del rotor y lo guía para disminuir su energía cinética y recupere la presión estática.

Por último, está la voluta o cámara espiral la cual consiste en un canal que recoge el fluido saliente de las bombas o lo distribuye en la periferia de las turbinas.

3.5 Turbinas hidráulicas

Las turbinas hidráulicas son turbomáquinas hidráulicas las cuales se emplean para aprovechar los saltos de agua que se encuentran en la naturaleza. Su funcionamiento se basa en la variación del momento de la cantidad de movimiento. Existen diferentes tipos de turbinas alrededor del mundo, pero las más conocidas son las turbinas Pelton, Francis y Kaplan, la cual es la que se diseña en este proyecto.

Particularizando la ecuación de Euler para turbinas hidráulicas se iguala la energía que pierde el fluido a la que gana la máquina mediante el rotor.

$$H_u = \frac{r_1 c'_{1u} - r_2 c'_{2u}}{g} \quad (Ec. 2)$$

Este cambio de energía viene cuantificado en metros. Con esta expresión se pueden cuantificar los cambios de energía producidos por variaciones de presión, altura o velocidad. También se pueden cuantificar las pérdidas que surgen en el rotor y la energía que se intercambia. De este modo, mediante el principio de Bernoulli y la ecuación de Euler particularizada para turbinas hidráulicas se puede definir cómo funciona cada tipo de turbomáquina hidráulica.

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{c_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{c_2^2}{2g} + Z_2 + H_u \quad (Ec. 3)$$

Las turbinas hidráulicas se pueden clasificar en turbinas de acción y turbinas de reacción.

3.5.1 Turbinas de acción o de impulso

En las turbinas de acción son aquellas en las que se aprovecha la energía cinética del flujo. En ellas se transforma la energía de presión en energía cinética mediante el distribuidor, también conocido como inyector. En estas turbinas el fluido no necesita llenar todo el espacio entre los álabes ya que no hay variación de la presión estática como ocurre en el caso de la turbina Pelton. En las turbinas de acción la caída de presión ocurre en la tobera del distribuidor provocando que el agua incida sobre los álabes de manera discreta con una gran energía cinética, la cual es la única que se aprovecha.

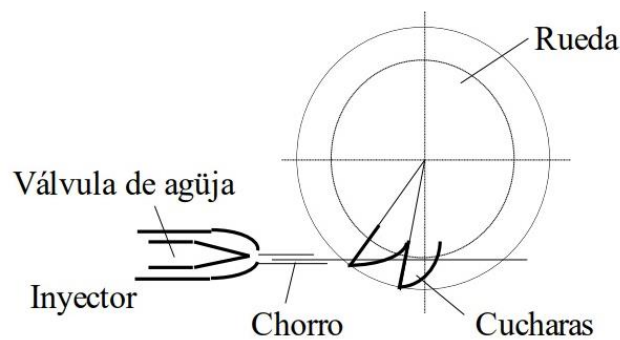


Ilustración 5: Esquema básico de una turbina de acción

3.5.2 Turbinas de reacción

Las turbinas de reacción son aquellas capaces de utilizar la energía estática del agua. En estas sólo se transforma una parte de la energía de presión de flujo en energía cinética. Esta transformación se lleva a cabo mediante el distribuidor. El distribuidor más utilizado para este tipo de turbinas es el distribuidor Fink. En las turbinas de reacción entra el agua al rotor a una presión superior a la atmosférica, la cual saldrá por el tubo de aspiración a una presión inferior a la atmosférica. De esta manera se produce una caída de presión estática en el rotor dando lugar a que el fluido llene todo el canal entre álabes.

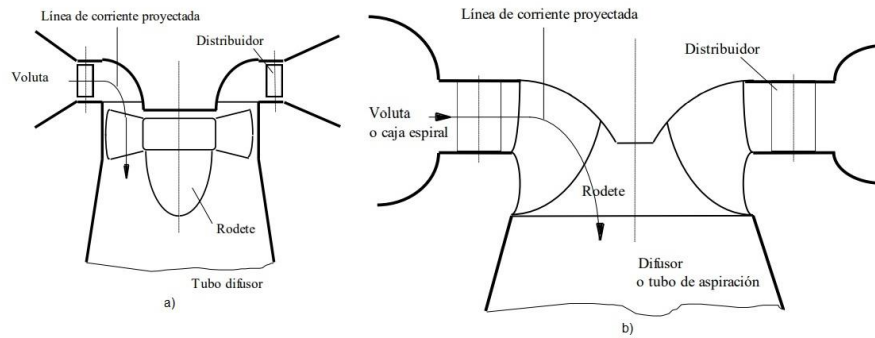


Ilustración 6: a) Esquema de una turbina Kaplan de eje vertical; b) Esquema de una turbina Francis

3.6 Turbina Kaplan

La turbina Kaplan fue creada por un inventor austriaco llamado Viktor Kaplan (1876-1934). Con este tipo de turbina se consiguieron explotar los saltos de agua de poca altura. La turbina Kaplan es una de las principales turbinas de agua que se usan. Este tipo de turbinas se usan cuando el salto de altura es menor de 60 metros trabajando así con grandes caudales desde 200 a 300 m³/s. Como el flujo de caudal varía la regulación de los álabes permitirá que el rendimiento se mantenga alto hasta caudales del 20 al 30 % del flujo nominal. De esta manera la eficiencia de la turbina se puede optimizar para un rango amplio de caudal. La turbina Kaplan se suele utilizar, por ejemplo, en las desembocaduras de los ríos.



Ilustración 8: Turbina Kaplan de 1928

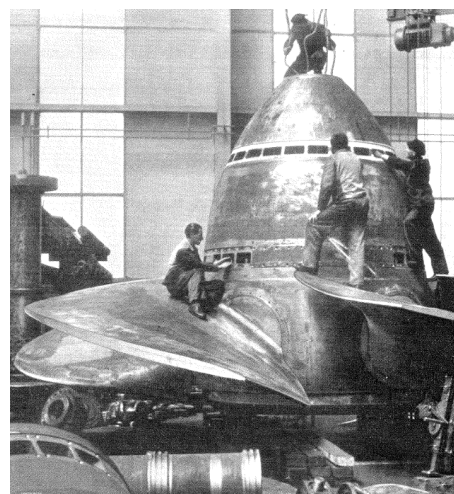


Ilustración 7: Montaje de un rodete de una de las 3 Turbinas Kaplan construidas por la casa Voith, Alemania

3.6.1 Descripción y ventajas

Las turbinas Kaplan son turbomáquinas motoras de reacción con un flujo totalmente axial. Estas poseen una hélice que funciona de manera muy similar a la hélice de un barco. Los álabes de la turbina siempre son fijos mientras que los del distribuidor pueden ser fijos u

orientables, los cuales sirven para regular la carga. El rodete tiene forma de hélice. Este es impulsado por agua a presión la cual es liberada por una compuerta. Si ambos álabes, tanto los de la turbina como los del distribuidor, fuesen orientables se obtendría una turbina Kaplan verdadera de admisión axial. Si sólo los álabes del distribuidor fuesen regulables sería una turbina semi-Kaplan de admisión radial o axial.

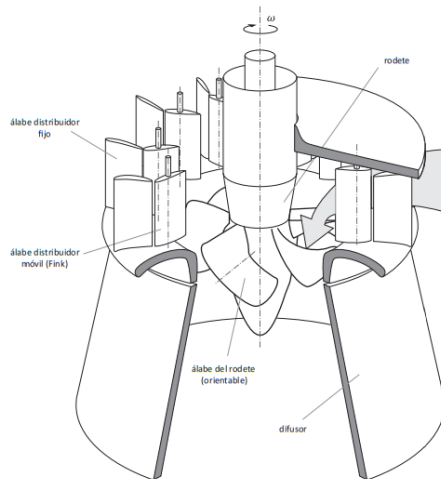


Ilustración 10: Esquema de turbina Kaplan

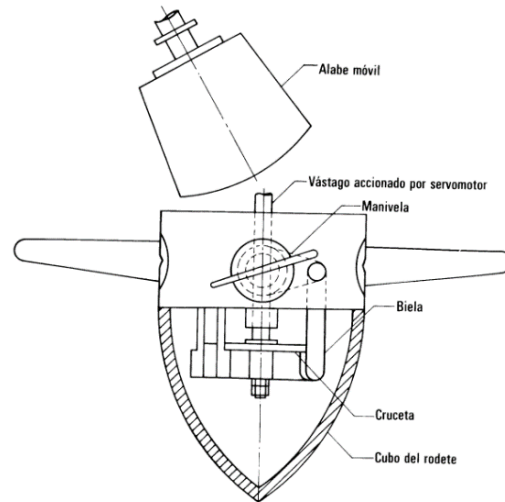


Ilustración 9: Mecanismo de orientación de los álabes de un rodete Kaplan.

Empleando turbinas Kaplan se obtienen elevados rendimientos de trabajo. Esto se debe a los álabes orientables los cuales favorecen la disminución de las pérdidas por choque del fluido al entrar al rotor y el paso variable del fluido. Si el número de paletas es superior a 8 el rendimiento empeora ya que se aumenta la superficie mojada.

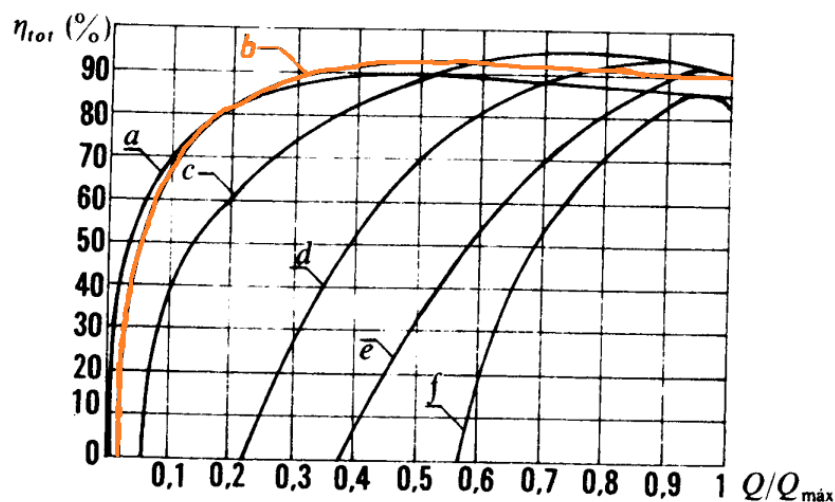


Ilustración 11: Curvas de rendimiento de los diversos tipos de turbinas en función del caudal

En esta figura se puede distinguir diferentes curvas las cuales pertenecen cada una de ellas a las diferentes turbinas en función del caudal. De esta manera la curva perteneciente a

las turbinas Kaplan es la b. Este tipo de curva recibe el nombre de curva “plana” debido a su forma siendo esta una de las ventajas por la cual se utilizan en las centrales de poca altura. Sin embargo, al estar en este tipo de centrales sufren mucho por los cambios de nivel de los embalses que comunican.

3.6.2 Elementos de la turbina Kaplan

El mecanismo de funcionamiento de una turbina Kaplan se basa en el giro de los álabes del distribuidor y del rodete, en este caso una hélice.

El distribuidor más utilizado en las turbinas Kaplan es el distribuidor Fink, mediante el cual se puede llegar al rendimiento óptimo de la turbina. Este tipo de distribuidor está formado por palas orientables situadas antes de la entrada a la hélice. Se utiliza cuando es preciso regular el caudal, la presión o el ángulo de incidencia del fluido sobre los álabes.

Debido a la utilización o no de dicho distribuidor se pueden distinguir tres tipos de turbinas: Kaplan, Semi-Kaplan y Hélice. Las turbinas Kaplan cuentan con una hélice de álabes orientables y un distribuidor Fink. Las turbinas Semi-Kaplan cuentan con un rodete de álabes orientables y un distribuidor fijo o un rodete de álabes fijos y un distribuidor Fink. Por último, las turbinas Hélice cuentan con un distribuidor fijo o no tiene distribuidor y los álabes del rodete son fijos.

Los álabes del distribuidor giran todos en el mismo ángulo al moverse el vástago longitudinalmente. Una vez que ocurre esto, hace subir o bajar la cruceta en la cual se articulan las bielas de cada uno de los álabes. En los extremos opuestos de las bielas están a su vez articuladas las manivelas que giran solidarias a los álabes.

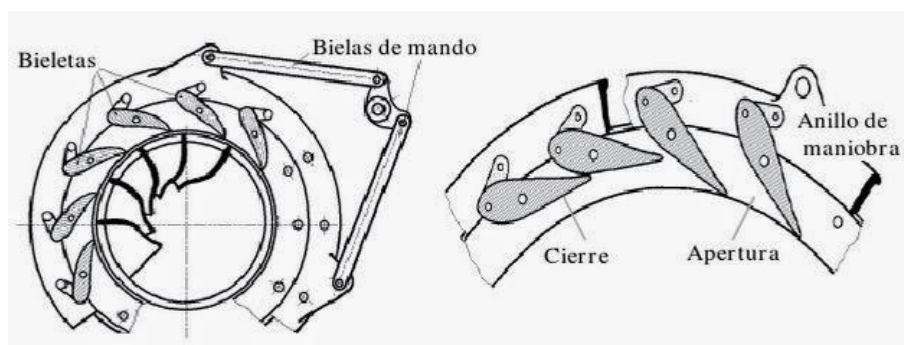


Ilustración 12: Sistema de accionamiento de los álabes del distribuidor

Con respecto a la hélice más adelante se explicará el proceso de su diseño y fabricación.

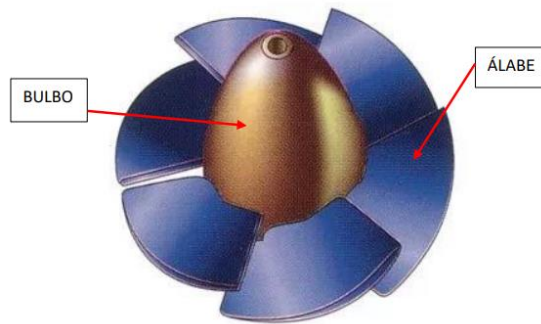


Ilustración 13: Rodete de una turbina Kaplan

Otro de los elementos principales es la voluta mediante la cual circula el fluido. Estas pueden ser abiertas, cerradas o con forma espiral. Dentro de la forma espiral se pueden encontrar diferentes tipos de secciones como se muestra a continuación.

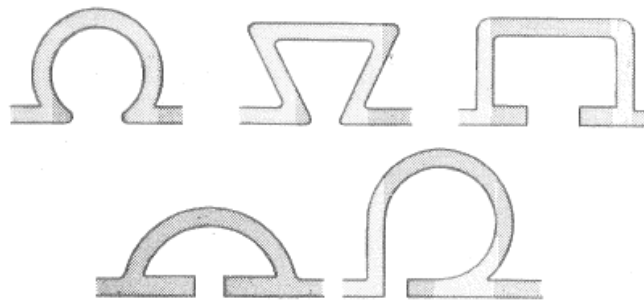


Ilustración 14: Formas diversas de Volutas

Por último, el elemento que permite la salida del agua es el tubo de aspiración. La función de este elemento es expulsar el agua tras ceder su energía aumentando la energía estática y dinámica produciendo una succión a la salida de la hélice.

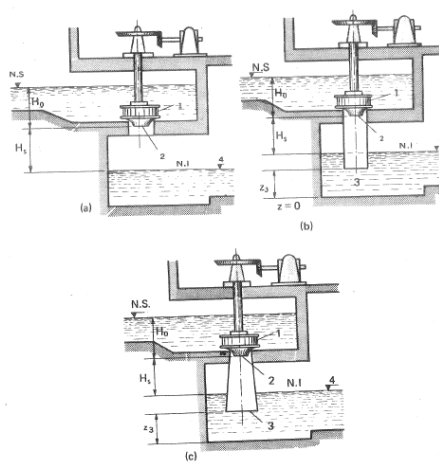


Ilustración 15: Tubo de aspiración de turbomáquina hidráulica de reacción

4 Materiales y Maquinaria empleados en el TFG

4.1 Materiales empleados

Para la realización de todos los componentes se han usado diversos materiales. Para los álabes, la hélice y los topes que sujetan el anillo distribuidor se ha usado resina ABS. Se ha usado PVC para la carcasa trasera, el acoplamiento de la polea a la carcasa y la nariz delantera entre otras. Se han utilizado 2 espesores para las chapas de aluminio. Para la mayoría de las piezas realizadas con chapa de aluminio se ha utilizado una chapa de 3 milímetros de espesor como es el caso del anillo distribuidor y el primer sistema de giro diseñado. Sin embargo, como dicho sistema dio problemas, ya que no realizaba un movimiento solidario con los álabes del distribuidor, se usaron chapas de aluminio de 8 milímetros de espesor para el nuevo y actual sistema de giro. También se ha usado plástico para, por ejemplo, la cabeza de la chapa indicadora que indica el ángulo de apertura de los álabes del distribuidor.

4.2 Máquinas empleadas

Para fabricar todos y cada uno de los componentes de esta turbina se han utilizado una gran variedad de máquinas herramienta. Las características de las máquinas utilizadas durante los procesos de fabricación se encuentran en los anexos al final del documento.

4.2.1 Centro de mecanizado CNC Lagun 650



Ilustración 16: Centro de mecanizado CNC Lagun 650

El centro de mecanizado CNC es la máquina con la cual se han ejecutado la mayor de las operaciones para obtener las piezas de la turbina y así facilitar el mecanizado proporcionando una gran precisión y acabado en las piezas. Para ello se crean diferentes programas informáticos con la ayuda de Fusion 360 y su propio software, Fagor 8055.

4.2.2 Máquina de corte por agua TCI-cutting BP-C 1515:



Ilustración 17: Máquina de corte por agua TCI-cutting BP-C 1515 de la EPS de Jaén

Se ha utilizado para cortar las chapas de aluminio de 3 milímetros para el sistema de giro y ambas carcasas, delantera de metacrilato y la geometría de la trasera de PVC, ya que es una máquina con bastante precisión y no deforma la pieza al realizar el corte con un chorro de agua a presión y partículas abrasivas.

4.2.3 Impresora 3D para resina ANYCUBIC Photon Mono X



Ilustración 18: Impresora 3D para resina ANYCUBIC Photon Mono X

Se ha utilizado para hacer los distintos rodetes y álabes. De esta manera se ha intentado evitar hacer los álabes directrices de aluminio. De esta manera se puede evitar que, con el tiempo y el uso, se tengan que cambiar debido a la formación de óxido y rotura, puesto que la resina utilizada, resina ABS, contiene propiedades elásticas de cara a los esfuerzos que sufre en la realización de los ensayos.

4.2.4 Máquina de corte por laser



Ilustración 19: Máquina de corte por láser

Esta máquina ha sido caracterizada y puesta en funcionamiento mediante la realización de otro trabajo de fin de grado. Se utilizó fabricar el estabilizador de flujo para hacer que el flujo sea laminar y evitar el reflujo que puede llegar a romper la hélice. Se trata de una máquina casi rectangular de dimensiones reducidas. Esta máquina cuenta con un tubo láser de CO_2 capaz de proporcionar un haz láser con una potencia máxima de 40 W. Es capaz de grabar a una velocidad máxima de 500 mm/s y cortar a una velocidad máxima de 400 mm/s .

4.2.5 Máquina de impresión por hilo

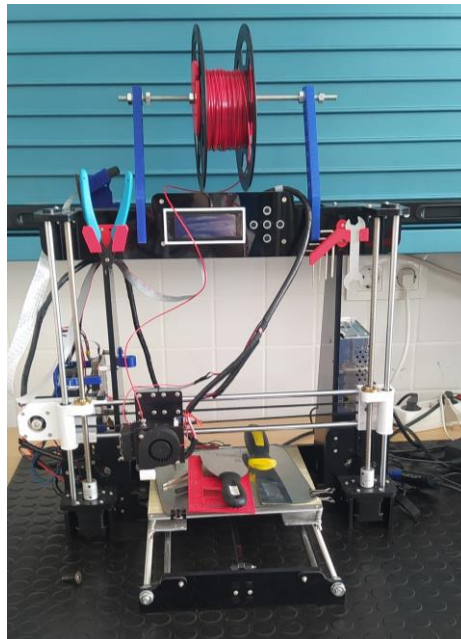


Ilustración 20: Máquina de impresión con hilo

Se utilizó para crear el soporte para el tacómetro y medir la velocidad con una mayor facilidad. De esta manera se puede ajustar el tacómetro a la altura que se desee medir la velocidad.

4.2.6 Otras máquinas utilizadas

Durante el proceso de fabricación se han usado diversas máquinas para llegar a obtener el las piezas según se han diseñado. Cada una de estas máquinas ha tenido una función muy importante a la hora de la fase de fabricación de las piezas.



Ilustración 21: Torno de la EPS de Linares



Ilustración 22: Sierra de cinta Optimum S275G de la EPS de Linares



Ilustración 24: Taladro de columna de la EPS de Linares



Ilustración 23: Esmeriladora de la EPS de Linares



Ilustración 25: Prensa hidráulica con cilindro móvil cat83010ts

4.3 Software empleado

Para realizar todas y cada una de las operaciones de mecanizado se han usado diferentes softwares ya que cada máquina usaba el suyo propio.

Para iniciar este trabajo, el primer paso es el diseño en 3D de todas las piezas mediante Autocad Inventor 2022. Este diseño se ha llevado a cabo de manera muy meticulosa para que todo funcione correctamente una vez que se realice el ensamblaje completo de la turbina.

Una vez diseñadas todas las piezas, en la fase de fabricación, se utilizan una gran variedad de software. Para comenzar con el mecanizado se usa Autocad Fusion 360 para obtener los programas para mecanizar las piezas mediante control numérico en el centro de mecanizado

CNC Lagun 650. Para obtener los contornos de la carcasa de metacrilato y el primer diseño de las piezas del sistema de giro se usa Autocad 2022 para obtener los archivos dxf con los que se programa la máquina de corte por agua. Ese software también se utiliza para cortar el estabilizador de flujo y las chapas grabadas, para el ángulo de apertura y la placa grabada con el nombre del alumno, en la máquina de corte laser además de el de la propia máquina, K40 WHISPERER. Para imprimir el soporte del tacómetro, con el cual se miden las revoluciones por minuto que da el eje de la turbina, se ha usado el ULTIMAKER CURA que es el software de la máquina de impresión por hilo. Y para finalizar el software utilizado durante el proceso de fabricación, se ha utilizado el software ANYCUBIC PhotonWorkshop incorporado en ANYCUBIC Photon Mono X para la impresión de los topes del anillo distribuidor, los álabes directrices y las diferentes hélices en resina en 3D.

Para finalizar este trabajo con la caracterización de la turbina ensamblada, se usa el software Microsoft Excel 2019 para caracterizar la turbina y recoger los datos tomados en tablas y gráficas para su posterior análisis.

Gracias a todos estos programas y máquinas se permitido optimizar y facilitar la labor de cada una de las fases detalladas más adelante garantizando así una mayor calidad y resultados confiables de cara a futuros ensayos y mejoras que se le puedan realizar a esta turbina.

5 Cálculo de los elementos principales de la turbina Kaplan

5.1 Introducción

Para poder realizar correctamente este proyecto se ha de tener en cuenta las distintas fases necesarias para su finalización. En la primera fase se diseñarán todas las piezas para su posterior fabricación. Para poder diseñar todas las piezas se utilizará Microsoft Office Excel obteniendo así los parámetros necesarios, y Autodesk Inventor 2022 para la realización de las piezas en tres dimensiones.

Para la fase de fabricación se utilizarán diversas máquinas herramientas pertenecientes a la Universidad de Jaén como, por ejemplo, la máquina de corte por agua, el centro de mecanizado de CNC, entre otros tal y como se ha expuesto en el apartado anterior. Para obtener el código numérico para ciertas máquinas se usará CAD Autodesk Fusion 360. De esta manera, se permitirá simular las operaciones de mecanizado y se obtendrá el código para la fabricación. También se podrán utilizar otros programas informáticos.

En la última fase de este proceso, se caracterizará la turbina obteniendo datos de manera experimental y graficando las curvas características para poder compararla con la turbina original una vez que se hayan solucionado todos y cada uno de los problemas que vayan surgiendo.

La turbina Kaplan que se diseñará en este TFG presenta bastantes similitudes respecto a la turbina Kaplan presente en el laboratorio de la EPS de Linares, ambas turbinas se diferencian fundamentalmente en el diseño de la cámara espiral y el distribuidor de flujo con posición de álabes variable. También se asemeja bastante a la turbina Francis presente en el mismo laboratorio. La mayor diferencia entre ambos tipos de turbina, como ya sabemos, se encuentra en el rodete, el cual para la turbina Kaplan es una hélice, dirección axial, mientras que las turbinas Francis son de tipo centrífugo.

Para comenzar con el diseño de los componentes de la turbina de se han de tomar datos experimentales de la turbina original, lo que permitirá poder hacer las mejoras necesarias.

5.2 Cálculos previos

Para comenzar con el diseño se necesita llevar a cabo una serie de cálculos previos para los cuales se toman los datos con mayor rendimiento obtenidos anteriormente durante la caracterización de la turbina de partida.

En este caso el mayor rendimiento se ha obtenido con una apertura de 75° y un caudal fijo de $10 \text{ m}^3/\text{h}$. Por lo tanto, los datos de partida serán:

- $Q=8,985 \text{ m}^3/\text{h}$
- $\Omega=1809,63 \text{ rpm}$
- $P=0,641 \text{ mca}$

Para los cálculos previos de los triángulos de velocidades se denotará la entrada y la salida con los números 1 y 2 respectivamente. Tomando como $D_1 = 60 \text{ mm}$, $D_2 = 20 \text{ mm}$, el espesor del álabe (b) de 7,5 milímetros y el ángulo de entrada $\beta_1 = 30^\circ$. Con estos parámetros de diseño se podrán obtener todos los datos de los triángulos de velocidades.

Cálculo de la velocidad tangencial a la entrada y salida del rodete:

$$U = \Omega * r \quad (\text{Ec. 6})$$

$$U_1 = \left(1809,63 \frac{\text{vueltas}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ vuelta}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \right) * \frac{60 \text{ milímetros}}{2} * \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ milímetros}}$$

$$U_1 = 5,685 \text{ m/s}$$

$$U_2 = \left(1809,63 \frac{\text{vueltas}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ vuelta}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \right) * \frac{20 \text{ milímetros}}{2} * \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ milímetros}}$$

$$U_2 = 1,895 \text{ m/s}$$

Para el cálculo de la velocidad meridional se aplica, tal y como se estudia en la mecánica de fluidos, que no se produce momento cinético a la salida $V_{u2} = 0$ y $\alpha_2 = 90^\circ$.

$$V_m = \frac{Q}{\pi D b} \quad (\text{Ec. 7})$$

$$V_{m1} = \frac{0,00249 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * (60 * 10^{-3} \text{ m}) * (5 * 10^{-3})} = 2,648 \text{ m/s}$$

$$V_2 = V_{m2} = V_2 = \frac{0,00249 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * (20 * 10^{-3} \text{ m}) * (5 * 10^{-3})} = 7,944 \text{ m/s}$$

$$W_{u1} = \frac{V_{m1}}{\tan \beta_1} \quad (\text{Ec. 8})$$

$$W_{u1} = \frac{2,648 \text{ m/s}}{\tan(30^\circ)} = 4,587 \text{ m/s}$$

$$V_{u1} = U_1 - W_{u1} \quad (\text{Ec. 9})$$

$$V_{u1} = 5,685 \text{ m/s} - 4,587 \text{ m/s} = 1,098 \text{ m/s}$$

Cálculo del ángulo, velocidad absoluta y relativa a la entrada.

$$\alpha_1 = \arctg \left(\frac{V_{m1}}{U_1 - W_{u1}} \right) \quad (\text{Ec. 10})$$

$$\alpha_1 = \arctg \left(\frac{2,648 \text{ m/s}}{5,685 \text{ m/s} - 4,587 \text{ m/s}} \right) = 67,473^\circ$$

$$V_1 = \frac{V_{m1}}{\sin \alpha_1} \quad (\text{Ec. 11})$$

$$V_1 = \frac{2,648 \text{ m/s}}{\sin(67,473^\circ)} = 2,867 \text{ m/s}$$

$$W_1 = \frac{V_{m1}}{\sin \beta_1} \quad (\text{Ec. 12})$$

$$W_1 = \frac{2,648 \text{ m/s}}{\sin(30^\circ)} = 5,296 \text{ m/s}$$

Cálculo del ángulo a la salida.

$$\beta_2 = \arctg\left(\frac{V_2}{U_2}\right) \quad (\text{Ec. 13})$$

$$\beta_2 = \arctg\left(\frac{7,944 \text{ m/s}}{1,895 \text{ m/s}}\right) = 76,584^\circ$$

Una vez conocidos los ángulos de salida se calcula la velocidad relativa a la salida.

$$W_2 = \frac{V_2}{\sin \beta_2} \quad (\text{Ec. 14})$$

$$W_2 = \frac{7,944 \text{ m/s}}{\sin(76,584^\circ)} = 8,167 \text{ m/s}$$

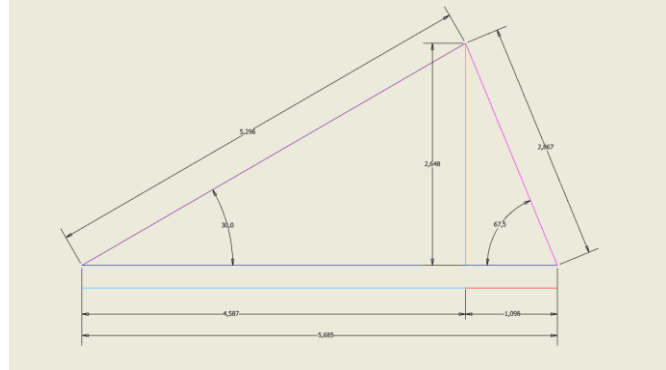
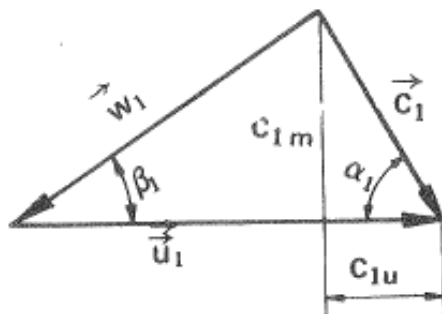


Ilustración 26: Triángulo de velocidades a la entrada

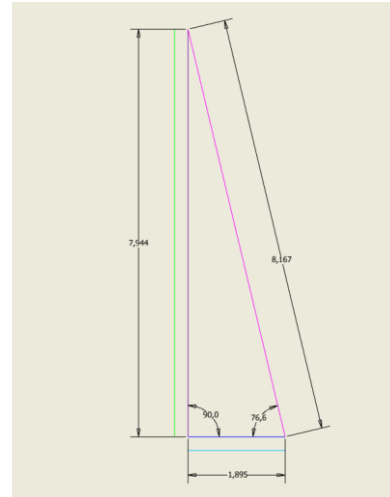
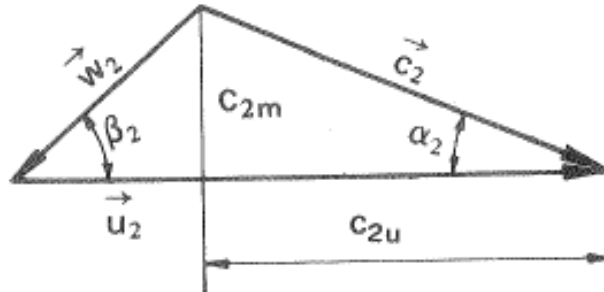


Ilustración 27: Triángulo de velocidades a la salida

Una vez obtenidos los triángulos de velocidades, es posible calcular la altura neta de la turbina a partir de la potencia hidráulica y la velocidad específica que confirmará o no si se puede fabricar una turbina Kaplan con los datos obtenidos de los ensayos previos.

$$H_n = \frac{P}{\rho * g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 * g} \quad (Ec. 15)$$

$$H_n = \frac{0,641 \text{ mca}}{997 \frac{kg}{m^3} * 9,81 \frac{m}{s^2}} + \frac{(7,944 \text{ m/s})^2 - (2,867 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} = 2,798 \text{ m}$$

$$\Omega_s = \Omega * \frac{Q^{1/2}}{(g * H_n)^{3/4}} \quad (Ec. 16)$$

$$\Omega_s = \left(1809,63 \frac{\text{vueltas}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ vuelta}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \right) * \frac{(0,00249 \text{ m}^3/\text{s})^{1/2}}{\left(9,81 \frac{m}{s^2} * 0,641 \text{ mca} \right)^{3/4}}$$

$$\Omega_s = 2,3841 \text{ rad/s}$$

La velocidad específica obtenida confirma que, con estos datos, se puede fabricar una turbina Kaplan, tal y como se puede observar en la siguiente tabla.

BOMBAS	$\Omega_s = \frac{\Omega Q^{1/2}}{(gH_m)^{3/4}} \Big _{\eta \text{ m\acute{a}x}}$
Bombas centrífugas	$0,2 < \Omega_s < 2,0$
Bombas semiaxiales	$1,3 < \Omega_s < 4,0$
Bombas axiales	$3,0 < \Omega_s < 6,0$
TURBINAS	$W_s = \Omega_{s,t} = \frac{\Omega(W_t/\rho)^{1/2}}{(gH_n)^{5/4}} \Big _{\eta \text{ m\acute{a}x}}$
Turbinas de impulso (Pelton)	$0,02 < W_s < 0,3$
Turbinas centrípetas (Francis)	$0,3 < W_s < 2,5$
Turbinas axiales (Kaplan)	$2,3 < W_s < 6,0$

Tabla 2: Rango de las velocidades específicas para diferentes turbomáquinas hidráulicas

Lo siguiente que ha de conocerse es la altura teórica y el rendimiento hidráulico. Para ello, se empieza utilizando la ecuación de Euler aplicada a turbinas obteniendo así la altura teórica para un número infinito de álabes.

$$H_{t\infty} = \frac{U_1 V_{u1} - U_2 V_{u2}}{g} \quad (\text{Ec. 17})$$

$$H_{t\infty} = \frac{5,685 \text{ m/s} * 1,098 \text{ m/s}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,6365 \text{ m}$$

Aplicando la corrección de Pfleiderer se puede obtener la altura teórica para un número finito de álabes. En este caso se usará un número de 8 álabes ya que lo ideal es que la hélice esté formada por cuantos menos perfiles mejor para así evitar rozamientos y exista menos superficie mojada.

$$z = 8 \text{ álabes}$$

$$\Psi = 0,6 * (1 + \text{sen } \beta_2) \quad (\text{Ec. 18})$$

$$\Psi = 0,6 * (1 + \text{sen } 76,584) = 1,1836$$

$$S = \frac{1}{2} (r_1^2 - r_2^2) \quad (\text{Ec. 19})$$

$$S = \frac{1}{2} \left(\left(\frac{0,06}{2} \right)^2 - \left(\frac{0,02}{2} \right)^2 \right) = 0,0004$$

$$e_z = \frac{1}{1 + \frac{\Psi r_1^2}{zS}} \quad (\text{Ec. 20})$$

$$e_z = \frac{1}{1 + \frac{1,1836 * \left(\frac{0,06}{2} \right)^2}{11 * 0,0004}} = 0,9643$$

$$H_t = e_z H_{t\infty} \quad (\text{Ec. 21})$$

$$H_t = 0,9704 * 0,636 \text{ m} = 0,6138 \text{ m}$$

Para finalizar estos cálculos previos, se ha de calcular el rendimiento hidráulico que proporcionara esta turbina.

$$\eta_h = \frac{H_t}{H_{t\infty}} * 100 \quad (\text{Ec. 22})$$

$$\eta_h = \frac{0,618 \text{ m}}{0,636 \text{ m}} * 100 = 96,43 \%$$

5.3 Diseño de los elementos principales de la turbina Kaplan

5.3.1 Hélice

La hélice se ha diseñado de manera similar a la hélice original que se encuentra en el laboratorio. En este caso se ha elegido un diámetro de entrada de 20 milímetros y un diámetro de salida de 56 milímetros. Con estos dos diámetros se puede asegurar que la hélice no dará problemas de rozamiento con respecto al tubo de aspiración de PVC por el cual sale el agua a un depósito y se puede adaptar a la perfección a la turbina de partida. Para la realización de los álabes de la hélice se ha cogido un perfil NACA 5615, el cual luce de la siguiente manera.

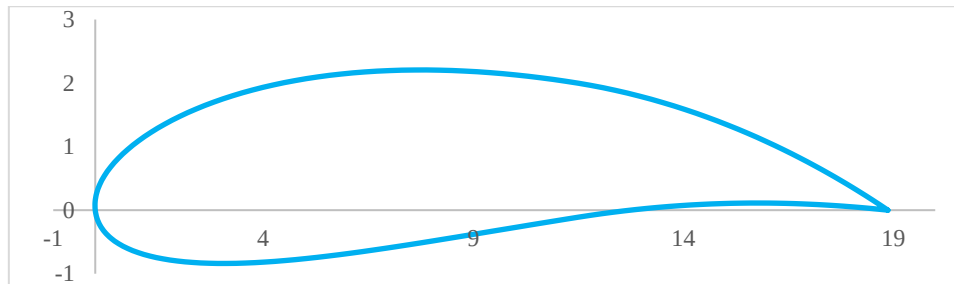


Gráfico 1: Perfil NACA 5615 utilizado para diseñar la hélice

5.3.2 Álabes directriz

El distribuidor de álabes móviles se encarga de favorecer la entrada y salida del flujo regulando el caudal a la misma vez que influye en la potencia suministrada a la hélice. Disminuyendo así las pérdidas y favoreciendo los campos de velocidades, modificando los ángulos de entrada y salida para obtener un mejor rendimiento. Para los álabes directrices se ha decidido utilizar un perfil NACA 9520 con una cuerda, o longitud, de 65 milímetros.

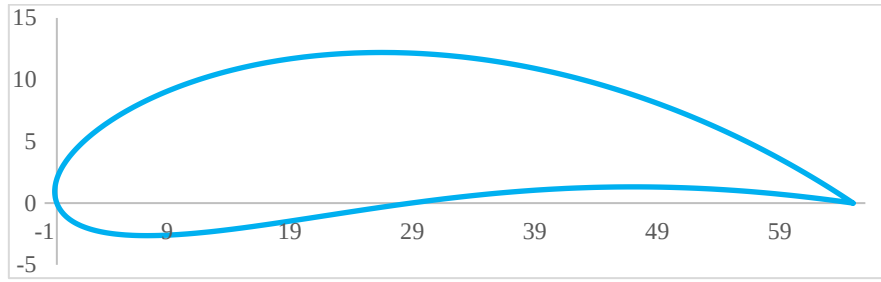


Gráfico 2: Perfil NACA 9520 utilizado para diseñar el álabe directriz

5.3.3 Cámara espiral

La funcionalidad de la cámara espiral es dejar que el fluido pase por ella transformando su energía de presión en energía cinética proporcionando una transición suave y uniforme del flujo a lo largo del recorrido hasta su salida por el tubo de aspiración. En este caso se ha usado el método de la espiral logarítmica mediante puntos obtenidos con Microsoft Excel. La profundidad del canal será de 17 milímetros, la cual es bastante menor que en la turbina original la cual es de 35 milímetros.

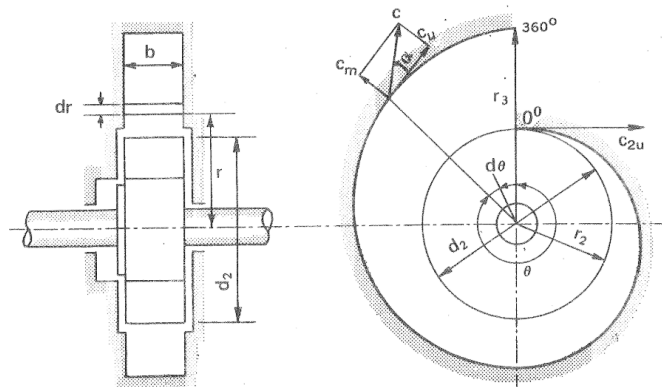


Ilustración 28: Esquema de la cámara espiral logarítmica de una bomba radial

Para poder obtener una geometría similar a la de la figura anterior se usarán coordenadas polares y la siguiente ecuación:

$$r_{\theta} = r_3 * e^{\frac{Q}{360C*b} * \theta} \quad (Ec. 23)$$

$$C = r_1 c_{u_1} \quad (Ec. 24)$$

$$C = 0,03 \text{ m} * 1,098 \text{ m/s} = 0,03295 \text{ m}^2/\text{s}$$

Donde r_3 es el radio en el cual comienza la espiral para el que se ha cogido un valor de 76,5 milímetros, b va a ser la profundidad que se le va a dar a la espiral, θ es el ángulo girado y C es una constante que relaciona el radio de entrada con la velocidad acimutal. Para obtener unos radios de curvatura concretos se ha cogido un intervalo de 10° entre ángulo girado,

teniendo en cuenta que se empezó con un ángulo girado de 0° . De esta manera se procederá a calcular una serie de radios de curvatura para obtener tantos centros de curvatura como se deseen.

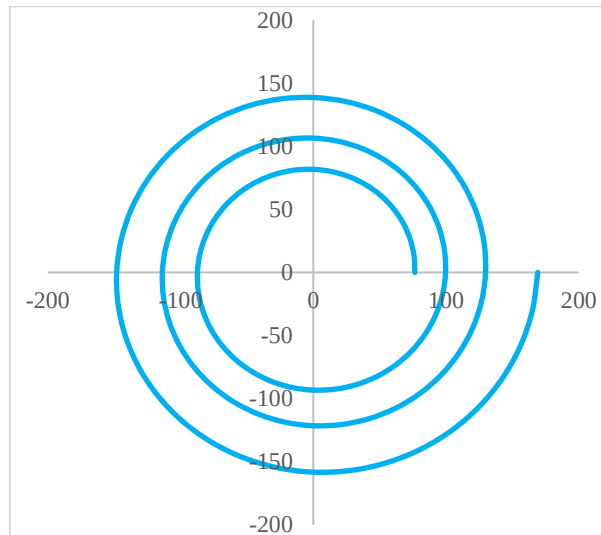


Gráfico 3: Spline de la voluta logarítmica

La voluta logarítmica quedaría tal y como se muestra en el gráfico anterior, recortando el spline para que se quede tal y como queremos para poder mecanizarla. De esta manera se reducen las pérdidas de energía que se puedan dar y obtener una mayor eficiencia de cara a la utilización de agua como parte de las energías renovables.

6 Diseño CAD

Para realizar el diseño de todas las piezas para ensamblar la turbina se han echado un promedio de 2 o 3 horas al día durante un mes y medio obteniéndose así el ensamblaje final mediante Autodesk Inventor 2022. Este proceso ha requerido un trabajo continuo y meticulado para definir correctamente cada una de las dimensiones que se le han proporcionado a cada una de las piezas correspondientes. De esta forma, este software ha proporcionado una visión tridimensional de como quedaría la turbina tras finalizar la fase de fabricación y permitiendo arreglar y corregir cada uno de los fallos correspondientes a las dimensiones de cara al proceso de fabricación.

6.1 Hélice

Para la realización de la hélice se ha creado un cilindro de diámetro interior igual a 6,5 milímetros y de diámetro exterior igual a 20 milímetros. Posteriormente se ha dibujado uno de los álabes mediante un plano auxiliar y con el patrón circular se cran todos con el mismo ángulo de ataque con respecto al flujo, haciendo así una hélice simétrica. Por último, se han realizado dos dobles fondos uno a cada lado del cilindro central para insertar las piezas que harán que no existan rozamientos.

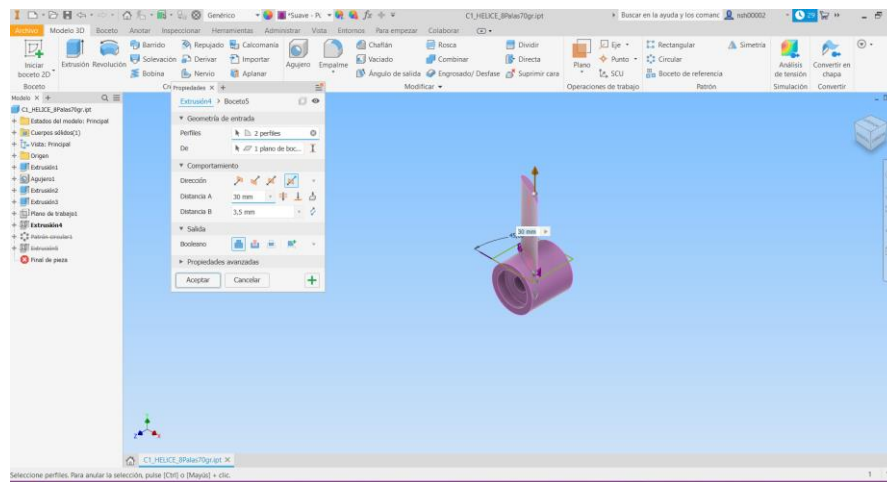


Ilustración 29: Diseño de una pala de la hélice

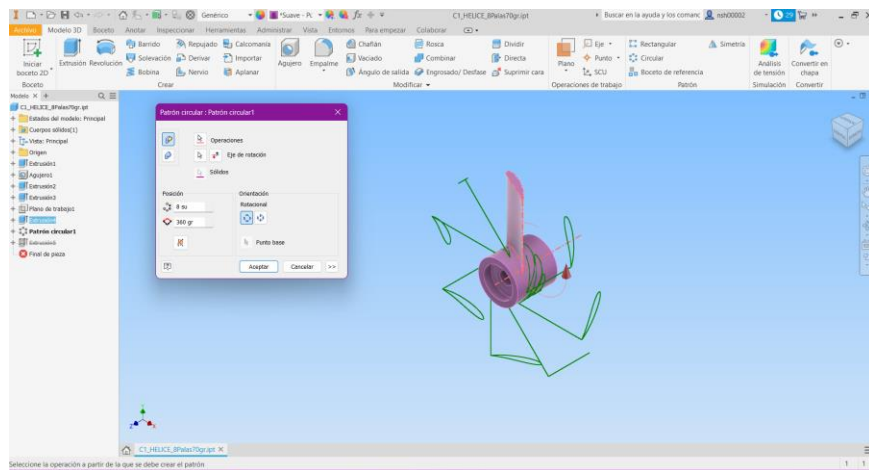


Ilustración 30: Patrón circular para crear una hélice de 8 palas simétrica

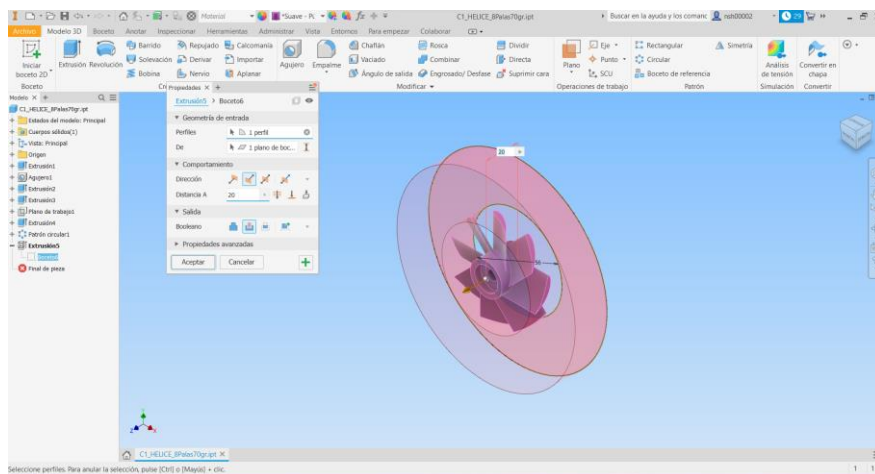


Ilustración 31: Operación de corte para adaptar las palas al diámetro interior de la tubería de aspiración

De esta manera se obtiene cualquier tipo de hélice, lo único que se ha de cambiar es el ángulo de ataque con respecto al flujo el cual en este caso es de 45°.

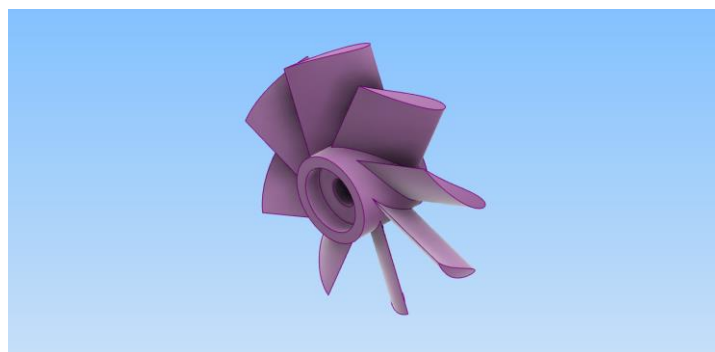


Ilustración 32: Diseño en 3 dimensiones de la hélice

De esta misma manera se han creado dos hélices más con un ángulo de ataque diferente al anterior, pero con distinto número de palas para poder comparar los resultados de la caracterización entre ellas.

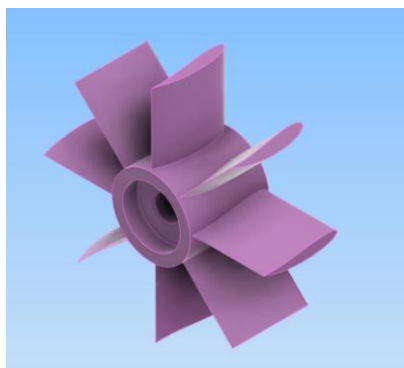


Ilustración 34: Hélice con 8 palas y ángulo de ataque de 85°

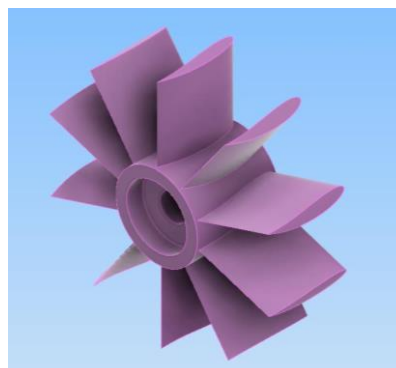


Ilustración 33: Hélice con 10 palas y ángulo de ataque de 85°

6.2 Álabes directriz

Para el álabes se ha usado un NACA 9520 obtenido a partir de un generador de perfiles NACA. Para poder realizar su diseño en 3 dimensiones se han obtenido todos los puntos del perfil NACA y se han puesto en una hoja de Microsoft Excel. De esta manera se puede obtener los álabes mediante un *spline* de dichos puntos.

Para obtener la geometría de los perfiles NACA, usados para obtener la hélice y los álabes del distribuidor, se ha usado una página web en la cual los perfiles están normalizados y reunidos en diferentes categorías. Lo único que se han tenido que modificar han sido la curvatura del perfil, la curvatura de la cola del perfil, el grosor del perfil y el número de puntos que se requieren para su representación seleccionando la casilla para cerrar la geometría del álabes.

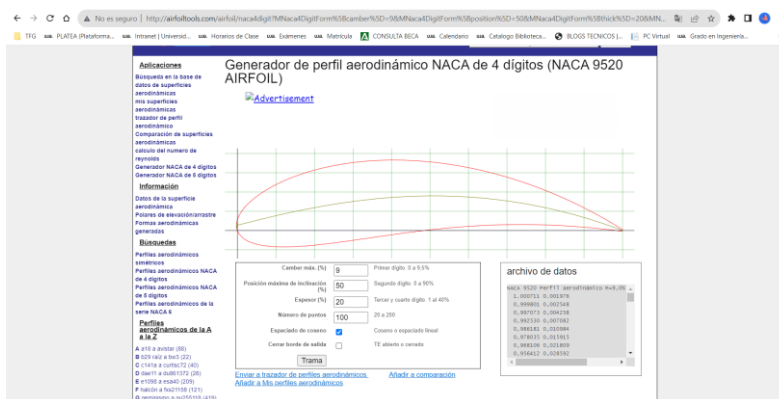


Ilustración 35: Parámetros introducidos y visualización del álabes directriz mediante la página web para obtener perfiles NACA

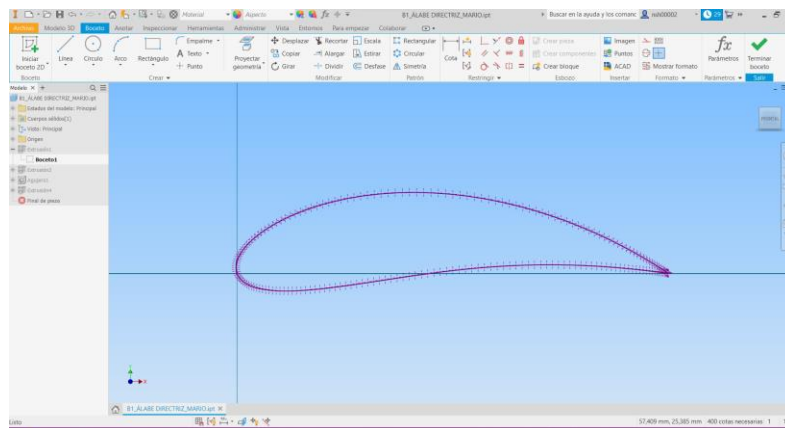


Ilustración 36: Spline del perfil NACA 9520

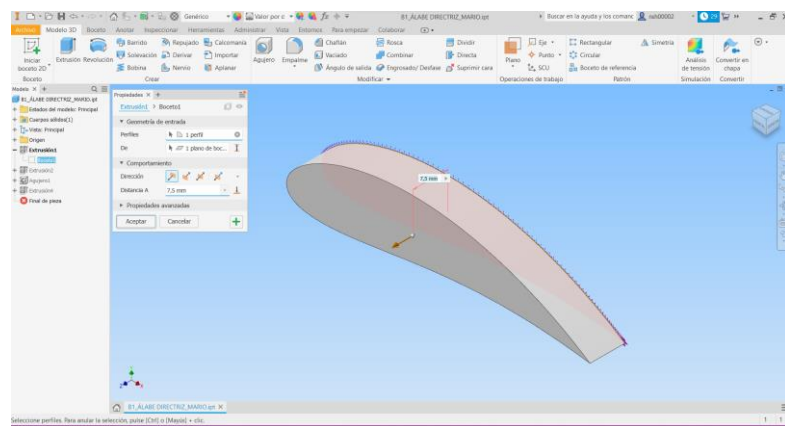


Ilustración 37: Extrusión del álabo directriz

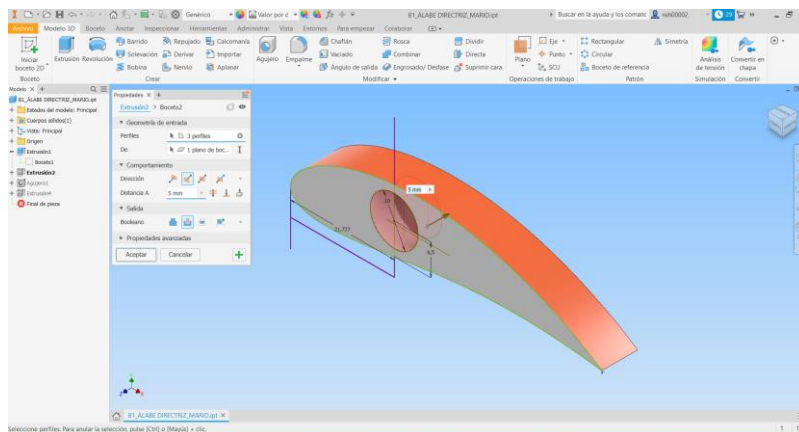


Ilustración 38: Extrusión para realizar el taladro y el doble fondo para insertar un tornillo

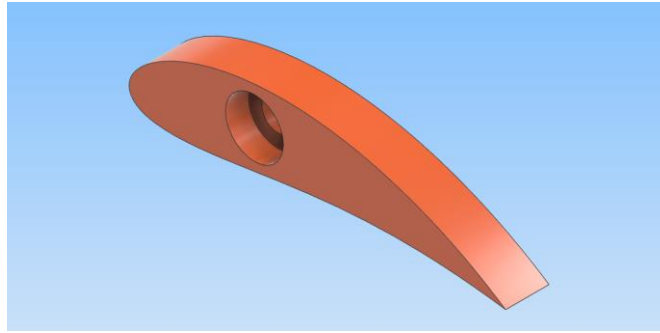


Ilustración 39: Perfil NACA 9520

Este álabe tiene un espesor de 7,5 milímetros. Tras obtener la forma del álabe se ha realizado un agujero con doble fondo por el cual se sujetará el álabe a su eje correspondiente.

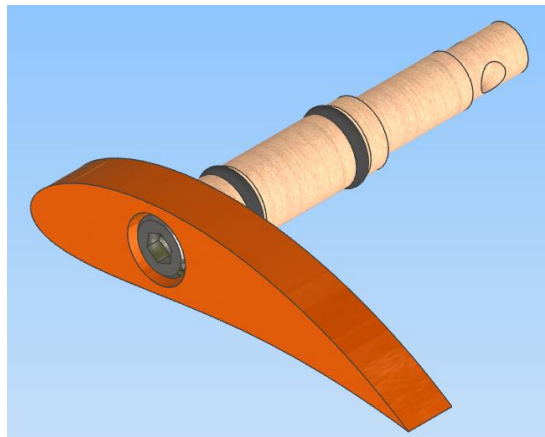


Ilustración 40: Ensamblaje del álabe directriz

De la misma manera se ha creado otro álabe con un doble fondo en la parte inferior para insertar el eje y darle más resistencia a la unión de ambos evitando rozamientos por acople de arandelas, las cuales no se han llegado a poner en el ensamblaje.

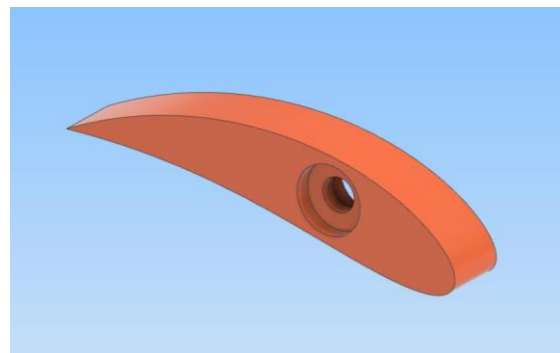
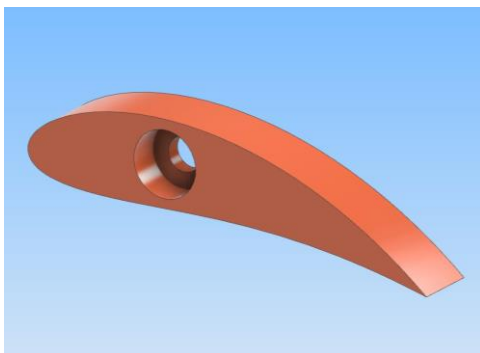


Ilustración 41: Segundo álabe directriz creado con doble fondo en la parte inferior

6.3 Carcasa

La carcasa es la que abarca la mayor cantidad de operaciones ya que es la pieza central en la cual se ensamblan la mayoría de piezas. Por esta razón es la pieza más complicada respecto al diseño y a la fabricación ya que la mayoría de piezas van unidas a esta. Al principio se configuró la geometría, debido a las restricciones de material que se encontraba en el taller, para más adelante crear el resto de piezas según las dimensiones de esta.

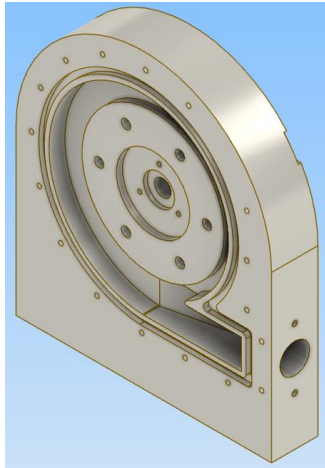


Ilustración 43: Diseño de la parte delantera de la carcasa

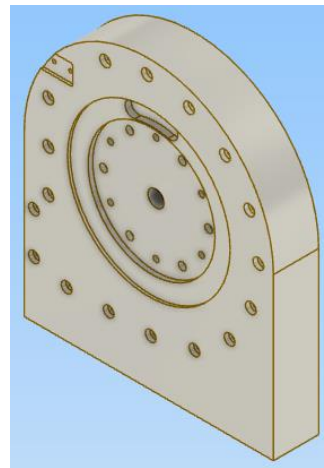


Ilustración 42: Diseño de la parte trasera de la carcasa

Este sería el diseño final de la carcasa. La cámara espiral se ha diseñado según los cálculos rigurosos realizados en el apartado de cálculos para los elementos principales de la turbina dando lugar a esta cámara espiral logarítmica.

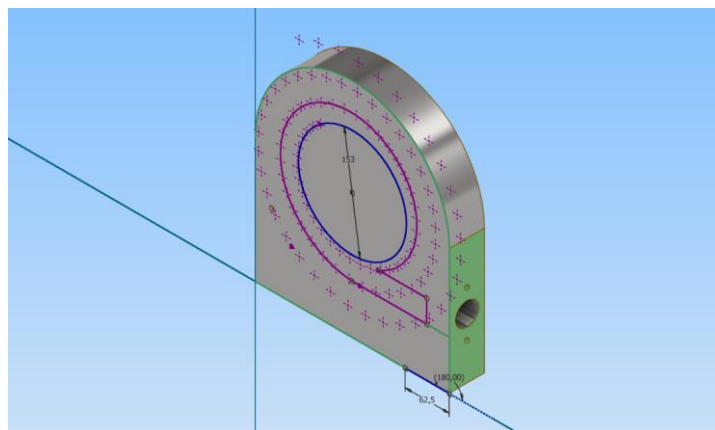


Ilustración 44: Modelado de la carcasa espiral en 3 dimensiones

Tras realizar la operación de la espiral logarítmica se llevó a cabo la operación de la ranura para el cordón tórico de 5 milímetros que haría de junta de estanqueidad para evitar fugas de agua.

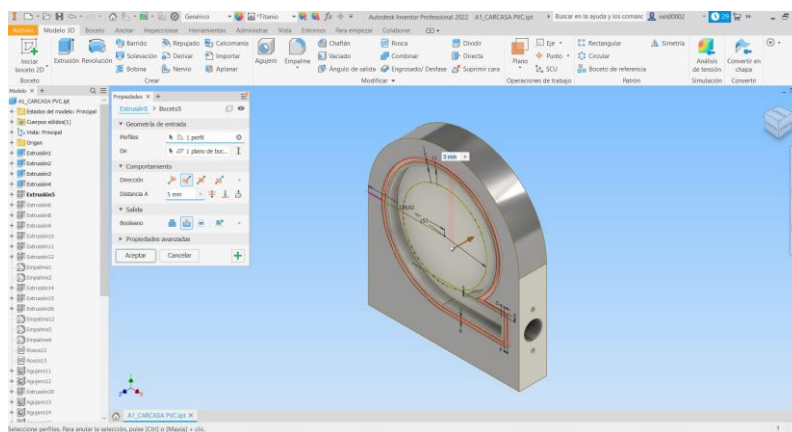


Ilustración 45: Ranura para el cordón tórico de 5 milímetros

Tras realizar todas y cada una de las operaciones en la carcasa, tanto en la parte delantera como en la trasera, se ha realizado una rampa en la entrada del agua para que se reduzca la presión a la que entra y se evite que se rompan los álabes más cercanos a la entrada del agua. Al mismo tiempo se han realizado los taladros, mediante los cuales se van a unir ambas carcasas, mediante un patrón circular.

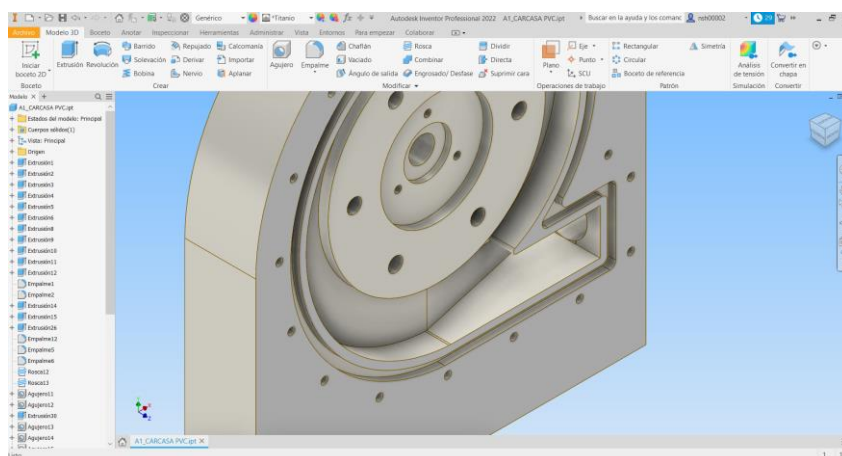


Ilustración 46: Rampa para suavizar la entrada de agua al distribuidor

De esta forma se llegaría al resultado final mostrado en las ilustraciones al principio de este apartado. Este diseño ha sido el más laborioso ya que si algo fallaba no se podría repetir por falta de material y habría que cambiar el resto de piezas y el ensamblaje final.

6.4 Montaje en 3 dimensiones

Para el distribuidor se ha cogido como referencia el sistema de la turbina Francis que se encuentra en el laboratorio, ya que esta turbina no será computarizada. De esta manera se diseñarán todas las piezas para poder adaptar este sistema. Con respecto a este sistema, el

primer sistema diseñado no dio los resultados que se esperaban y por ello se tuvo que diseñar un nuevo sistema que se podrá ver más adelante.

Para finalizar se ensamblan todas las piezas creadas para ver el conjunto completo en el cual se incluye el bastidor y el sistema de frenado adaptado para la turbina Kaplan. El bastidor se obtiene mediante el corte de perfiles Bosch de ancho 35 milímetros y 45 milímetros. Se han usado 3 perfiles Bosch de 35X35 y 4 perfiles Bosch de 45X45. Debido al cambio imprevisto del tamaño de los perfiles, por falta de material, las medidas correspondientes a la base de chapa plegada situada en la parte inferior de la carcasa, que une esta a los perfiles Bosch, no fueron válidas y como solución se ha unido mediante unas pequeñas escuadras para perfiles Bosch.

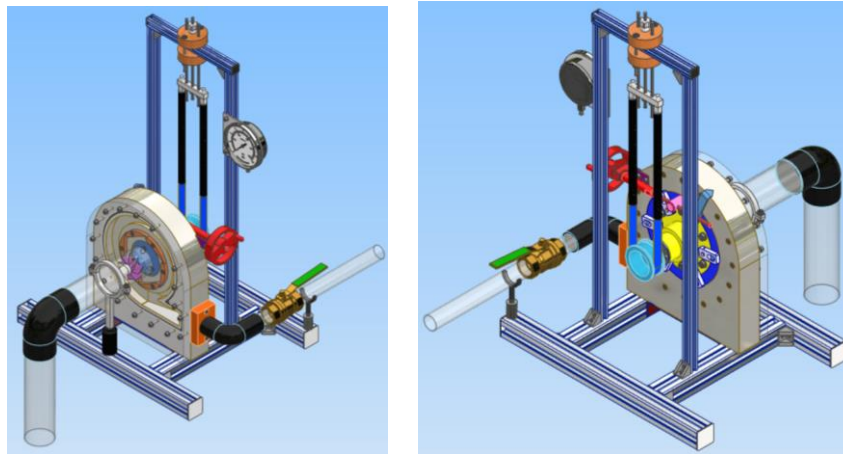


Ilustración 47:ensamblaje completo de la turbina Kaplan en 3 dimensiones

7 Fabricación de los elementos de la turbina y montaje.

En esta fase se han utilizado diferentes procesos para fabricar todos los componentes. La mayor parte de las piezas obtenidas se han simulado con Autodesk Fusion 360 para poder obtener las geometrías a programar en el mecanizado por control numérico. De esta manera se hace más efectivo y preciso el proceso de fabricación.

Las primeras piezas que se han realizado han sido las cuales requieren menos tiempo de mecanizado como son el caso de las chapas del distribuidor y el disco distribuidor entre otros mediante la máquina de corte por agua. Seguidamente se ha fabricado la hélice y los álabes mediante una impresora de resina ya que, de esta manera, era más sencillo y se evita que con el paso del tiempo el material se oxide en el caso de que fuesen de aluminio. La pieza que más se ha tardado en hacer ha sido la carcasa trasera de PVC debido a todas las operaciones y modificaciones que se han realizado para llegar al resultado final y que todas las piezas encajen sin tener rozamientos. A la vez que se ha fabricado el eje principal de la turbina se fabricó también la polea de freno.

Es importante resaltar que el presupuesto que se ha presentado en el apartado de anexos es una aproximación en el cual no se incluyen todos los costos de los materiales. Si es cierto, que para los componentes que se han adquirido de manera comercial se ha obtenido el costo mediante las facturas de compra o de plataformas comerciales como RS, una de las más conocidas. Sin embargo, algunos de los materiales disponibles en el taller han sido cuantificados de manera aproximada con respecto a los costos de mercado. De esta manera, en los anexos, se pueden encontrar dos tablas en las que se refleja este aproximado presupuesto. En una se pueden encontrar las horas de trabajo y de diseño, las cuales se ha estimado un costo de 20€ la hora. En la otra se muestra el costo y los elementos pertenecientes a cada conjunto mediante el cual se ha ido fabricando.

7.1 Hélice

Para obtener la hélice se ha usado directamente el archivo CAD, es decir, se ha llevado a la impresora de resina y se ha impreso tal y como se diseñó en el CAD. Para poder imprimirlo, el archivo CAD se ha importado a una extensión pwmj mediante el programa ANYCUBIC PhotonWorkshop. Para poder obtener la hélice sin muchas imperfecciones, que ocasionen rozamientos innecesarios, se les ha aportado material a las partes que se encontraban en voladizo. Dicho material ha sido retirado una vez se ha terminado el proceso de fabricación de la hélice de manera que no se ha generado ningún tipo de imperfecciones.

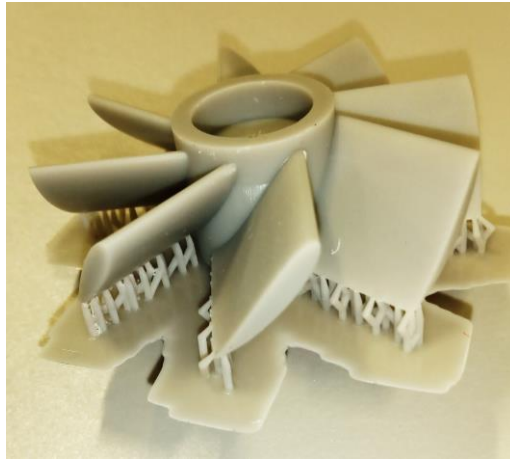


Ilustración 48: Hélice con ángulo de ataque de 45° impresa con la impresora de resinas

En este caso se ha fabricado esta hélice con el perfil NACA 5615 y un ángulo de ataque de 45° con respecto al flujo, pero se podrían fabricar más hélices con diferentes perfiles para ver con cuál de ellas se consigue el rendimiento óptimo siempre y cuando se respete la geometría con la que se ha diseñado toda la turbina. De esta manera, se han creado 2 hélices más con un diferente ángulo de ataque. El ángulo de ataque de ambos es de 85° con respecto al flujo para así poder comparar los resultados de ambas ya que una posee 8 palas mientras que la otra posee 10.

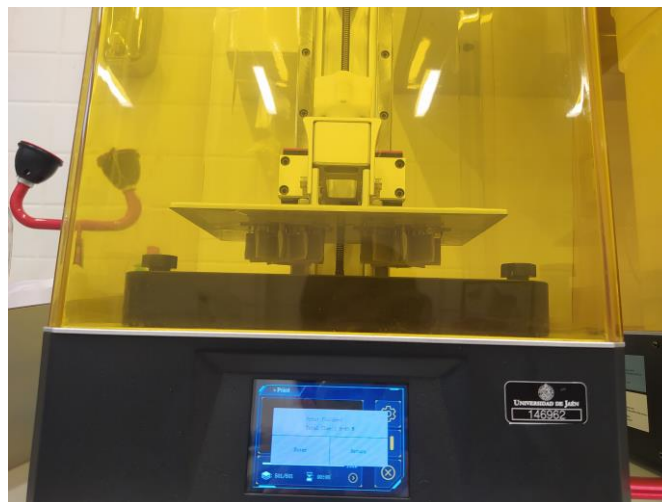


Ilustración 49: Hélices de 8 y 10 palas con ángulo de ataque de 85° impresa en la impresora 3D de resina

7.2 Carcasa

Para obtener la carcasa se ha utilizado una pieza de PVC con las dimensiones necesarias. La primera operación que se llevó a cabo fue el contorno mediante la máquina de corte por agua para reducir el tamaño de la pieza y ver las dimensiones reales que va a tener la pieza.

Antes de comenzar a realizar las operaciones de mecanizado se ha creado una simulación para ver cómo se va a llevar a cabo todas las operaciones. Una vez que se ha comprobado la simulación, se ha pasado la pieza a la máquina de control numérico.

Una vez cortada la geometría de la pieza se ha llevado a cabo un rebaje del material para conseguir que el espesor de la carcasa sea exactamente de 50 milímetros. Tras realizar la operación de contorno y rebaje, se realizaron todas las operaciones de la parte trasera de la carcasa, entre ellas las geometrías para colocar el acoplamiento de la polea de freno, el anillo distribuidor con una banana en la cual se colocará el cilindro al que va unido el eje del sistema de giro, la ranura en la que irá la chapa que une el distribuidor con la carcasa con sus taladros correspondientes, los taladros que unen ambas carcasas y su doble fondo, y, por último, los taladros con los cuales se fija el acoplamiento de la polea de freno a la carcasa y el agujero para acoplar el eje puesto que fue una de las últimas piezas en realizarse.

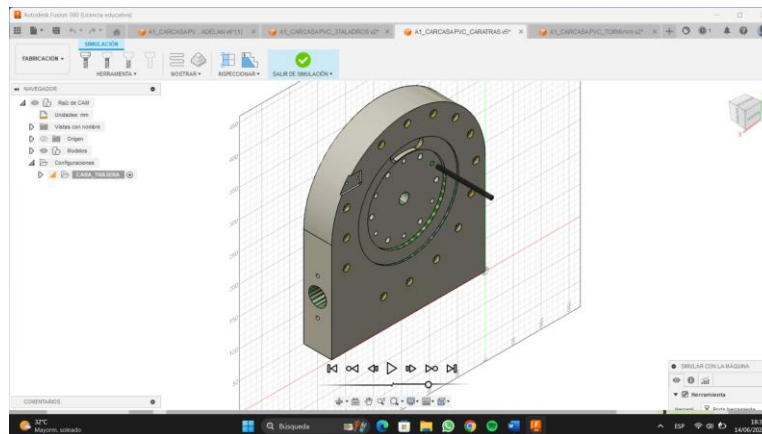


Ilustración 50: Simulación del mecanizado de la parte trasera de la carcasa de PVC (Fusion 360)

Cada agujero tiene una métrica y, por lo tanto, se ha de cambiar la herramienta con frecuencia. Para ahorrar tiempo se realizan todos los taladros iguales al mismo tiempo.



Ilustración 51: Mecanizado de los taladros de la carcasa mediante control numérico

Tras realizar los taladros se llevan a cabo las operaciones de la parte delantera de la carcasa. Antes de mecanizar la espiral se creó un programa con el que se mecanizó la ranura en la que va colocada una junta tórica para impedir que existan pérdidas de agua entre la unión de ambas carcasas.

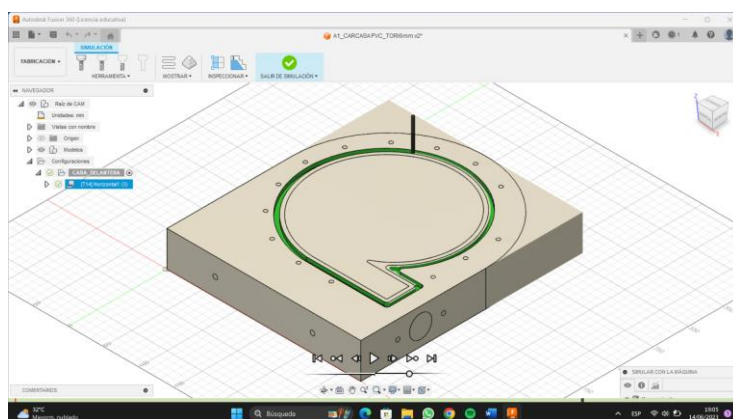


Ilustración 52: Simulación del mecanizado de la ranura para la junta tórica (Fusion 360)

La geometría de la espiral es una de las operaciones más complicadas debido a la profundidad y a la separación con el cilindro central. Para la profundidad, al principio, se le dio 35 milímetros, pero debido a las herramientas del taller se redujo a 17 milímetros. Para que la herramienta pase sin problema por toda la espiral, en la parte más estrecha con respecto al cilindro central se le ha dado una separación considerable para que no se rompa la herramienta.



Ilustración 53: Mecanizado de la espiral logarítmica en el control numérico

A la vez que se creó el programa para realizar la espiral también se añadieron el resto de operaciones de la parte delantera de la carcasa. En estas se incluyen los rebajes para el rodamiento delantero de diámetro exterior igual a 32 milímetros junto con una tapa de plástico

para que no se estropee el rodamiento con el paso del tiempo y el acoplamiento para colocar la nariz de PVC junto con sus 3 taladros.

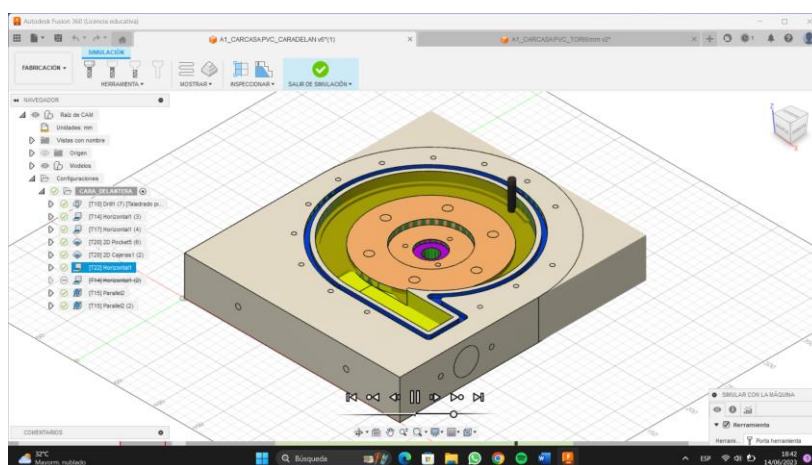


Ilustración 54: Simulación de la geometría de la espiral una vez hechos los rebajes para la nariz de PVC y el rodamiento (Fusion 360)

Tras realizar la espiral se hace en el lado derecho el agujero por el cual entra el agua. En dicho agujero se acopla un tubo y un codo por el cual entra el agua. Antes de realizar dicho agujero se crea una rampa en la espiral para que el agua entre sin dar problemas de rozamientos y pérdidas.

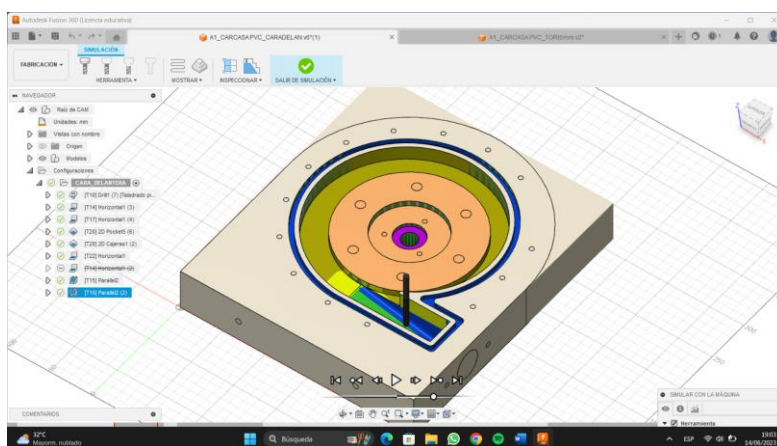


Ilustración 55: Simulación para el mecanizado de la rampa por la cual entra el agua a la espiral (Fusion 360)

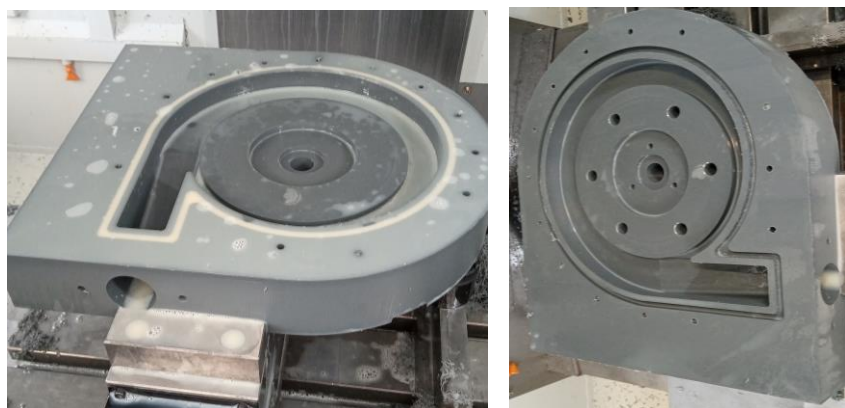


Ilustración 56: Carcasa trasera mecanizada

Con respecto a la carcasa delantera de metacrilato, la geometría se llevó a cabo en la máquina de corte por agua en el taller mecánico de la universidad de Jaén. En este caso se realizaron las operaciones de contorno y el agujero central por el que se unirá un tubo de aspiración para la salida del agua. Una vez terminadas estas operaciones, se llevó la pieza de espesor 18,2 milímetros a la máquina de control numérico y se mecanizaron los taladros con su doble fondo para unir ambas carcasas y las ranuras en el agujero central para colocar dos juntas tóricas. Se han colocado 2 juntas tóricas para prevenir que, la presión del agua a la salida, haya pérdidas de agua e intente que el tubo salga de su posición correspondiente.

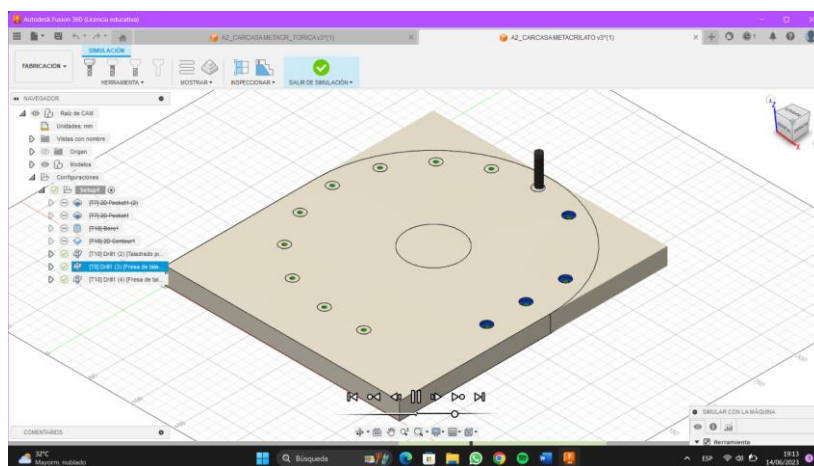


Ilustración 57: Simulación del mecanizado de los taladros y el agujero central (Fusion 360)

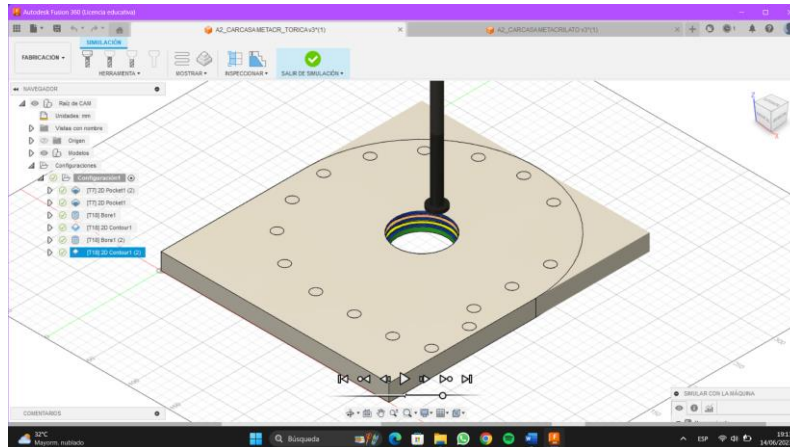


Ilustración 58: Simulación del mecanizado para colocar las dos juntas tóricas (Fusion 360)

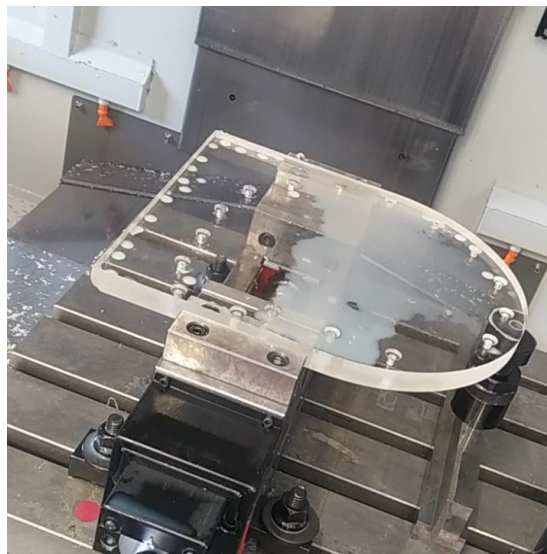


Ilustración 59: Carcasa delantera colocada en la máquina de control numérico para mecanizar el agujero central y las ranuras para las juntas tóricas

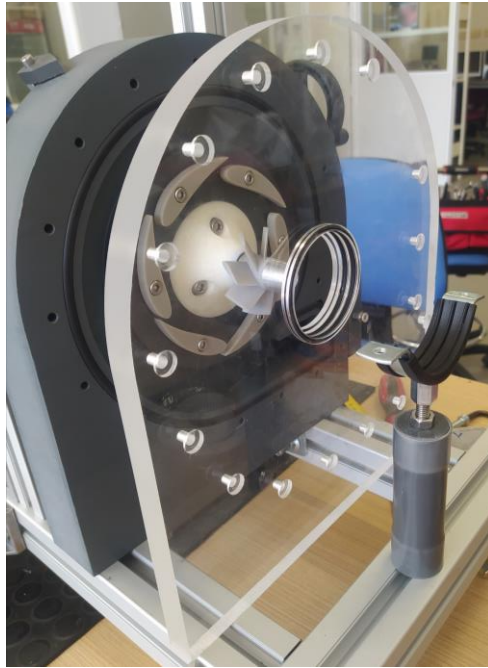


Ilustración 60: Carcasa de metacrilato mecanizada por completo con las 2 juntas tóricas

7.3 Polea de freno

Para la mecanización de la polea se ha utilizado una barra cilíndrica de aluminio con las dimensiones necesarias para llevar a cabo todo el mecanizado de la polea. Primero se le ha dado la geometría mediante la máquina de control numérico y posteriormente se ha cortado en la sierra de cinta. Tras realizar estas operaciones se llevan a cabo las operaciones de agujereado y mecanizado del interior. Para mecanizar el interior de la polea y el orificio para anclar la polea al eje principal se han llevado a cabo operaciones de mecanizado con mucha precisión mediante la máquina de control numérico para hacer que no existan excentricidades a la hora de que el eje empiece a girar debido a la fuerza del agua



Ilustración 61: Mecanizado de la Polea de Freno

7.4 Álabes directriz

Para conseguir el álabes distribuidor se ha llevado a cabo el mismo proceso realizado para la hélice. Primero se pasó el archivo CAD a la impresora de resina, este con una extensión pwm, y se imprimió directamente tal y como se diseñó el perfil NACA 9520 mediante Inventor.

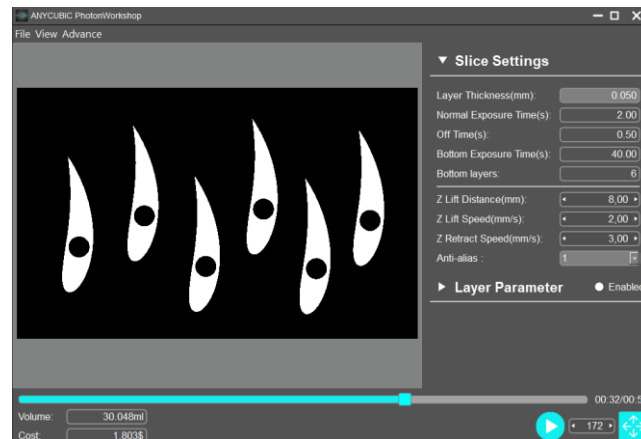


Ilustración 62: Álabes en el software ANYCUBIC PhotonWorkshop para ser impresos en 3D



Ilustración 63: Álabes directriz fabricado



Ilustración 64: Proceso de curación de los álabes y otras piezas

Tras realizar algunas pruebas algunos de los álabes rompieron por el agujero central. Esto es debido a la fuerza de apriete que se le ha dado y a la presión a la que entra el agua. En la siguiente figura se puede observar perfectamente la zona por la que rompieron, esta ha sido señalada mediante un círculo rojo.



Ilustración 65: Álabes tras la rotura

7.5 Elementos del distribuidor

Para la fabricación de todas las piezas del distribuidor se ha usado la máquina de corte por agua que se encuentra en el taller de la universidad de Jaén. Para este caso se han utilizado placas de aluminio de espesor de 3 milímetros. Para poder cortar las piezas tal cual se diseñaron se utilizan los archivos CAD exportados a DFX directamente desde Inventor. En estos archivos se añadieron las geometrías de todas las piezas, como, por ejemplo, el anillo distribuidor y la chapa protectora del rodamiento entre otras. Mediante el uso de esta máquina se ha podido realizar un corte limpio, sencillo y sin imperfecciones.

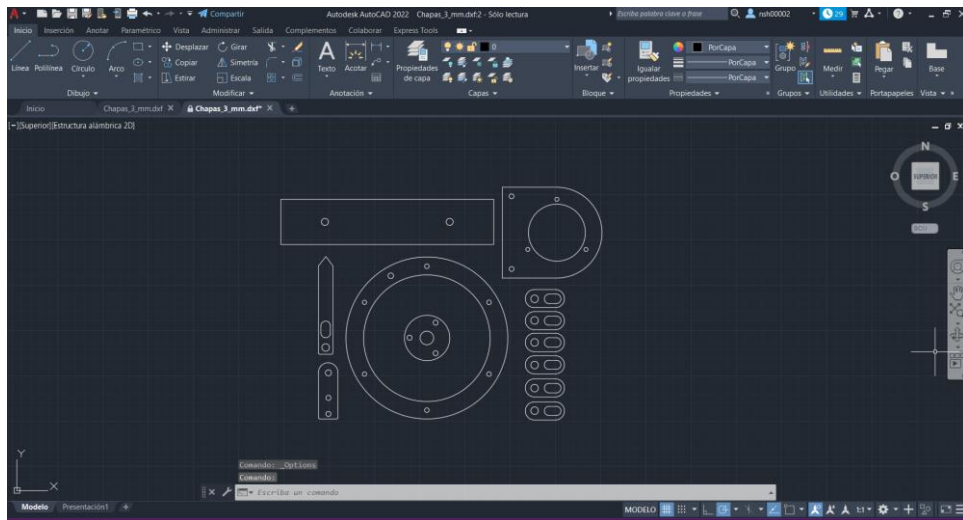


Ilustración 66: Chapas de aluminio de 3 milímetros para ser cortadas en la máquina de corte por agua



Ilustración 68: Chapa de unión entre la carcasa y el distribuidor



Ilustración 67: Chapa protectora del rodamiento trasero



Ilustración 69: Chapa indicadora, chapa de base sin plegar y chapa de sujeción del manómetro



Ilustración 70: Anillo distribuidor y varilla roscada del sistema de giro

Tal y como se puede ver en la imagen anterior, en la que se puede observar el anillo distribuidor, se cometió un error al no hacer roscas en los agujeros con los que se iba a unir con las chapas de giro. Por este motivo se mecanizaron unos pequeños casquillos que se insertaron a presión en dichos orificios.

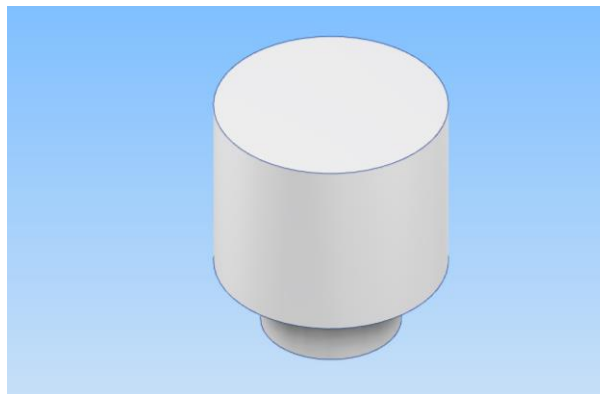


Ilustración 71: Casquillo insertado en el anillo distribuidor



Ilustración 72: Casquillo colocado en el anillo distribuidor

Para sujetar el anillo y evitar que no esté en su posición correcta se han creado 3 pequeñas piezas de resina, mediante la impresora de resina, para hacer tope y darle un poco de movimiento evitando rozamientos.

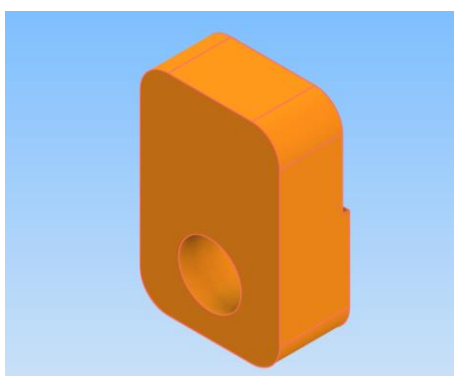


Ilustración 73: Diseño del tope para el anillo distribuidor

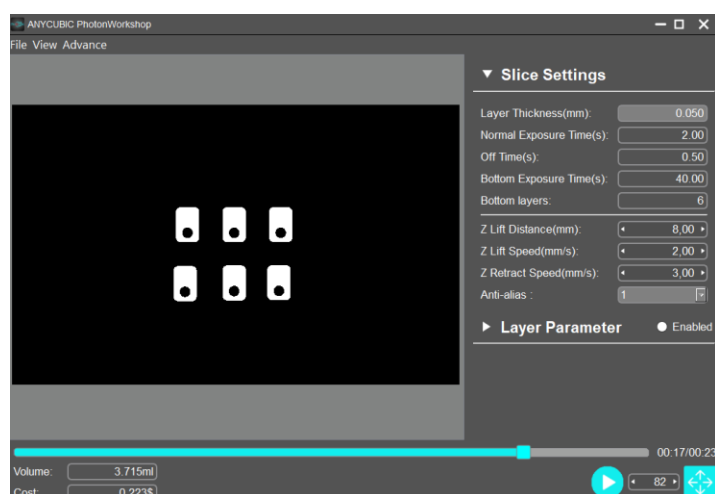


Ilustración 74: Topes en el software ANYCUBIC PhotonWorkshop para ser impresos en 3D



Ilustración 75: Tope del anillo distribuidor. Fabricado y unido a la carcasa

Al realizar el montaje, se pudo comprobar, tal y como se ha mencionado anteriormente, que el sistema de giro diseñado no iba a realizar ningún movimiento ya que el tornillo que sujeta los ejes de los álabes con las chapas distribuidoras no hacía que el sistema realizase un movimiento solidario de giro.



Ilustración 76: Álabes y chapa de unión entre el anillo distribuidor y el eje del álabes

Por este motivo se ha tenido que rediseñar este sistema. Para las nuevas chapas de giro se ha cogido aluminio de espesor de 8 milímetros para poder realizarle un taladro de métrica 4 en el cual se colocará prisionero. En este caso también se hará dicho taladro en el eje del álabes para así conseguir un movimiento solidario al sistema de giro diseñado por segunda vez.

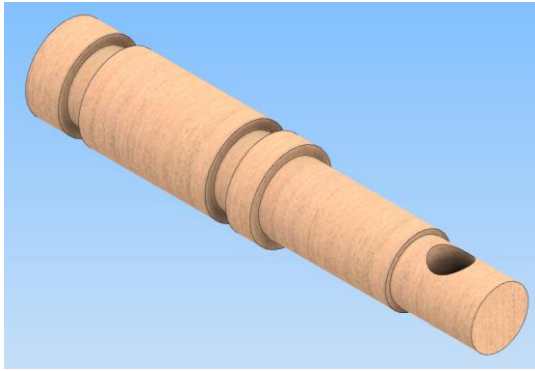


Ilustración 78: Nuevo diseño del eje del álabe directriz

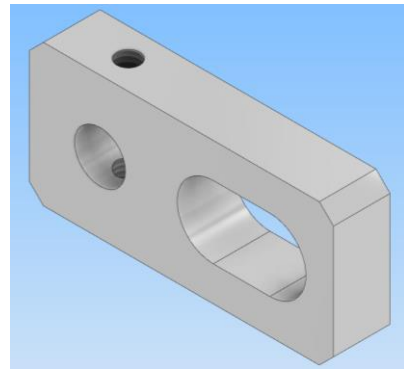


Ilustración 77: Nuevo diseño de la chapa distribuidora

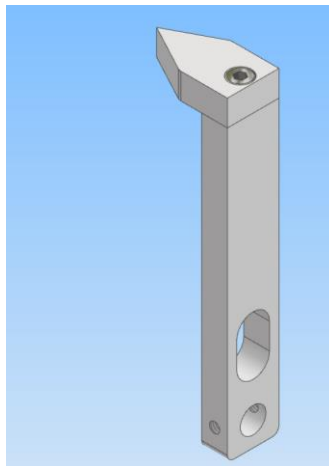


Ilustración 79: Nuevo indicador

Para el nuevo indicador se han creado dos piezas diferentes de 8 milímetros de espesor. La parte inferior se ha creado mediante una chapa de aluminio mientras que, por falta de material, la cabeza se ha creado de plástico. Ambas piezas han sido mecanizadas en la máquina de control numérico.



Ilustración 80: Nuevo diseño de la chapa distribuidora



Ilustración 81: Eje nuevo realizado en el torno

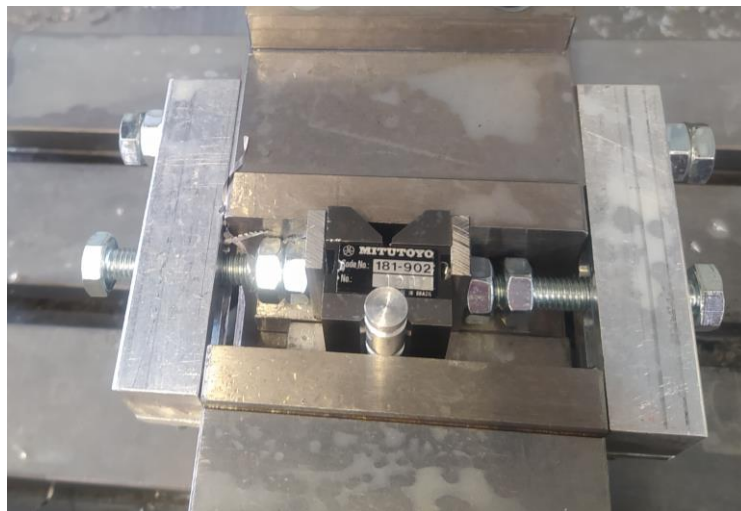


Ilustración 82: Eje nuevo colocado en la máquina de control numérico para la realización del taladro delantero

Para evitar tener que quitar la carcasa de metacrilato y poder mover los ejes de los álabes se ha decidido hacer una pequeña ranura en la parte trasera de estos con la ayuda de una sierra manual. De esta manera si en algún momento el álabe no gira solo se debe de aflojar el tornillo que lo une a la chapa del sistema de giro y hacer que el eje gire con la ayuda de un destornillador.

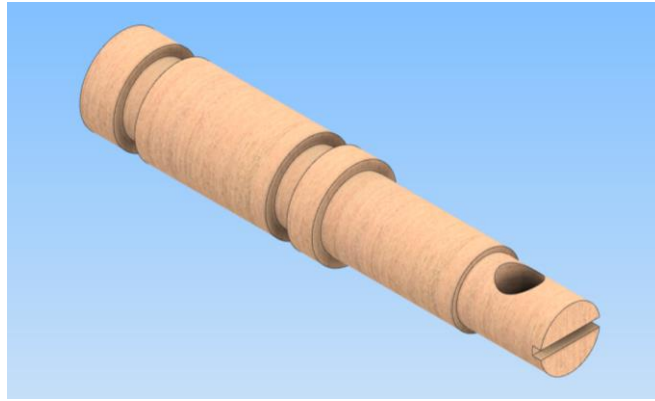


Ilustración 83: Modificación de la parte trasera del eje



Ilustración 84: Ranura para poder girar los álabes sin tener que desarmar la carcasa de metacrilato

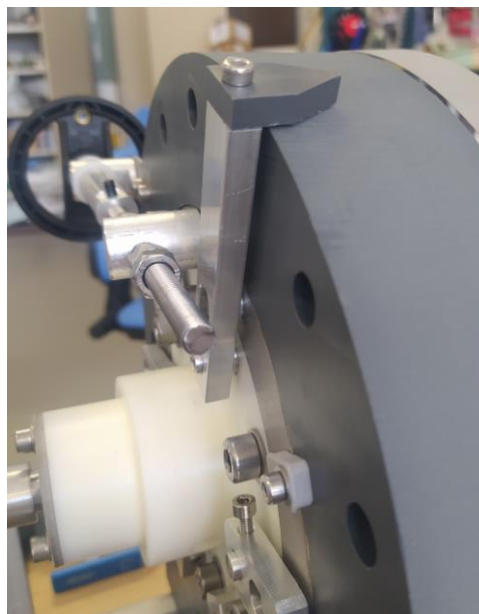


Ilustración 85: Nueva chapa indicadora

Con este nuevo diseño si se realiza un movimiento solitario entre los álabes y el eje distribuidor dejando así que los álabes abran y cierren sin crear ningún tipo de rozamiento.

7.6 Nariz delantera y Acoplamiento de la polea a la carcasa

Ambos elementos son del mismo material, PVC blanco. Para ambos casos se ha tomado como referencia los elementos de la turbina original. Sin embargo, al acoplamiento de la polea a la carcasa se le han creado dos orificios pasantes por si en algún momento el agua entra por el eje pueda ser expulsada sin tener que desarmarla para quitar dicha agua evitando la degradación de la mayor parte de las piezas posible. Después de hacerle el desahogo se crearon rozamientos internos con el eje principal y se tuvo que limar para quitar la rababa que se creó eliminando así cualquier rozamiento.

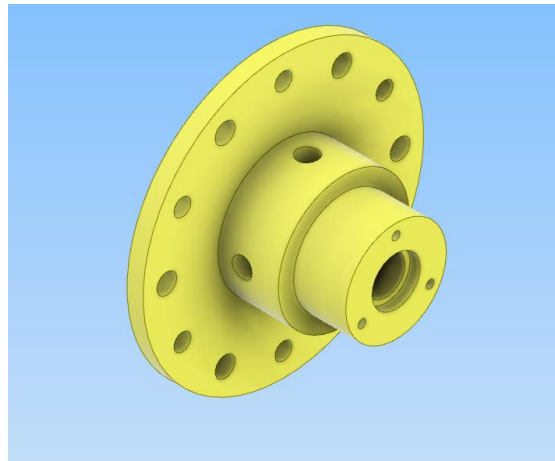


Ilustración 86: Diseño del acoplamiento de la polea a la carcasa



Ilustración 87: Acoplamiento de la polea a la carcasa mecanizado

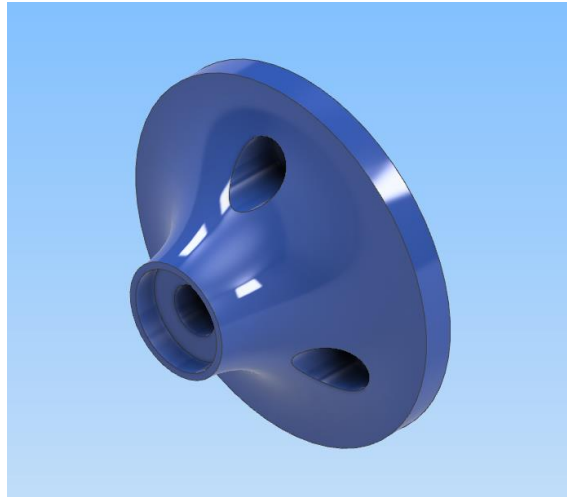


Ilustración 88: Diseño de la nariz de PVC

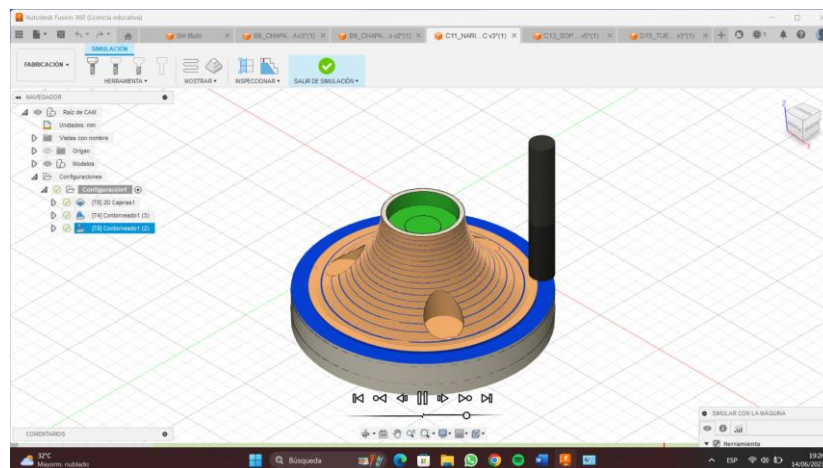


Ilustración 89: Simulación del mecanizado de la nariz de PVC (Fusion 360)

Para realizar la nariz de PVC se ha tenido que mecanizar un soporte para que se pudiera agarrar bien la pieza y no se moviese para poder mecanizar correctamente la pieza.

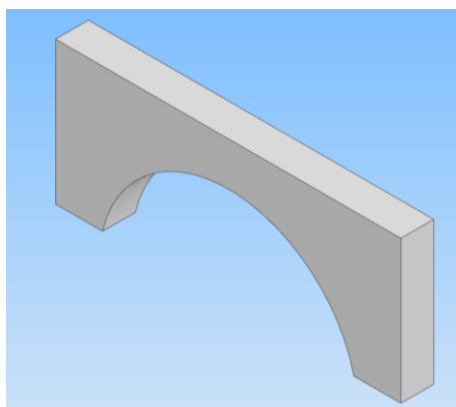


Ilustración 90: Útil para sujetar la nariz de PVC en la máquina de control numérico



Ilustración 91: Nariz de PVC mecanizada con el retén que le corresponde

Con la nariz delantera sí que se han creado problemas de rozamientos y de pérdidas debido al apriete de los tornillos. Para solucionar esto se ha decidido, tras realizar diferentes pruebas para ver cuál era el problema, poner una junta tórica de 4 milímetros. De esta manera nos hemos asegurado de que no se crean rozamientos al apretar los tornillos y que exista mucha más estanqueidad de la que proporciona solo el retén.

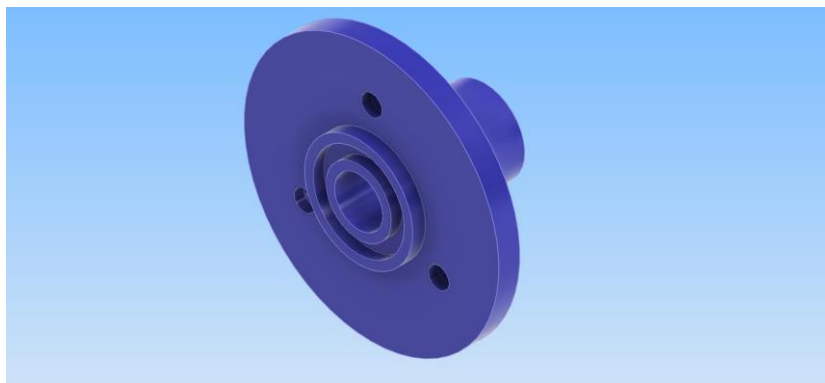


Ilustración 92: Vista trasera de la nariz con la ranura para la junta tórica

7.7 Eje principal y eje distribuidor

Ambos ejes se han creado en base a los originales. El eje principal se ha definido una vez que ya estaban diseñados el resto de componentes. Sin embargo, el eje distribuidor se ha creado exactamente igual que el de la turbina Francis situada en el laboratorio de mecánica de fluidos ya que esta tiene un sistema de freno manual.

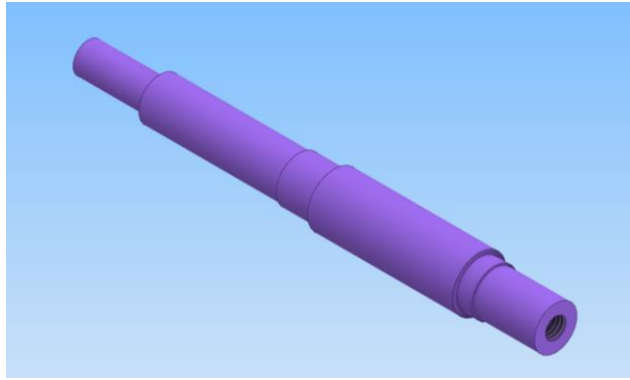


Ilustración 93: Diseño del eje principal



Ilustración 94: Eje principal mecanizado con un rodamiento intermedio de diámetro exterior igual a 32 milímetros



Ilustración 95: Diseño del eje distribuidor



Ilustración 96: Eje distribuidor mecanizado

Como se puede comprobar en la ilustración anterior, el eje distribuidor dio algunos problemas con respecto al movimiento ya que llegaba a un punto en el que por mucho que se girase el volante de giro no giraba la varilla roscada. Para solucionar este problema se decidió

poner un prisionero pequeño mediante el cual se hizo que el movimiento de ambas piezas del eje se hiciera solidario. Una vez que se solucionó este problema y se ensambló el sistema de giro se han puesto unos topes con dos tuercas de métrica 8 para hacer que los álabes no se abren y se cierran más de lo que se ha estipulado en el ensamblaje en 3 dimensiones realizado con Inventor 2022.

7.8 Piezas Externas

Tras realizar todas las piezas de ensamblaje para la turbina y comprobar el rango de apertura de los álabes directrices se han creado varias piezas más mediante le impresión por hilo y el corte láser.

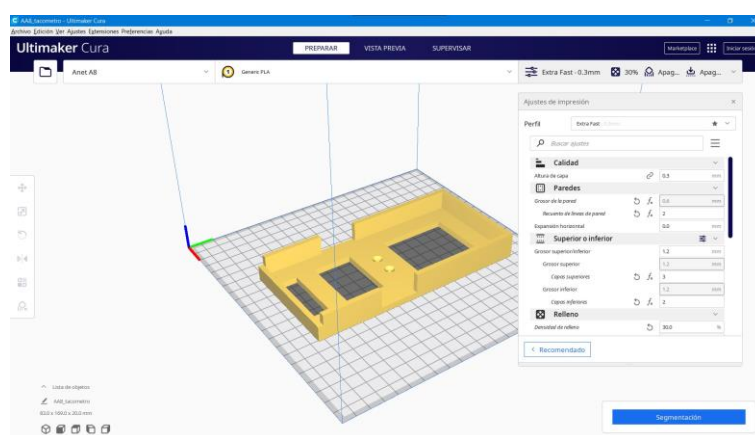


Ilustración 97: Soporte para el tacómetro hecho mediante impresión por hilo

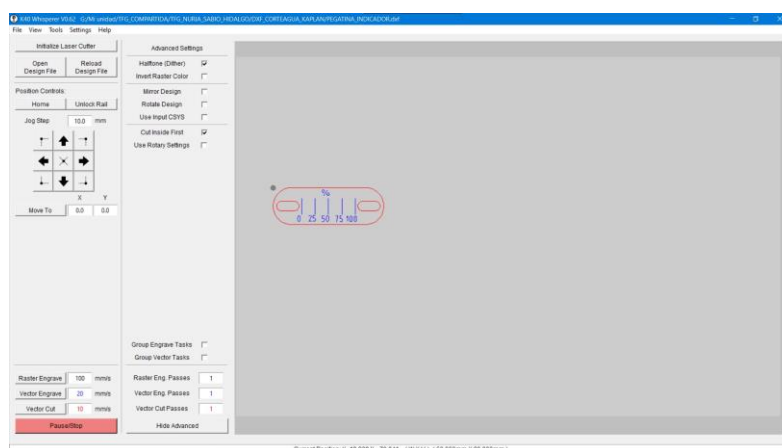


Ilustración 98: Chapa indicadora de apertura de los álabes directrices cortada y grabada mediante el corte láser

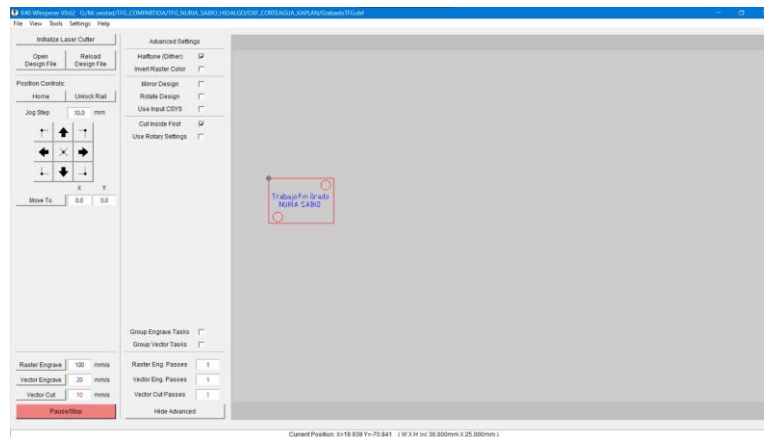


Ilustración 99: Chapa grabada mediante el corte láser

Tras crear ambas piezas mediante el corte láser se pudo comprobar que la elasticidad del metacrilato con el que se han realizado ambas piezas era nula y por lo tanto al intentar colocar la chapa indicadora de apertura de los álabes se rompió.

7.9 Ensamblaje completo

Para poder llevar a cabo el ensamblaje de todo el conjunto se ha de montar primero el bastidor. Este está compuesto por 3 perfiles Bosch de 35 milímetros, 4 perfiles Bosch de 45 milímetros, 10 escuadras, 2 de ellas para situar la turbina en la posición deseada, para tornillos de métrica 8 para unir perfiles y 4 patas para poder regular la altura a la que debe estar posicionada la turbina.



Ilustración 100: Montaje del bastidor

Una vez ensamblado el bastidor se procede al ensamblaje de la turbina y su colocación con respecto a la posición que debe de tener.



Ilustración 101: Turbina Kaplan sobre el banco de ensayo

Una vez hecho todo el ensamblaje y ver que, tras algunos ensayos, no se obtenía el caudal necesario se decidió comprobar si con la sujeción del codo de entrada de flujo de la turbina Kaplan original entraba el caudal requerido. Tras ver que con dicha pieza si entraba el caudal se ha decidido modificar esta pieza haciendo una adaptación a un tubo de diámetro 40 milímetros.

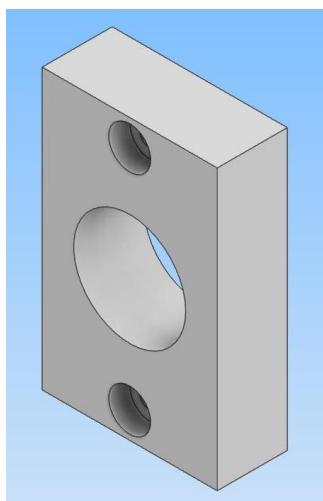


Ilustración 103: Pieza para la sujeción del codo de entrada para un tubo de 32 milímetros

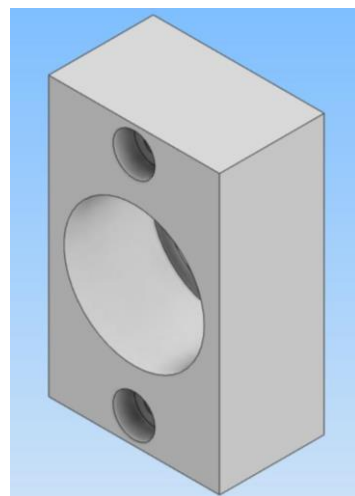


Ilustración 102: Pieza para la sujeción del codo de entrada para un tubo de 40 milímetros

8 Caracterización

Con la caracterización de la turbina se nos permite obtener diferentes curvas en función de la velocidad de giro. Dichas curvas son la de par mecánico, caudal, potencia útil o del eje, potencia hidráulica y rendimiento. Para conocer todas estas curvas se configura la apertura de los álabes con diferentes ángulos y con cada ángulo se experimentan diferentes caudales. De esta manera, con los datos proporcionados por la turbina se pueden obtener las curvas nombradas anteriormente. Los datos que se obtienen de la turbina son: caudal, velocidad de giro, presión y fuerza de frenado.

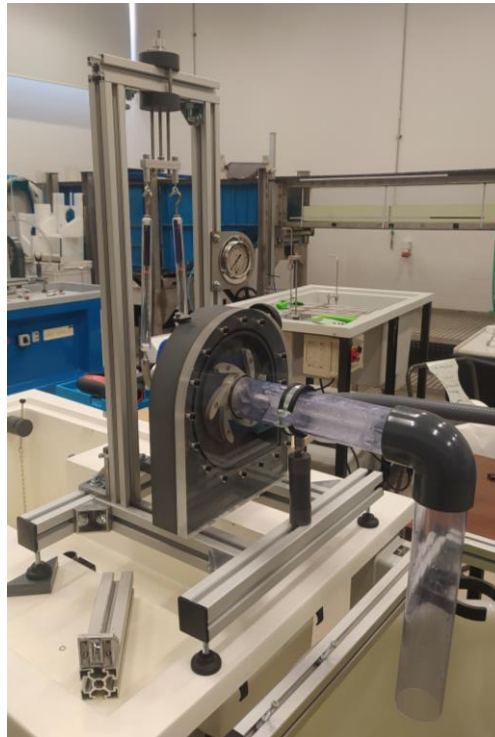


Ilustración 104: Turbina ensamblada al completo sobre el banco de ensayo

Una vez tomados todos los datos, se creará una hoja Excel mediante la cual se recogerán todos los datos y se calcularán la potencia útil, la potencia hidráulica y el rendimiento según las siguientes ecuaciones.

$$W_e = \Gamma \Omega \quad (Ec. 25)$$

$$W_h = \rho g Q H_n \quad (Ec. 26)$$

$$\eta = \frac{W_e}{W_h} * 100 \quad (Ec. 27)$$

Tras arreglar una incidencia que se tuvo con la máquina de mecanizado mediante control numérico, se terminaron todas las piezas necesarias y se procedieron a realizar los ensayos. Al comenzar a hacer ensayos se pudo comprobar que con los bancos hidráulicos que

hay en el laboratorio de mecánica de fluidos no se llegaba a obtener el caudal, ya que este ha de ser mucho más alto con respecto al resto de turbinas del laboratorio. Por lo tanto, se ha tenido que adaptar el banco de la turbina original a la turbina Kaplan diseñada dando así el caudal que se necesita para poder realizar la caracterización.

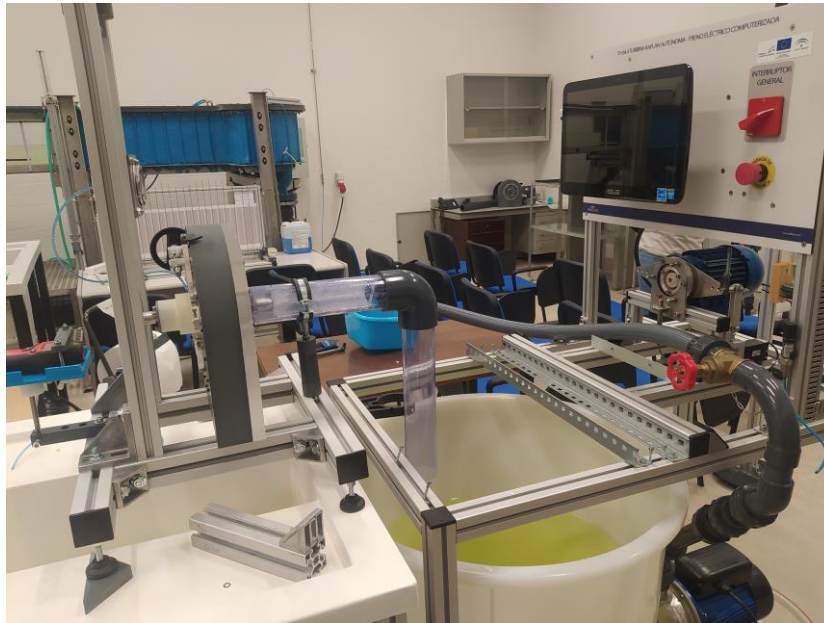


Ilustración 105: Adaptación de ambos bancos de ensayo

8.1 Incidencia del rotámetro

Tras realizar varios ensayos de caracterización se pudo observar que el rotámetro no marcaba correctamente el caudal que entraba a la turbina. Por este motivo se ha decidido hacer una cubicación del depósito y ver si es cierta o no la medición del caudal.



Ilustración 106: Caudalímetro utilizado

Con el caudalímetro mostrado en la ilustración anterior se pueden realizar medidas de caudal dentro de un rango de entre 10 l/min y 200 l/min lo que corresponde a un rango de entre $0,6 \text{ m}^3/\text{h}$ a $12 \text{ m}^3/\text{h}$. Tras realizar la conversión de unidades se pudo comprobar que no media correctamente el caudal que entraba. Por ello se ha realizado una cubicación del depósito.

Para poder cubicar correctamente el depósito se han utilizado garrafas de 25 l y se ha ido rellenando el depósito y marcando cuantos litros contiene tras verter una garrafa tras otra.

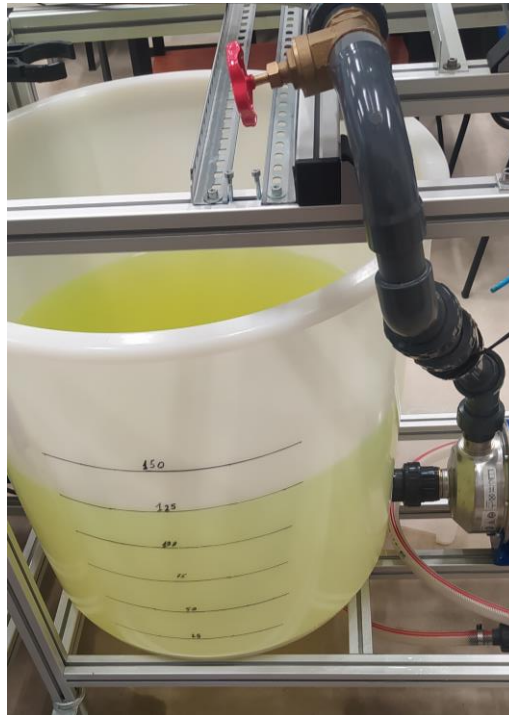


Ilustración 107: Depósito cubicado

De esta manera, una vez obtenido el factor de corrección del rotámetro se aplica a los resultados obtenidos en los ensayos. A continuación, se expondrán la tabla recopilatoria de los datos de la caracterización con dicha corrección aplicada.

Q (m³/h)	t (s)	t. Promedio	Δ(V) (L)	Q (m³/h)	Q Promedio	Coef. Corrector	c.c. Promedio								
9	15,88	16,19	25	5,668	5,563	0,618	0,660								
	15,93		25	5,650											
	16,75		25	5,373											
10	13,31	13,51	25	6,762	6,687	0,669		0,660							
	14,58		25	6,173											
	12,63		25	7,126											
12	10,31	10,57	25	8,729	8,515	0,710			0,660						
	10,80		25	8,333											
	10,61		25	8,483											
14	9,29	9,32	25	9,688	9,657	0,690				0,660					
	9,33		25	9,646											
	9,34		25	9,636											
16	7,49	8,19	25	12,016	11,036	0,690					0,660				
	8,61		25	10,453											
	8,46		25	10,638											
18	7,37	7,46	25	12,212	12,060	0,670						0,660			
	7,56		25	11,905											
	7,46		25	12,064											
20	6,68	6,77	25	13,473	13,296	0,665							0,660		
	6,73		25	13,373											
	6,90		25	13,043											
7	22,03	22,59	25	4,085	3,985	0,569								0,660	
	22,74		25	3,958											
	23,00		25	3,913											
5	26,60	27,27	25	3,383	3,304	0,661									0,660
	28,51		25	3,157											
	26,70		25	3,371											

Tabla 3: Obtención del factor de corrección

8.2 Resultados obtenidos de la caracterización de la turbina Kaplan

Para poder caracterizar la turbina Kaplan correctamente se irán tomando datos con diferentes aperturas de los álabes que se expondrán seguidamente.

8.2.1 Hélice con ángulo de ataque a 45°

8.2.1.1 Apertura del 100% del distribuidor

Q (m³/h)	Ω (rpm)	F1 (N)	F2 (N)	P (bar)	Hn (mca)	Ω (rad/s)	Γ (Nm)	Q (m³/s)	Q corregido (m³/s)	We (W)	Wh (W)	η
22,1	2530	0	0	0,48	4,896	264,941	0	0,0061389	0,0040522	0,000	194,629	0,000
22,4	2240	1,8	0,6	0,48	4,896	234,572	0,036	0,0062222	0,0041073	8,445	197,271	4,281
22,3	2000	3	1	0,48	4,896	209,440	0,06	0,0061944	0,0040889	12,566	196,390	6,399
22,2	1740	4,4	1,2	0,48	4,896	182,212	0,096	0,0061667	0,0040706	17,492	195,509	8,947
22,1	1560	5,4	1	0,48	4,896	163,363	0,132	0,0061389	0,0040522	21,564	194,629	11,080
22	1420	6,6	1,1	0,48	4,896	148,702	0,165	0,0061111	0,0040339	24,536	193,748	12,664
22	1330	6,4	1,2	0,48	4,896	139,277	0,156	0,0061111	0,0040339	21,727	193,748	11,214
22	1190	8,4	1,3	0,48	4,896	124,617	0,213	0,0061111	0,0040339	26,543	193,748	13,700
21,8	1180	9,2	1,6	0,52	5,304	123,569	0,228	0,0060556	0,0039972	28,174	207,985	13,546
21,6	1020	11	2,2	0,52	5,304	106,814	0,264	0,0060000	0,0039606	28,199	206,077	13,684
21,6	930	12,1	2,4	0,52	5,304	97,389	0,291	0,0060000	0,0039606	28,340	206,077	13,752
21,7	790	12,4	2,6	0,52	5,304	82,729	0,294	0,0060278	0,0039789	24,322	207,031	11,748
21,5	710	14,3	2,8	0,52	5,304	74,351	0,345	0,0059722	0,0039422	25,651	205,123	12,505
21,5	580	15,2	3,1	0,52	5,304	60,737	0,363	0,0059722	0,0039422	22,048	205,123	10,749
21,5	460	16,3	3,3	0,52	5,304	48,171	0,39	0,0059722	0,0039422	18,787	205,123	9,159
21,3	360	17,2	2,5	0,52	5,304	37,699	0,441	0,0059167	0,0039056	16,625	203,215	8,181
21,3	260	17,2	2,4	0,52	5,304	27,227	0,444	0,0059167	0,0039056	12,089	203,215	5,949

Tabla 4: Caracterización con un caudal fijo de 22 m³/h

Q (m³/h)	Ω (rpm)	F1 (N)	F2 (N)	P (bar)	Hn (mca)	Ω (rad/s)	Γ (Nm)	Q (m³/s)	Q corregido (m³/s)	We (W)	Wh (W)	η
15,4	1550	0	0	0,22	2,244	162,316	0	0,0042778	0,0028237	0,000	62,161	0,000
15,1	1400	1	0,1	0,22	2,244	146,608	0,027	0,0041944	0,0027687	3,958	60,950	6,495
15,2	1260	1,4	0,2	0,22	2,244	131,947	0,036	0,0042222	0,0027871	4,750	61,353	7,742
15,2	1100	2,6	0,4	0,22	2,244	115,192	0,066	0,0042222	0,0027871	7,603	61,353	12,392
15,1	925	3,6	0,6	0,23	2,346	96,866	0,09	0,0041944	0,0027687	8,718	63,720	13,682
15,3	820	4,2	0,8	0,23	2,346	85,870	0,102	0,0042500	0,0028054	8,759	64,564	13,566
15,2	690	5,1	1	0,24	2,448	72,257	0,123	0,0042222	0,0027871	8,888	66,931	13,279
15	615	5,9	1,2	0,24	2,448	64,403	0,141	0,0041667	0,0027504	9,081	66,050	13,748
15,2	480	6,5	1,3	0,24	2,448	50,265	0,156	0,0042222	0,0027871	7,841	66,931	11,716
15,2	420	7,4	1,6	0,24	2,448	43,982	0,174	0,0042222	0,0027871	7,653	66,931	11,434
15	300	8,1	1,6	0,24	2,448	31,416	0,195	0,0041667	0,0027504	6,126	66,050	9,275
15	220	8,7	1,8	0,25	2,55	23,038	0,207	0,0041667	0,0027504	4,769	68,803	6,931

Tabla 5: Caracterización con un caudal fijo de 15,5 m³/h

Q (m³/h)	Ω (rpm)	F1 (N)	F2 (N)	P (bar)	Hn (mca)	Ω (rad/s)	Γ (Nm)	Q (m³/s)	Q corregido (m³/s)	We (W)	Wh (W)	η
12,1	1080	0	0	0,15	1,53	113,097	0	0,0033611	0,0022187	0,000	33,300	0,000
12,3	915	0,7	0,1	0,16	1,632	95,819	0,018	0,0034167	0,0022553	1,725	36,108	4,777
12	810	1,3	0,3	0,16	1,632	84,823	0,03	0,0033333	0,0022003	2,545	35,227	7,224
12,2	760	1,7	0,4	0,16	1,632	79,587	0,039	0,0033889	0,0022370	3,104	35,814	8,667
12	650	2,1	0,5	0,16	1,632	68,068	0,048	0,0033333	0,0022003	3,267	35,227	9,275
11,9	515	2,5	0,6	0,16	1,632	53,931	0,057	0,0033056	0,0021820	3,074	34,933	8,800
12	480	2,9	0,7	0,17	1,734	50,265	0,066	0,0033333	0,0022003	3,318	37,429	8,864
12,1	380	3,4	0,8	0,17	1,734	39,794	0,078	0,0033611	0,0022187	3,104	37,740	8,224
11,9	220	3,8	0,9	0,18	1,836	23,038	0,087	0,0033056	0,0021820	2,004	39,300	5,100

Tabla 6: Caracterización con un caudal fijo de 12,2 m³/h

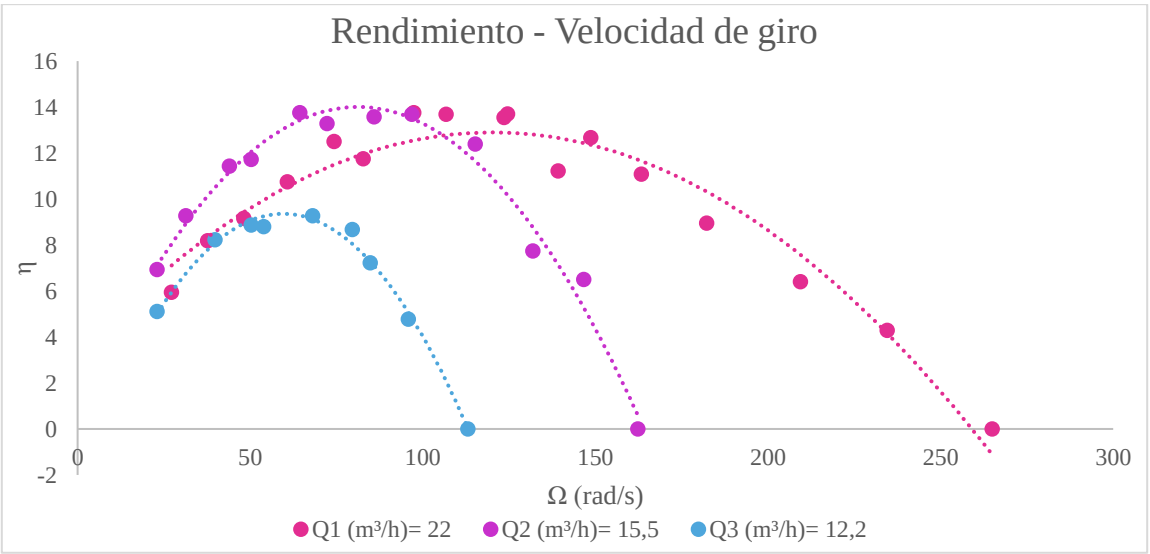


Gráfico 4: Rendimiento frente a Velocidad de giro

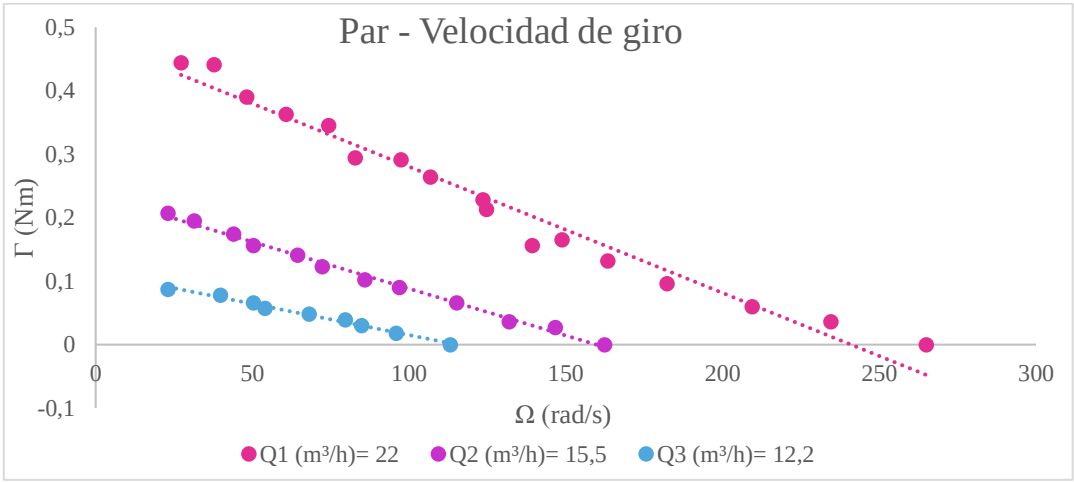


Gráfico 5: Par frente a Velocidad de giro

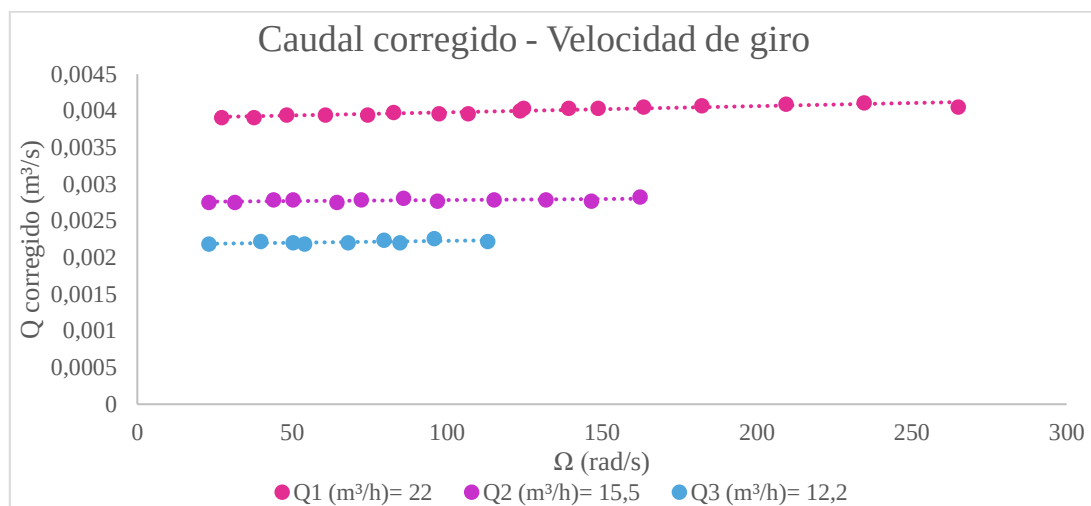


Gráfico 6: Caudal frente a Velocidad de giro

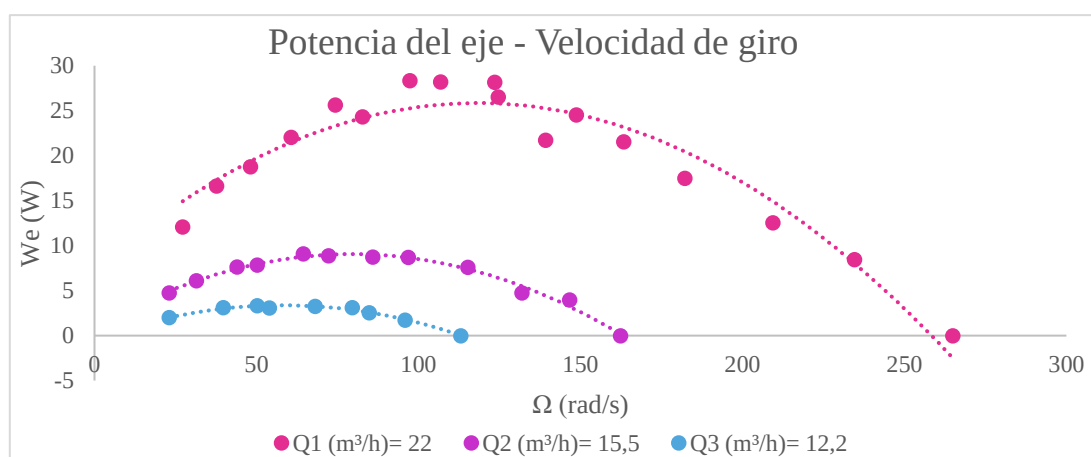


Gráfico 7: Potencia del eje frente a Velocidad de giro

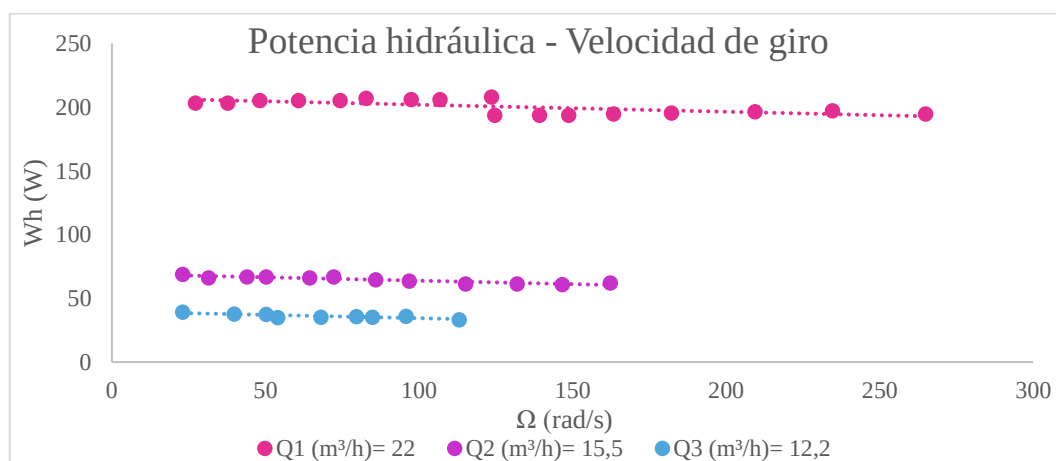


Gráfico 8: Potencia hidráulica frente a Velocidad de giro

8.2.1.2 Apertura del 50% del distribuidor

Q (m ³ /h)	Ω (rpm)	F1 (N)	F2 (N)	P (bar)	Hn (mca)	Ω (rad/s)	Γ (Nm)	Q (m ³ /s)	Q corregido (m ³ /s)	We (W)	Wh (W)	η
9,9	1150	0	0	0,14	1,428	120,428	0	0,0027500	0,0018153	0,000	25,429	0,000
9,8	1100	0,6	0,2	0,15	1,53	115,192	0,012	0,0027222	0,0017969	1,382	26,971	5,125
10,2	1000	1	0,6	0,15	1,53	104,720	0,012	0,0028333	0,0018703	1,257	28,071	4,477
10	950	1,6	0,6	0,15	1,53	99,484	0,03	0,0027778	0,0018336	2,985	27,521	10,844
9,9	850	1,8	0,6	0,15	1,53	89,012	0,036	0,0027500	0,0018153	3,204	27,246	11,761
10,2	700	2,4	0,6	0,16	1,632	73,304	0,054	0,0028333	0,0018703	3,958	29,943	13,220
9,9	600	1,7	0,4	0,16	1,632	62,832	0,039	0,0027500	0,0018153	2,450	29,062	8,432
9,8	500	2	0,6	0,16	1,632	52,360	0,042	0,0027222	0,0017969	2,199	28,769	7,644
9,7	400	2,4	0,7	0,16	1,632	41,888	0,051	0,0026944	0,0017786	2,136	28,475	7,502
10	315	2,8	0,6	0,16	1,632	32,987	0,066	0,0027778	0,0018336	2,177	29,356	7,416
10,1	280	2,8	0,6	0,16	1,632	29,322	0,066	0,0028056	0,0018519	1,935	29,649	6,527

Tabla 7: Caracterización con un caudal fijo de 10 m³/h

Q (m ³ /h)	Ω (rpm)	F1 (N)	F2 (N)	P (bar)	Hn (mca)	Ω (rad/s)	Γ (Nm)	Q (m ³ /s)	Q corregido (m ³ /s)	We (W)	Wh (W)	η
15,4	2000	0	0	0,35	3,57	209,440	0	0,0042778	0,0028237	0,000	98,892	0,000
15,4	1800	0,5	0,1	0,36	3,672	188,496	0,012	0,0042778	0,0028237	2,262	101,718	2,224
15,4	1700	1	0,2	0,34	3,468	178,024	0,024	0,0042778	0,0028237	4,273	96,067	4,448
15,3	1660	1,7	0,4	0,35	3,57	173,835	0,039	0,0042500	0,0028054	6,780	98,250	6,900
15,5	1600	2,4	0,5	0,34	3,468	167,552	0,057	0,0043056	0,0028421	9,550	96,690	9,877
15,6	1540	2,5	0,6	0,35	3,57	161,268	0,057	0,0043333	0,0028604	9,192	100,176	9,176
15,6	1430	3	0,7	0,35	3,57	149,749	0,069	0,0043333	0,0028604	10,333	100,176	10,314
15,5	1400	3,6	0,8	0,34	3,468	146,608	0,084	0,0043056	0,0028421	12,315	96,690	12,737
15,3	1330	3,7	1	0,34	3,468	139,277	0,081	0,0042500	0,0028054	11,281	95,443	11,820
15,3	1305	4,4	1	0,36	3,672	136,659	0,102	0,0042500	0,0028054	13,939	101,057	13,793
15,3	1260	4,8	1,2	0,38	3,876	131,947	0,108	0,0042500	0,0028054	14,250	106,671	13,359
15,3	1200	5,4	1,4	0,38	3,876	125,664	0,12	0,0042500	0,0028054	15,080	106,671	14,137
15,4	1145	6,2	1,6	0,38	3,876	119,904	0,138	0,0042778	0,0028237	16,547	107,369	15,411
14,9	1040	7	1,8	0,39	3,978	108,909	0,156	0,0041389	0,0027321	16,990	106,616	15,935
15,5	950	7,6	2	0,4	4,08	99,484	0,168	0,0043056	0,0028421	16,713	113,753	14,693
15	850	8,6	2,2	0,4	4,08	89,012	0,192	0,0041667	0,0027504	17,090	110,084	15,525
15,1	720	9,3	3,4	0,4	4,08	75,398	0,177	0,0041944	0,0027687	13,345	110,818	12,043
15,2	650	10	3	0,4	4,08	68,068	0,21	0,0042222	0,0027871	14,294	111,552	12,814
15	510	10,4	3	0,4	4,08	53,407	0,222	0,0041667	0,0027504	11,856	110,084	10,770
14,9	400	10,8	4	0,4	4,08	41,888	0,204	0,0041389	0,0027321	8,545	109,350	7,814
15	240	11,3	3	0,4	4,08	25,133	0,249	0,0041667	0,0027504	6,258	110,084	5,685

Tabla 8: Caracterización con un caudal fijo de 15 m³/h

Q (m³/h)	Ω (rpm)	F1 (N)	F2 (N)	P (bar)	Hn (mca)	Ω (rad/s)	Γ (Nm)	Q (m³/s)	Q corregido (m³/s)	We (W)	Wh (W)	η
18,9	3000	0	0	0,55	5,61	314,159	0	0,0052500	0,0034655	0,000	190,721	0,000
19	2600	0,6	0,1	0,55	5,61	272,271	0,015	0,0052778	0,0034838	4,084	191,730	2,130
18,9	2500	1,2	0,2	0,54	5,508	261,799	0,03	0,0052500	0,0034655	7,854	187,253	4,194
18,8	2360	1,7	0,3	0,55	5,61	247,139	0,042	0,0052222	0,0034472	10,380	189,711	5,471
19,1	2240	2,1	0,5	0,54	5,508	234,572	0,048	0,0053056	0,0035022	11,259	189,234	5,950
18,7	2130	2,9	0,8	0,54	5,508	223,053	0,063	0,0051944	0,0034288	14,052	185,271	7,585
18,9	2030	3,6	1	0,54	5,508	212,581	0,078	0,0052500	0,0034655	16,581	187,253	8,855
19	1930	4,2	1,1	0,55	5,61	202,109	0,093	0,0052778	0,0034838	18,796	191,730	9,803
18,7	1810	4,8	1,3	0,55	5,61	189,543	0,105	0,0051944	0,0034288	19,902	188,702	10,547
18,7	1740	5,3	1,4	0,55	5,61	182,212	0,117	0,0051944	0,0034288	21,319	188,702	11,298
18,9	1650	5,9	1,6	0,55	5,61	172,788	0,129	0,0052500	0,0034655	22,290	190,721	11,687
18,7	1500	6,4	1,8	0,55	5,61	157,080	0,138	0,0051944	0,0034288	21,677	188,702	11,487
19	1270	6,7	2	0,55	5,61	132,994	0,141	0,0052778	0,0034838	18,752	191,730	9,781
18,6	1160	7,2	2,2	0,55	5,61	121,475	0,15	0,0051667	0,0034105	18,221	187,693	9,708
18,6	1080	8	2,4	0,55	5,61	113,097	0,168	0,0051667	0,0034105	19,000	187,693	10,123
18,5	976	8,5	3,8	0,55	5,61	102,206	0,141	0,0051389	0,0033922	14,411	186,684	7,720

Tabla 9: Caracterización con un caudal fijo de 19 m³/h

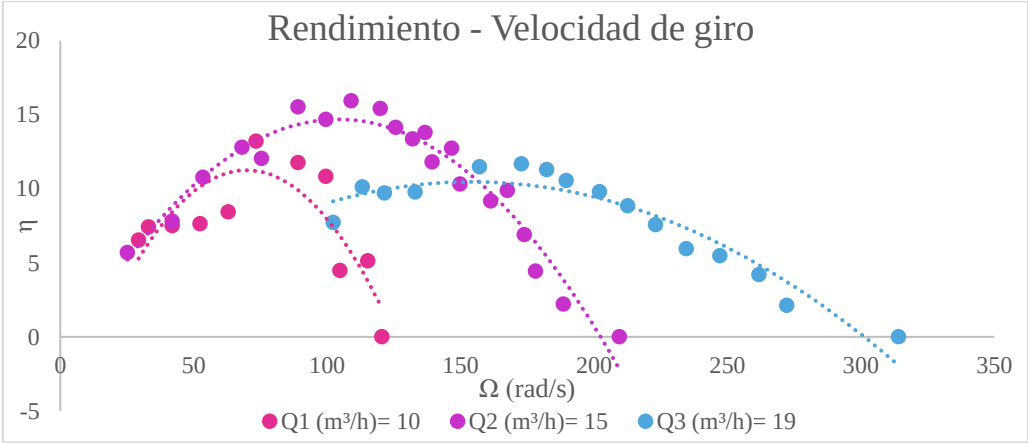


Gráfico 9: Rendimiento frente a Velocidad de giro

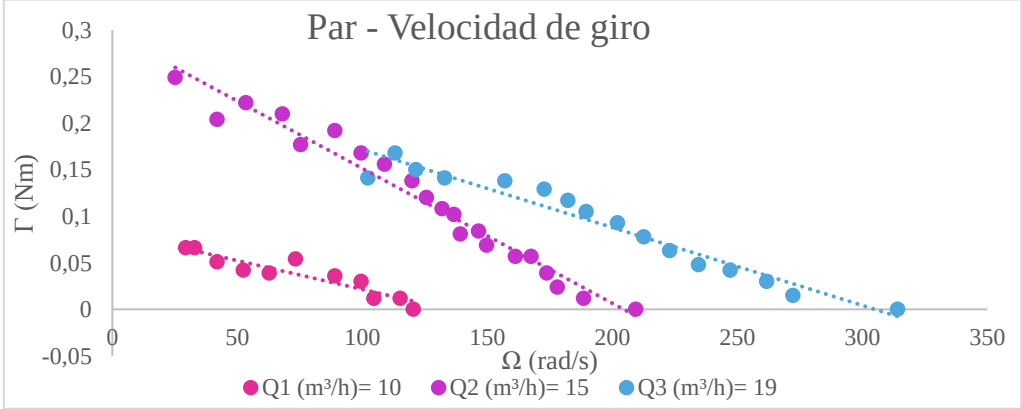


Gráfico 10: Par frente a Velocidad de giro

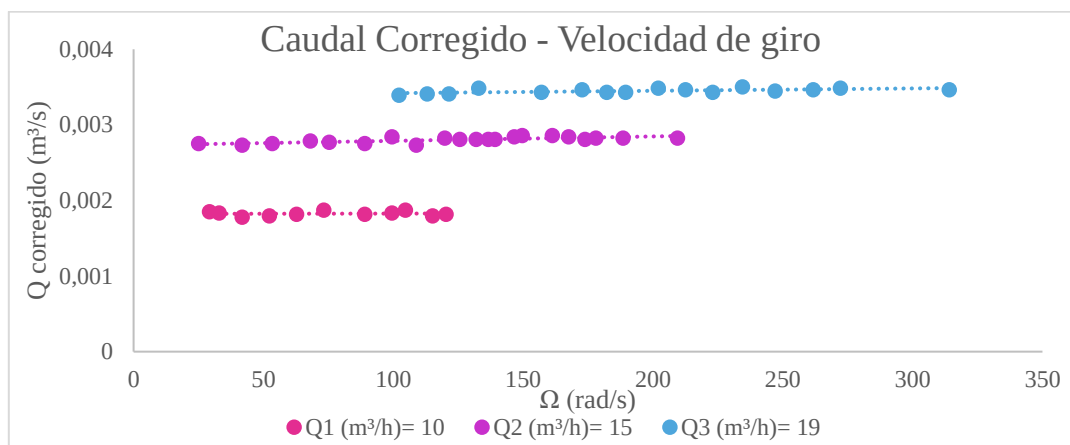


Gráfico 11: Caudal frente a Velocidad de giro

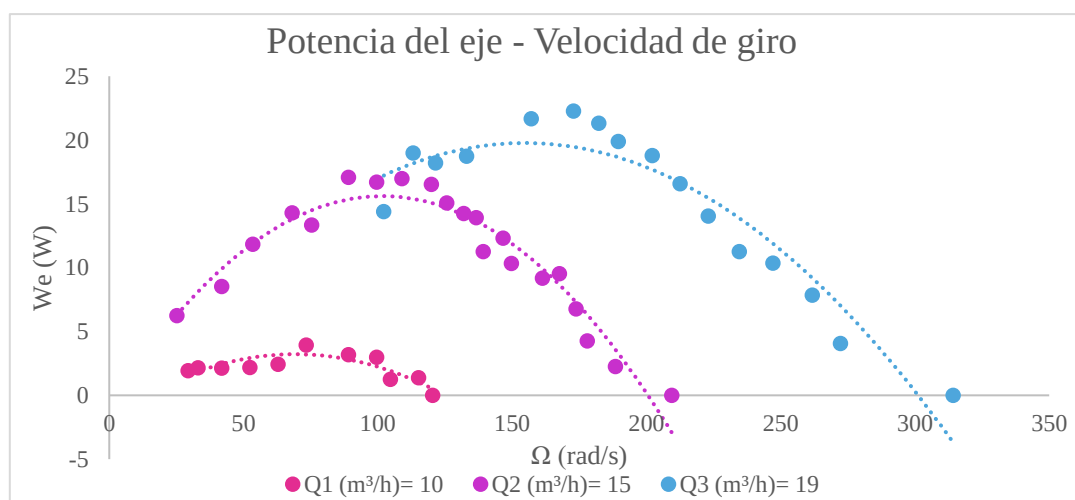


Gráfico 12: Potencia del eje frente a Velocidad de giro

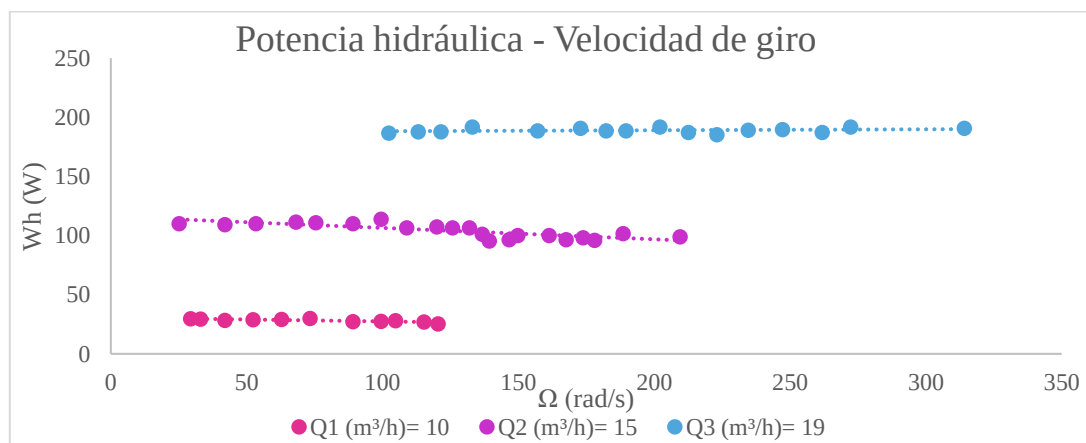


Gráfico 13: Potencia hidráulica frente a Velocidad de giro

8.2.1.3 Incidencia

Tras realizar los ensayos, la hélice ha cedido y ha terminado rompiendo. Lo más probable es que esto se deba a todos los esfuerzos y las pruebas que ha soportado, es decir, las palas han roto por fatiga a pesar de que el material posea bastante flexibilidad.



Ilustración 108: Hélice con aspas rotas por fatiga

8.2.2 Hélice de 8 aspas con ángulo de ataque a 85°

8.2.2.1 Apertura del 100% del distribuidor

Q (m³/h)	Ω (rpm)	F1 (N)	F2 (N)	P (bar)	Hn (mca)	Ω (rad/s)	Γ (Nm)	Q (m³/s)	Q corregido (m³/s)	We (W)	Wh (W)	η
18,6	2320	0	0	0,52	5,304	242,950	0	0,0051667	0,0034105	0,000	177,455	0,000
21,8	2000	1	0,3	0,52	5,304	209,440	0,021	0,0060556	0,0039972	4,398	207,985	2,115
21,4	1830	1,6	0,3	0,52	5,304	191,637	0,039	0,0059444	0,0039239	7,474	204,169	3,661
21,7	1470	2	0,4	0,52	5,304	153,938	0,048	0,0060278	0,0039789	7,389	207,031	3,569
21,2	1400	2,6	0,5	0,54	5,508	146,608	0,063	0,0058889	0,0038872	9,236	210,040	4,397
21,4	1340	3	0,8	0,55	5,61	140,324	0,066	0,0059444	0,0039239	9,261	215,948	4,289
21,4	1230	3,8	0,9	0,55	5,61	128,805	0,087	0,0059444	0,0039239	11,206	215,948	5,189
21,5	1130	4,4	1	0,55	5,61	118,333	0,102	0,0059722	0,0039422	12,070	216,957	5,563
21,7	940	5,4	1,2	0,55	5,61	98,437	0,126	0,0060278	0,0039789	12,403	218,975	5,664
21,3	750	6	1,3	0,55	5,61	78,540	0,141	0,0059167	0,0039056	11,074	214,939	5,152
21,4	600	6,8	1,6	0,55	5,61	62,832	0,156	0,0059444	0,0039239	9,802	215,948	4,539
21,2	500	7,4	1,7	0,55	5,61	52,360	0,171	0,0058889	0,0038872	8,954	213,930	4,185
21,3	390	8,1	1,7	0,55	5,61	40,841	0,192	0,0059167	0,0039056	7,841	214,939	3,648
21,4	220	9	1,9	0,55	5,61	23,038	0,213	0,0059444	0,0039239	4,907	215,948	2,272

Tabla 10: Caracterización con un caudal fijo de 21 m³/h

Q (m ³ /h)	Ω (rpm)	F1 (N)	F2 (N)	P (bar)	Hn (mca)	Ω (rad/s)	Γ (Nm)	Q (m ³ /s)	Q corregido (m ³ /s)	We (W)	Wh (W)	η
17	1780	0	0	0,32	3,264	186,401	0	0,0047222	0,0031171	0,000	99,810	0,000
17,1	1680	0,6	0,1	0,32	3,264	175,929	0,015	0,0047500	0,0031355	2,639	100,397	2,629
17	1580	1	0,2	0,32	3,264	165,457	0,024	0,0047222	0,0031171	3,971	99,810	3,979
16,9	1180	1,6	0,3	0,32	3,264	123,569	0,039	0,0046944	0,0030988	4,819	99,222	4,857
16,7	1060	2,1	0,5	0,32	3,264	111,003	0,048	0,0046389	0,0030621	5,328	98,048	5,434
17,2	980	2,5	0,6	0,32	3,264	102,625	0,057	0,0047778	0,0031538	5,850	100,984	5,793
16,7	870	3	0,7	0,32	3,264	91,106	0,069	0,0046389	0,0030621	6,286	98,048	6,411
17,2	800	3,3	0,8	0,32	3,264	83,776	0,075	0,0047778	0,0031538	6,283	100,984	6,222
17	680	3,7	0,9	0,32	3,264	71,209	0,084	0,0047222	0,0031171	5,982	99,810	5,993
16,8	520	4,2	1	0,32	3,264	54,454	0,096	0,0046667	0,0030804	5,228	98,635	5,300
17	330	4,8	1	0,32	3,264	34,558	0,114	0,0047222	0,0031171	3,940	99,810	3,947
17	200	5,2	1,1	0,32	3,264	20,944	0,123	0,0047222	0,0031171	2,576	99,810	2,581

Tabla 11: Caracterización con un caudal fijo de 17 m³/h

Q (m ³ /h)	Ω (rpm)	F1 (N)	F2 (N)	P (bar)	Hn (mca)	Ω (rad/s)	Γ (Nm)	Q (m ³ /s)	Q corregido (m ³ /s)	We (W)	Wh (W)	η
12,1	1130	0	0	0,14	1,428	118,333	0	0,0033611	0,0022187	0,000	31,080	0,000
12	980	0,4	0,1	0,14	1,428	102,625	0,009	0,0033333	0,0022003	0,924	30,824	2,997
12,1	850	0,5	0,1	0,14	1,428	89,012	0,012	0,0033611	0,0022187	1,068	31,080	3,437
12	720	0,7	0,1	0,15	1,53	75,398	0,018	0,0033333	0,0022003	1,357	33,025	4,109
12,2	700	1	0,2	0,15	1,53	73,304	0,024	0,0033889	0,0022370	1,759	33,576	5,240
12,1	600	1,4	0,3	0,15	1,53	62,832	0,033	0,0033611	0,0022187	2,073	33,300	6,227
12	480	1,7	0,4	0,16	1,632	50,265	0,039	0,0033333	0,0022003	1,960	35,227	5,565
11,9	270	2,1	0,4	0,16	1,632	28,274	0,051	0,0033056	0,0021820	1,442	34,933	4,128

Tabla 12: Caracterización con un caudal fijo de 12 m³/h

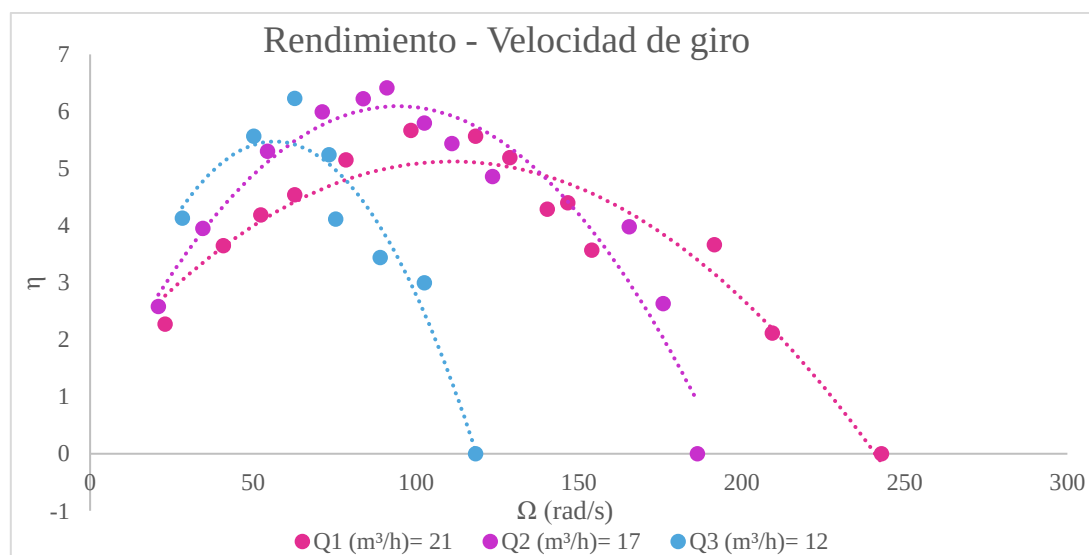


Gráfico 14: Rendimiento frente a Velocidad de giro

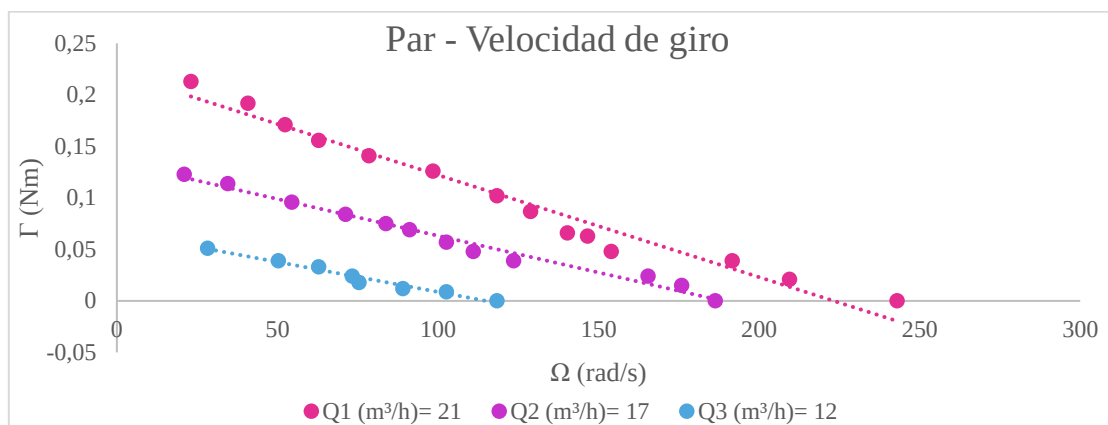


Gráfico 15: Par frente a Velocidad de giro

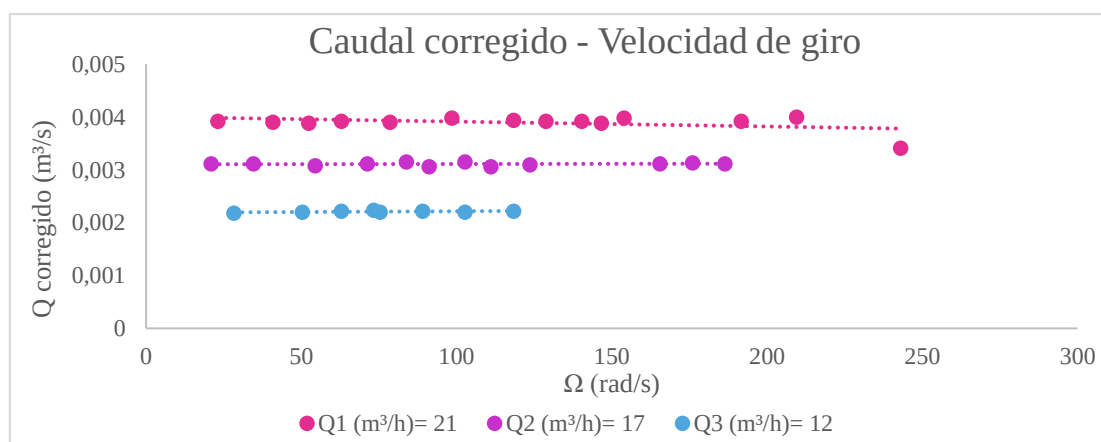


Gráfico 16: Caudal frente a Velocidad de giro

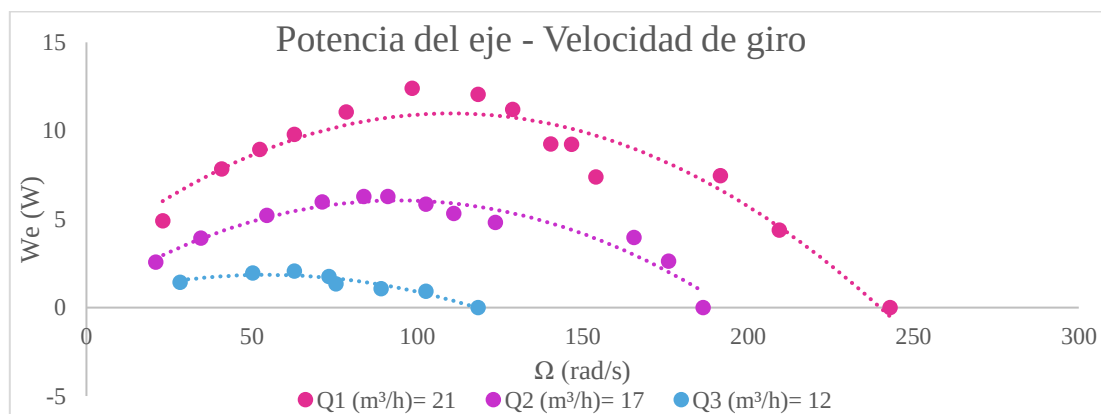


Gráfico 17: Potencia del eje frente a Velocidad de giro

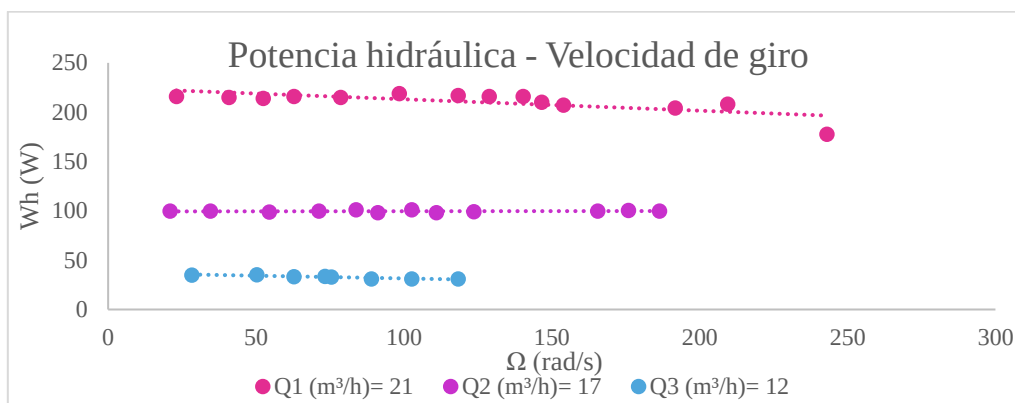


Gráfico 18: Potencia hidráulica frente a Velocidad de giro

8.2.2.2 Apertura del 50% del distribuidor

Q (m³/h)	Ω (rpm)	F1 (N)	F2 (N)	P (bar)	Hn (mca)	Ω (rad/s)	Γ (Nm)	Q (m³/s)	Q corregido (m³/s)	We (W)	Wh (W)	η
12	1220	0	0	0,2	2,04	127,758	0	0,0033333	0,0022003	0,000	44,034	0,000
12,2	990	0,4	0,1	0,2	2,04	103,673	0,009	0,0033889	0,0022370	0,933	44,768	2,084
12,1	920	0,7	0,2	0,2	2,04	96,342	0,015	0,0033611	0,0022187	1,445	44,401	3,255
11,9	850	1	0,2	0,2	2,04	89,012	0,024	0,0033056	0,0021820	2,136	43,667	4,892
12,2	790	1,3	0,2	0,2	2,04	82,729	0,033	0,0033889	0,0022370	2,730	44,768	6,098
11,9	670	1,8	0,3	0,2	2,04	70,162	0,045	0,0033056	0,0021820	3,157	43,667	7,230
12	510	2,2	0,4	0,2	2,04	53,407	0,054	0,0033333	0,0022003	2,884	44,034	6,550
11,8	370	2,6	0,4	0,2	2,04	38,746	0,066	0,0032778	0,0021636	2,557	43,300	5,906
11,9	215	2,8	0,5	0,2	2,04	22,515	0,069	0,0033056	0,0021820	1,554	43,667	3,558
12	175	3	0,5	0,2	2,04	18,326	0,075	0,0033333	0,0022003	1,374	44,034	3,121

Tabla 13: Caracterización con un caudal fijo de 12 m³/h

Q (m³/h)	Ω (rpm)	F1 (N)	F2 (N)	P (bar)	Hn (mca)	Ω (rad/s)	Γ (Nm)	Q (m³/s)	Q corregido (m³/s)	We (W)	Wh (W)	η
17,2	1990	0	0	0,38	3,876	208,392	0	0,0047778	0,0031538	0,000	119,918	0,000
17,1	1900	0,4	0,1	0,38	3,876	198,968	0,009	0,0047500	0,0031355	1,791	119,221	1,502
17,3	1810	1	0,1	0,38	3,876	189,543	0,027	0,0048056	0,0031721	5,118	120,615	4,243
17	1600	1,6	0,3	0,38	3,876	167,552	0,039	0,0047222	0,0031171	6,535	118,524	5,513
17,3	1380	2	0,3	0,38	3,876	144,513	0,051	0,0048056	0,0031721	7,370	120,615	6,110
17	1330	2,8	0,6	0,38	3,876	139,277	0,066	0,0047222	0,0031171	9,192	118,524	7,756
16,9	1200	3	0,6	0,4	4,08	125,664	0,072	0,0046944	0,0030988	9,048	124,028	7,295
16,7	1100	3,4	0,8	0,42	4,284	115,192	0,078	0,0046389	0,0030621	8,985	128,688	6,982
16,6	1000	4	1	0,42	4,284	104,720	0,09	0,0046111	0,0030438	9,425	127,918	7,368
16,8	800	4,6	1,2	0,42	4,284	83,776	0,102	0,0046667	0,0030804	8,545	129,459	6,601
16,9	650	5,2	1,3	0,42	4,284	68,068	0,117	0,0046944	0,0030988	7,964	130,229	6,115
16,7	500	6	1,5	0,42	4,284	52,360	0,135	0,0046389	0,0030621	7,069	128,688	5,493
16,9	380	6,6	1,8	0,42	4,284	39,794	0,144	0,0046944	0,0030988	5,730	130,229	4,400
16,7	250	7,6	1,8	0,41	4,182	26,180	0,174	0,0046389	0,0030621	4,555	125,624	3,626

Tabla 14: Caracterización con un caudal fijo de 17 m³/h

Q (m ³ /h)	Ω (rpm)	F1 (N)	F2 (N)	P (bar)	Hn (mca)	Ω (rad/s)	Γ (Nm)	Q (m ³ /s)	Q corregido (m ³ /s)	We (W)	Wh (W)	η
19,8	2490	0	0	0,58	5,916	260,752	0	0,0055000	0,0036305	0,000	210,701	0,000
20	2290	1	0,2	0,57	5,814	239,808	0,024	0,0055556	0,0036672	5,755	209,160	2,752
20,1	2100	1,8	0,3	0,57	5,814	219,911	0,045	0,0055833	0,0036855	9,896	210,205	4,708
20,3	1950	2,6	0,6	0,56	5,712	204,204	0,06	0,0056389	0,0037222	12,252	208,573	5,874
20,2	1750	3,2	0,9	0,56	5,712	183,260	0,069	0,0056111	0,0037039	12,645	207,545	6,093
20	1460	4	1	0,57	5,814	152,891	0,09	0,0055556	0,0036672	13,760	209,160	6,579
20,1	1315	4,6	1,2	0,57	5,814	137,706	0,102	0,0055833	0,0036855	14,046	210,205	6,682
20,3	1140	5,2	1,4	0,57	5,814	119,381	0,114	0,0056389	0,0037222	13,609	212,297	6,411
20	1000	6	1,9	0,57	5,814	104,720	0,123	0,0055556	0,0036672	12,881	209,160	6,158
20,3	835	6,8	2	0,57	5,814	87,441	0,144	0,0056389	0,0037222	12,592	212,297	5,931
20,1	780	7,3	2,3	0,56	5,712	81,681	0,15	0,0055833	0,0036855	12,252	206,518	5,933
20,4	700	8	2,7	0,56	5,712	73,304	0,159	0,0056667	0,0037405	11,655	209,600	5,561
20	620	9,2	3,6	0,56	5,712	64,926	0,168	0,0055556	0,0036672	10,908	205,490	5,308
20,1	540	10	4	0,56	5,712	56,549	0,18	0,0055833	0,0036855	10,179	206,518	4,929
20,4	340	10,6	4	0,56	5,712	35,605	0,198	0,0056667	0,0037405	7,050	209,600	3,363
19,9	280	11,4	4,4	0,56	5,712	29,322	0,21	0,0055278	0,0036489	6,158	204,463	3,012
20,2	180	11,8	4,4	0,56	5,712	18,850	0,222	0,0056111	0,0037039	4,185	207,545	2,016

Tabla 15: Caracterización con un caudal fijo de 20 m³/h

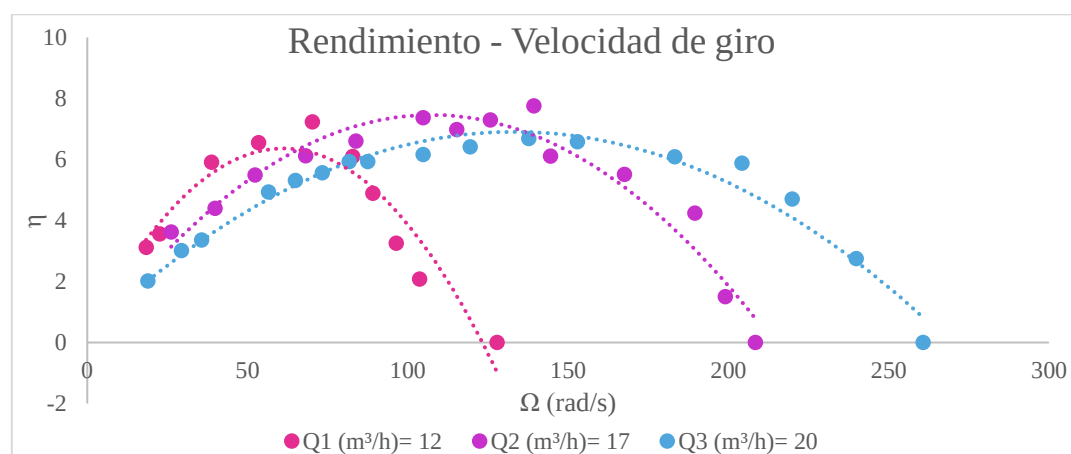


Gráfico 19: Rendimiento frente a Velocidad de giro

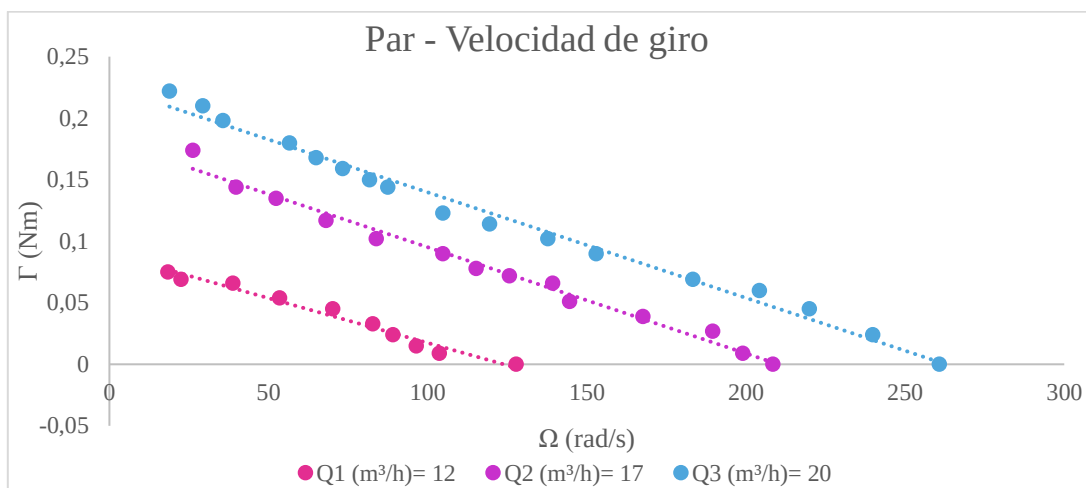


Gráfico 20: Par frente a Velocidad de giro

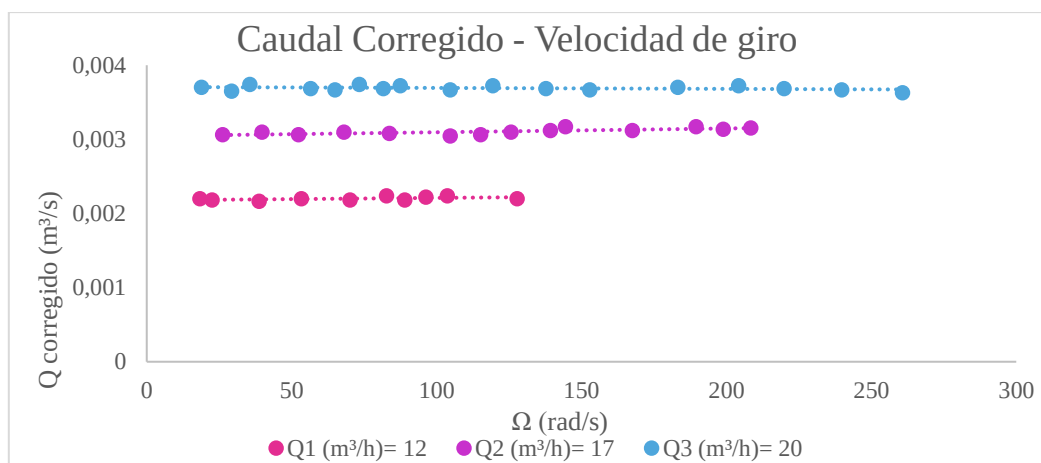


Gráfico 21: Caudal frente a Velocidad de giro

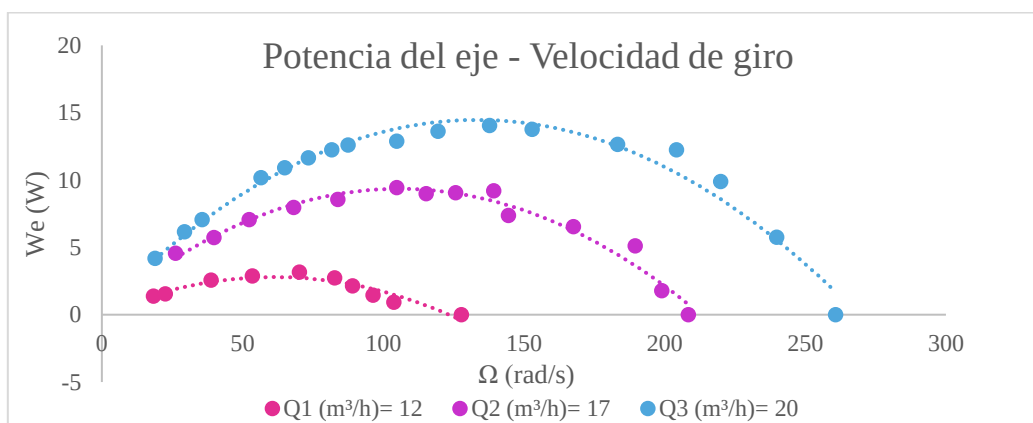


Gráfico 22: Potencia del eje frente a Velocidad de giro

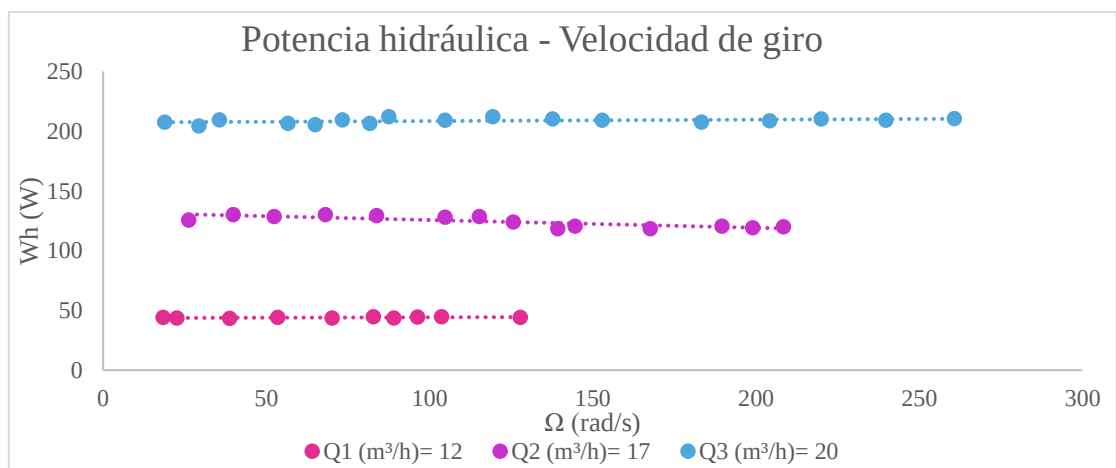


Gráfico 23: Potencia hidráulica frente a Velocidad de giro

8.2.2.3 Incidencia

Una vez acabados los ensayos con una apertura de 50% de los álabes directrices, se pudo observar que los tres álabes más cercanos a la entrada de agua se habían vuelto a romper por la fuerza a la que entra el agua, ya que esta vez no se apretaron los tornillos a tope.



Gráfico 24: Álabes directrices rotos tras cerrar la válvula de entrada del caudal

8.2.3 Hélice de 10 aspas con ángulo de ataque a 85°

Para estos ensayos se tuvieron que poner los álabes directrices fabricados al principio del mecanizado de las piezas.



Ilustración 109: Álabes directrices fabricados originalmente

8.2.3.1 Apertura del 100% del distribuidor

Q (m ³ /h)	Ω (rpm)	F1 (N)	F2 (N)	P (bar)	Hn (mca)	Ω (rad/s)	Γ (Nm)	Q (m ³ /s)	Q corregido (m ³ /s)	We (W)	Wh (W)	η
12,1	1200	0	0	0,2	2,04	125,664	0	0,0033611	0,0022187	0,000	44,401	0,000
12,2	1040	0,4	0,1	0,2	2,04	108,909	0,009	0,0033889	0,0022370	0,980	44,768	2,189
12,3	930	0,8	0,2	0,2	2,04	97,389	0,018	0,0034167	0,0022553	1,753	45,134	3,884
12,1	780	1,2	0,2	0,2	2,04	81,681	0,03	0,0033611	0,0022187	2,450	44,401	5,519
12,4	680	1,6	0,3	0,2	2,04	71,209	0,039	0,0034444	0,0022737	2,777	45,501	6,103
12,2	570	2	0,4	0,2	2,04	59,690	0,048	0,0033889	0,0022370	2,865	44,768	6,400
12	410	2,4	0,5	0,2	2,04	42,935	0,057	0,0033333	0,0022003	2,447	44,034	5,558
12,1	325	2,6	0,6	0,2	2,04	34,034	0,06	0,0033611	0,0022187	2,042	44,401	4,599
12,1	210	3	0,6	0,2	2,04	21,991	0,072	0,0033611	0,0022187	1,583	44,401	3,566
11,9	100	3,2	0,7	0,2	2,04	10,472	0,075	0,0033056	0,0021820	0,785	43,667	1,799

Tabla 16: Caracterización con un caudal fijo de 12 m³/h

Q (m ³ /h)	Ω (rpm)	F1 (N)	F2 (N)	P (bar)	Hn (mca)	Ω (rad/s)	Γ (Nm)	Q (m ³ /s)	Q corregido (m ³ /s)	We (W)	Wh (W)	η
15,8	1680	0	0	0,31	3,162	175,929	0	0,0043889	0,0028971	0,000	89,865	0,000
16	1530	0,4	0,1	0,31	3,162	160,221	0,009	0,0044444	0,0029338	1,442	91,003	1,585
16	1460	1	0,2	0,31	3,162	152,891	0,024	0,0044444	0,0029338	3,669	91,003	4,032
15,9	1230	1,4	0,2	0,31	3,162	128,805	0,036	0,0044167	0,0029154	4,637	90,434	5,127
15,8	1060	2	0,3	0,31	3,162	111,003	0,051	0,0043889	0,0028971	5,661	89,865	6,300
16	870	2,5	0,5	0,31	3,162	91,106	0,06	0,0044444	0,0029338	5,466	91,003	6,007
16,1	740	3	0,5	0,31	3,162	77,493	0,075	0,0044722	0,0029521	5,812	91,572	6,347
16	640	3,4	0,8	0,31	3,162	67,021	0,078	0,0044444	0,0029338	5,228	91,003	5,744
16,2	480	4	1	0,31	3,162	50,265	0,09	0,0045000	0,0029704	4,524	92,140	4,910
16,1	390	4,4	1	0,31	3,162	40,841	0,102	0,0044722	0,0029521	4,166	91,572	4,549
15,9	250	5	1,2	0,31	3,162	26,180	0,114	0,0044167	0,0029154	2,985	90,434	3,300
15,8	200	5,6	1,3	0,31	3,162	20,944	0,129	0,0043889	0,0028971	2,702	89,865	3,006
16	150	6	1,4	0,31	3,162	15,708	0,138	0,0044444	0,0029338	2,168	91,003	2,382

Tabla 17: Caracterización con un caudal fijo de 16 m³/h

Q (m³/h)	Ω (rpm)	F1 (N)	F2 (N)	P (bar)	Hn (mca)	Ω (rad/s)	Γ (Nm)	Q (m³/s)	Q corregido (m³/s)	We (W)	Wh (W)	η
20,2	2230	0	0	0,5	5,1	233,525	0	0,0056111	0,0037039	0,000	185,308	0,000
20,1	2200	0,4	0,1	0,5	5,1	230,383	0,009	0,0055833	0,0036855	2,073	184,391	1,124
20,3	2100	1	0,2	0,5	5,1	219,911	0,024	0,0056389	0,0037222	5,278	186,225	2,834
20,4	1900	1,6	0,2	0,5	5,1	198,968	0,042	0,0056667	0,0037405	8,357	187,143	4,465
20	1620	2,4	0,4	0,5	5,1	169,646	0,06	0,0055556	0,0036672	10,179	183,473	5,548
20,5	1510	3	0,6	0,5	5,1	158,127	0,072	0,0056944	0,0037589	11,385	188,060	6,054
20,2	1310	3,6	0,8	0,5	5,1	137,183	0,084	0,0056111	0,0037039	11,523	185,308	6,218
20,1	1150	4,2	1,1	0,5	5,1	120,428	0,093	0,0055833	0,0036855	11,200	184,391	6,074
20,1	1005	4,8	1,3	0,5	5,1	105,243	0,105	0,0055833	0,0036855	11,051	184,391	5,993
20,3	890	5,4	1,6	0,5	5,1	93,201	0,114	0,0056389	0,0037222	10,625	186,225	5,705
20,2	780	6,2	2	0,5	5,1	81,681	0,126	0,0056111	0,0037039	10,292	185,308	5,554
20,4	690	7	2,1	0,5	5,1	72,257	0,147	0,0056667	0,0037405	10,622	187,143	5,676
20,1	540	7,8	2,5	0,5	5,1	56,549	0,159	0,0055833	0,0036855	8,991	184,391	4,876
20,3	470	8,6	2,4	0,5	5,1	49,218	0,186	0,0056389	0,0037222	9,155	186,225	4,916
20,4	460	9,8	2,8	0,5	5,1	48,171	0,21	0,0056667	0,0037405	10,116	187,143	5,405
20,3	390	10,4	3	0,5	5,1	40,841	0,222	0,0056389	0,0037222	9,067	186,225	4,869
20,2	215	10,8	3,2	0,5	5,1	22,515	0,228	0,0056111	0,0037039	5,133	185,308	2,770
20,4	190	11,1	3,2	0,5	5,1	19,897	0,237	0,0056667	0,0037405	4,716	187,143	2,520

Tabla 18: Caracterización con un caudal fijo de 20 m³/h

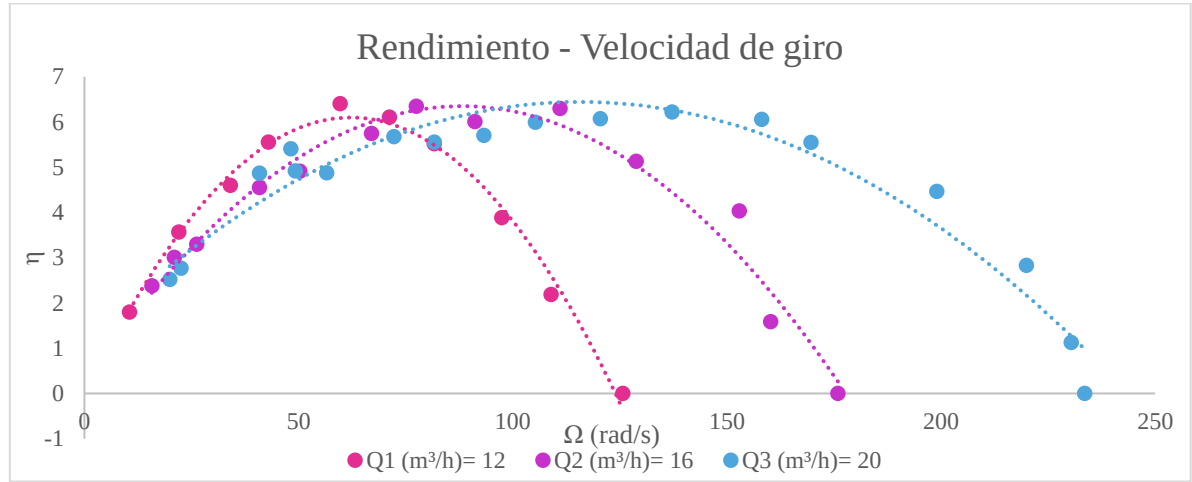


Gráfico 25: Rendimiento frente a Velocidad de giro

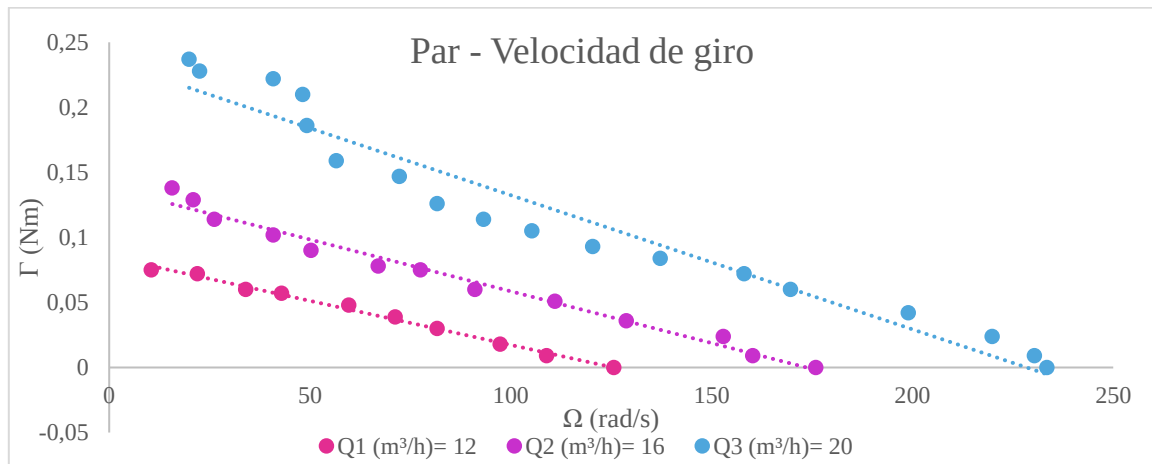


Gráfico 26: Par frente a Velocidad de giro

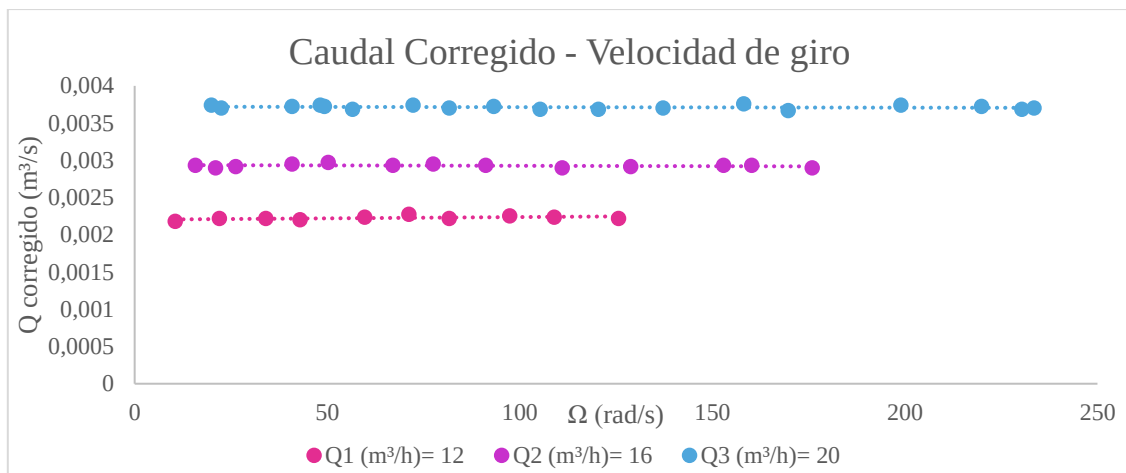


Gráfico 27: Caudal frente a Velocidad de giro

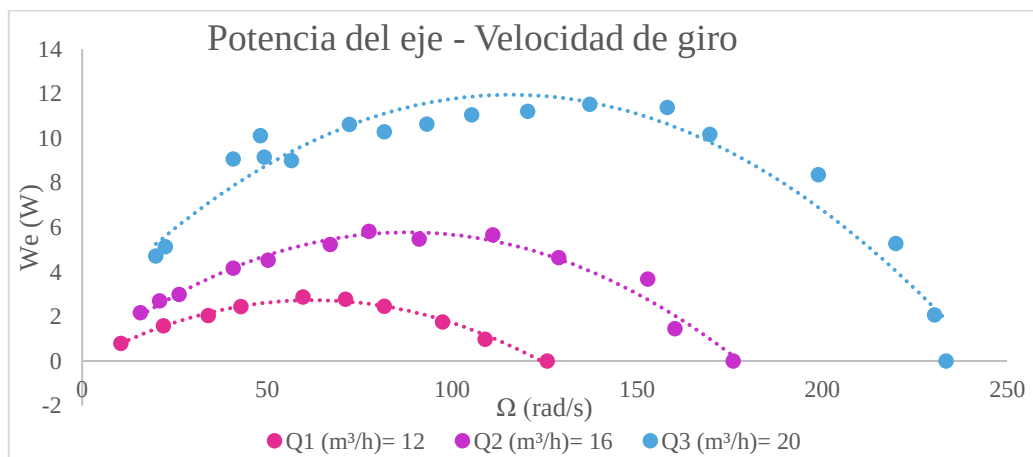


Gráfico 28: Potencia del eje frente a Velocidad de giro

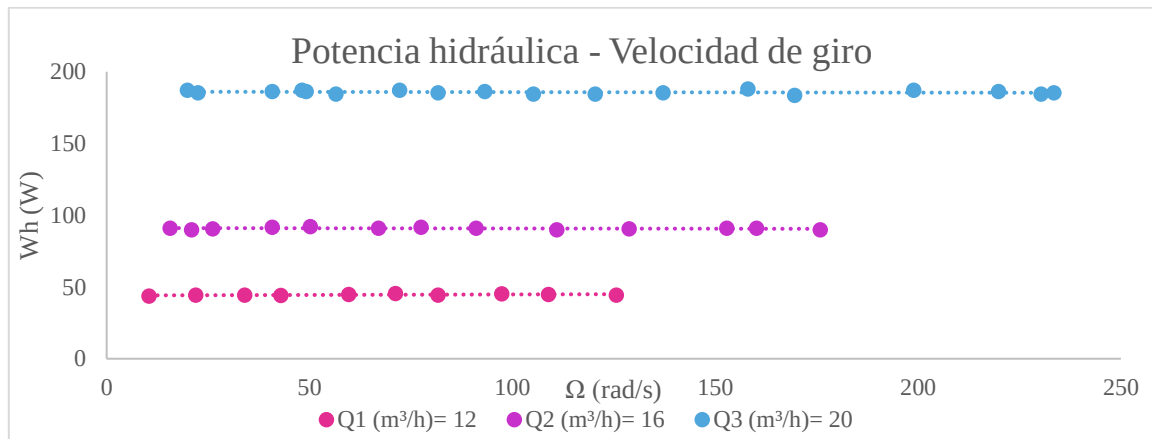


Gráfico 29: Potencia hidráulica frente a Velocidad de giro

8.2.3.2 Apertura del 50% del distribuidor

Q (m³/h)	Ω (rpm)	F1 (N)	F2 (N)	P (bar)	Hn (mca)	Ω (rad/s)	Γ (Nm)	Q (m³/s)	Q corregido (m³/s)	We (W)	Wh (W)	η
20,4	2780	0	0	0,64	6,528	291,121	0	0,0056667	0,0037405	0,000	239,543	0,000
20,2	2660	0,6	0,1	0,64	6,528	278,555	0,015	0,0056111	0,0037039	4,178	237,194	1,762
20,3	2440	2	0,4	0,64	6,528	255,516	0,048	0,0056389	0,0037222	12,265	238,369	5,145
20,1	2300	2,8	0,6	0,64	6,528	240,855	0,066	0,0055833	0,0036855	15,896	236,020	6,735
19,8	2150	3,5	0,8	0,64	6,528	225,147	0,081	0,0055000	0,0036305	18,237	232,497	7,844
20,1	1890	5,7	1,2	0,64	6,528	197,920	0,135	0,0055833	0,0036855	26,719	236,020	11,321
20,3	1500	5,6	1,4	0,64	6,528	157,080	0,126	0,0056389	0,0037222	19,792	238,369	8,303
20	1250	6,4	1,5	0,64	6,528	130,900	0,147	0,0055556	0,0036672	19,242	234,846	8,194
20	1100	7,4	2	0,64	6,528	115,192	0,162	0,0055556	0,0036672	18,661	234,846	7,946
19,7	900	9,1	2,6	0,64	6,528	94,248	0,195	0,0054722	0,0036122	18,378	231,323	7,945
20,2	700	10,9	3	0,64	6,528	73,304	0,237	0,0056111	0,0037039	17,373	237,194	7,324
20,3	490	13,1	4	0,64	6,528	51,313	0,273	0,0056389	0,0037222	14,008	238,369	5,877
20,1	320	14,4	4,2	0,64	6,528	33,510	0,306	0,0055833	0,0036855	10,254	236,020	4,345

Tabla 19: Caracterización con un caudal fijo de 20 m³/h

Q (m³/h)	Ω (rpm)	F1 (N)	F2 (N)	P (bar)	Hn (mca)	Ω (rad/s)	Γ (Nm)	Q (m³/s)	Q corregido (m³/s)	We (W)	Wh (W)	η
15,9	2080	0	0	0,4	4,08	217,817	0	0,0044167	0,0029154	0,000	116,689	0,000
16,1	1930	1,4	0,3	0,4	4,08	202,109	0,033	0,0044722	0,0029521	6,670	118,157	5,645
16,3	1840	1,9	0,5	0,4	4,08	192,684	0,042	0,0045278	0,0029888	8,093	119,625	6,765
15,9	1460	2,6	0,8	0,4	4,08	152,891	0,054	0,0044167	0,0029154	8,256	116,689	7,075
15,8	1360	3,4	1,1	0,4	4,08	142,419	0,069	0,0043889	0,0028971	9,827	115,955	8,475
16	990	4,2	1,3	0,4	4,08	103,673	0,087	0,0044444	0,0029338	9,020	117,423	7,681
16,3	780	5,1	1,6	0,4	4,08	81,681	0,105	0,0045278	0,0029888	8,577	119,625	7,170
16,1	650	5,9	1,9	0,4	4,08	68,068	0,12	0,0044722	0,0029521	8,168	118,157	6,913
16	500	7	2,1	0,4	4,08	52,360	0,147	0,0044444	0,0029338	7,697	117,423	6,555
15,7	360	7,9	2	0,4	4,08	37,699	0,177	0,0043611	0,0028787	6,673	115,221	5,791
16	200	8,5	2,3	0,4	4,08	20,944	0,186	0,0044444	0,0029338	3,896	117,423	3,318

Tabla 20: Caracterización con un caudal fijo de 16 m³/h

Q (m ³ /h)	Ω (rpm)	F1 (N)	F2 (N)	P (bar)	Hn (mca)	Ω (rad/s)	Γ (Nm)	Q (m ³ /s)	Q corregido (m ³ /s)	We (W)	Wh (W)	η
11,6	1430	0	0	0,2	2,04	149,749	0	0,0032222	0,0021270	0,000	42,566	0,000
12	1320	0,7	0,2	0,2	2,04	138,230	0,015	0,0033333	0,0022003	2,073	44,034	4,709
11,6	1060	1,1	0,3	0,2	2,04	111,003	0,024	0,0032222	0,0021270	2,664	42,566	6,259
12	880	1,8	0,5	0,2	2,04	92,153	0,039	0,0033333	0,0022003	3,594	44,034	8,162
12	550	2,4	0,7	0,2	2,04	57,596	0,051	0,0033333	0,0022003	2,937	44,034	6,671
12,1	400	2,8	0,8	0,2	2,04	41,888	0,06	0,0033611	0,0022187	2,513	44,401	5,660
12,2	260	3,2	0,9	0,2	2,04	27,227	0,069	0,0033889	0,0022370	1,879	44,768	4,197

Tabla 21: Caracterización con un caudal fijo de 12 m³/h

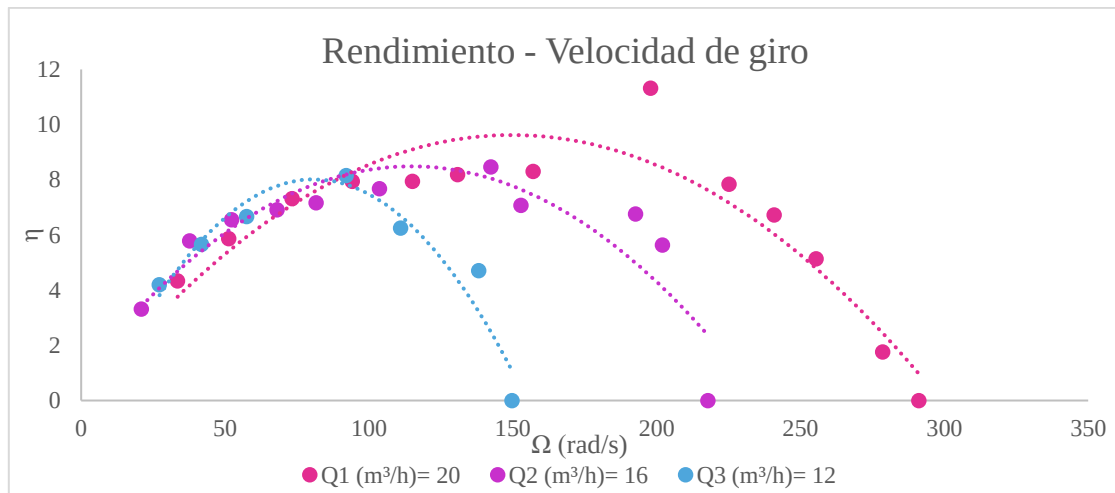


Gráfico 30: Rendimiento frente a Velocidad de giro

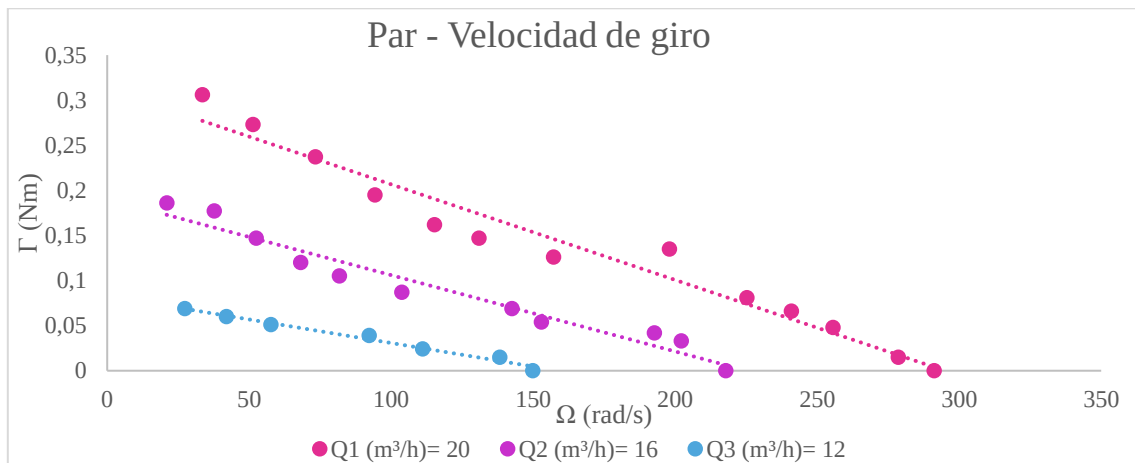


Gráfico 31: Par frente a Velocidad de giro

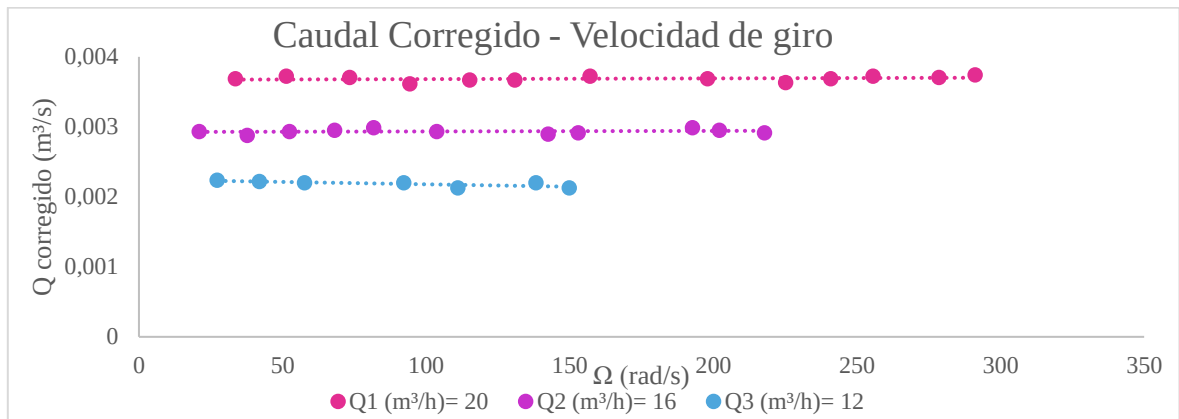


Gráfico 32: Caudal frente a Velocidad de giro

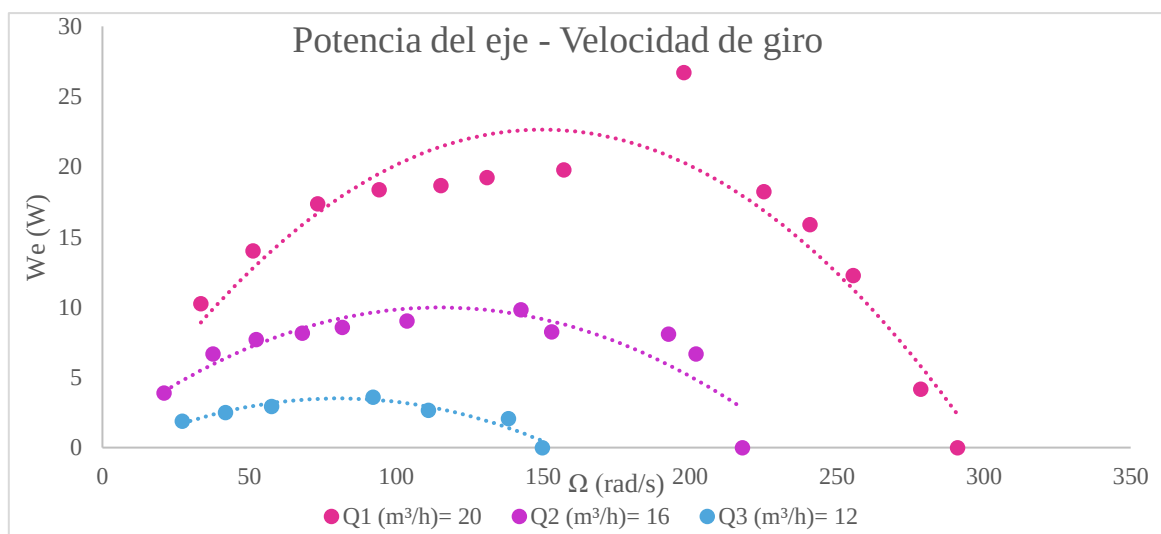


Gráfico 33: Potencia del eje frente a Velocidad de giro

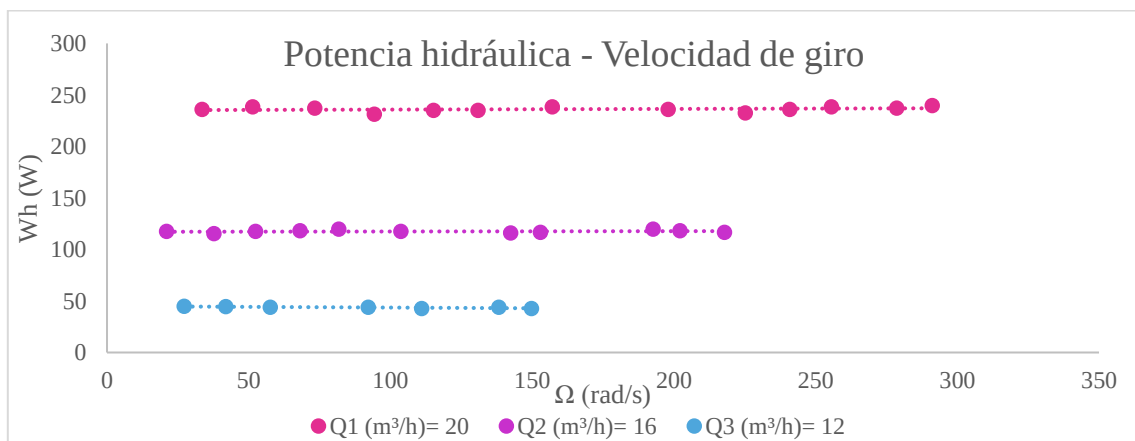


Gráfico 34: Potencia hidráulica frente a Velocidad de giro

9 Conclusiones

Para concluir esta memoria hay que resaltar varias cosas que han surgido durante la realización de este trabajo.

Para comenzar todos los diseños de las piezas que componen esta turbina se han hecho mediante semejanza a la original la cual es computarizada. Sin embargo, el sistema de orientación de los álabes se ha cambiado por completo ya que el original no funcionaba como debía y se ha basado en el sistema de la turbina Francis.

Por otro lado, también se decidió cambiar el material de las hélices y los álabes para comprobar cómo podrían funcionar siendo estos de resina ABS. La verdad es que dieron un gran resultado puesto que son de un material más flexible y soportan la presión con la que entra el agua, aunque de tantas pruebas y esfuerzos llega un momento en el que rompen.

Hablando del agua como fluido, los bancos de ensayo que hay actualmente en el laboratorio no sirven para una turbina Kaplan ya que no aportan el caudal necesario para que esta funcione correctamente. Este fue uno de los últimos fallos que se detectó a la hora de caracterizar dicha turbomáquina hidráulica. Por este motivo se ha tenido que adaptar el banco de ensayo computarizado a este trabajo para así poder caracterizar esta turbina.

Para finalizar, tras realizar los ensayos, se pudo comprobar que los rendimientos salían demasiado bajos y por lo tanto se decidió comprobar la cantidad de caudal que entra a la turbina mediante una cubicación del depósito. Una vez realizada dicha cubicación se pudo comprobar que, efectivamente, la medición que da el rotámetro tiene un error de entre un 60% y un 70%. Debido a esto se calcula un factor de corrección con el cual el rendimiento mejora un poco. Otra de las causas por las que el rendimiento sale tan bajo puede ser por la diferencia entre la turbina original y la realizada en este proyecto con respecto a la distancia a la que se mide el par ya que en la turbina original hay mayor distancia entre el eje y el medidor de par. Por lo tanto, para realizar las prácticas docentes y obtener el caudal real los alumnos deberán de aplicar dicho coeficiente de corrección.

10 Trabajo futuro

De cara a un trabajo futuro se deberían de reemplazar las piezas en las cuales se haya producido óxido de cara a la realización de las prácticas, actualmente sólo se debería de reemplazar el rodamiento que está pegado a la carcasa.

Una de las posibles mejoras podría ser la implantación de un freno eléctrico y un contador de vueltas por infrarrojos. Con estas modificaciones se debería de agregar un medidor de par mecánico de manera obligatoria. Es cierto que, desde el punto de vista docente, el alumno afianzará mejor los conceptos teóricos con un sistema de medición manual que con uno eléctrico. De esta manera, si es un sistema de medición manual, el alumno será capaz de entender por completo el funcionamiento de cualquier tipo de turbina ya que todas ellas siguen el principio de la ecuación de Euler y, con respecto a las turbinas halladas en el laboratorio, realizaran la caracterización de las turbomáquinas siguiendo la misma metodología para cada una de ellas.

Otra de las mejoras podría ser reemplazar el codo de la tubería de aspiración por otro codo a 90° pero con un radio mayor. De esta manera se podría intentar que no existiese reflujo. Y no solo el codo podría cambiarse, de cara a que el agua no tenga tanta presión se podría poner un tubo de salida de mayor diámetro y de esta forma se intentaría corregir el flujo turbulento y hacerlo laminar.

11 Bibliografía

Muñoz Domínguez, M. y Rovira de Antonio, A.J. (2014); Máquinas térmicas; Ed. UNED

Paz Penín, C., Suárez Porto, E., Concheiro Castiñeira, M. y Conde Fontenla, M. (2019); Turbomáquinas hidráulicas; Ed. Servicio de publicaciones de la universidad de Vigo

Zamora Parra, B. y Viedma Robles, A. (2016); Máquinas hidráulicas: Teoría y problemas; Ed. CRAI biblioteca Universidad politécnica de Cartagena; primera edición

Mataix, C (2009); Turbomáquinas hidráulicas: Turbinas hidráulicas, bombas y ventiladores; Ed. Publicaciones Universidad Pontificia Comillas Madrid; tercera edición

Trazador de perfil aerodinámico Airfoil Tools: <http://airfoiltools.com/plotter/index>

Trabajo fin de grado de Miguel Mudarra, alumno de la Escuela Politécnica Superior de Linares, sobre la caracterización y puesta en funcionamiento del equipo de corte por láser

12 Anexos

12.1 Manuales de la maquinaria y herramientas utilizadas

SIERRAS FIJAS | Arranque de viruta

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

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

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

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

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

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

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

Sistema de refrigeración
- Equipado de serie.

Banco
- Robusto.
- Equipado de serie.

S 275 G Vario

Modelo	S 210 G	S 275 G	S 275 G Vario
Código	3300210	3300275	3300278
Potencia del motor	1 CV / 750 W / 400 V	1,5 CV / 1,1 kW / 400 V	2 CV / 1,5 kW / 230 V
Capacidad de corte a 90°	170 mm	225 mm	225 mm
Capacidad de corte a 90°	210 x 140 mm	245 x 180 mm	245 x 180 mm
Capacidad de corte a 45°	125 mm	160 mm	160 mm
Capacidad de corte a 45°	125 x 100 mm	160 x 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.

Ángulo de corte
S 210 G
90°
+45°
S 275 G
90°
+60°
+45°

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

S 210 G

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 automático 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.

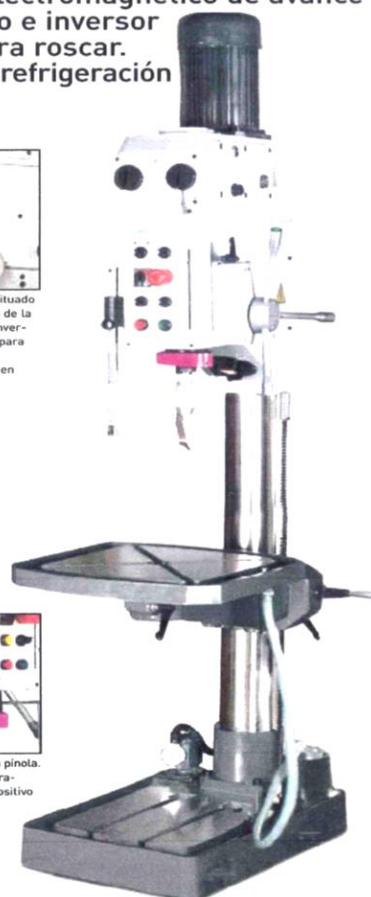
Sistema electromagnético de avance automático e inversor de giro para roscar.
Bomba de refrigeración de serie.



- 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 rápido.



Modelo	B 40 GSM
Código	3034400
Potencia del motor	2 CV / 1,5 kW / 400 V
Ø máx. taladro fundición/acero	35 / 35 mm
Tipo cono morse	MT 4
Revoluciones del husillo	50 - 1.450 r.p.m.
Dimensiones (l x an x al)	935 x 560 x 2.280 mm
Peso neto	500 kg

Las máquinas están construidas de acuerdo con las normas CE.

Ilustración 111: Características del Taladro de columna B 40 GSP de Optimum

a.1.4. ESMERILADORA

Se oferta el siguiente material:

- Esmeriladora QSM 200 de Optimum con las siguientes características:



- Banco SM anclado al suelo:



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

Expediente nº 2014/25

Ilustración 112: Características de la esmeriladora QSM 200 de Optimum

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

MESA

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

CURSOS

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

CABEZAL

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

TRANSMISIÓN DE EJES

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

GUÍA LINEAL X

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

GUÍA LINEAL Y

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

GUÍA LINEAL Z

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

AVANCES RÁPIDOS

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

Tabla 22: Características del Centro de mecanizado CNC Lagun 650

▪ **ALMACÉN DE HERRAMIENTAS**

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

▪ **MOTORES**

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

▪ **PRECISIÓN**

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

▪ **GENERAL**

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

Tabla 23: Características del Centro de mecanizado CNC Lagun 650

DATOS TÉCNICOS	MODELOS	
Característica	BP-C 1515	BP-C 4020
Grosor máximo de pieza	200 mm	200 mm
Carga máxima permitida de piezas	790 kg/m ²	790 kg/m ²
Número de cabezales de corte	1 a 2	1 a 2
Velocidad de posicionamiento max simultáneo	85 m/min	85 m/min
Velocidad de corte máxima	20 m/min	20 m/min
Tolerancia de máquina según VDI/DGQ 3441	± 0.05 mm/m	± 0.05 mm/m
Precisión de repetición	± 0.025 mm	± 0.025 mm
Dimensiones	1500x1500x200mm	4000x2000x200 mm

Tabla 24: Características de la Máquina de corte por agua TCI-cutting BP-C 1515

Technical Specification

Printing

System	ANYCUBIC Photon Mono X
Operation	3.5-inch Color TFT Screen
Software	ANYCUBIC Photon workshop
Connectivity	USB memory stick

Specifications

Technique	LCD Shadow Masking
Light source	UV-LED (wavelength 405nm)
XY Resolution	0.050mm 3840*2400 (4K)
Z axis Accuracy	0.01mm
Suggested Layer Thickness	0.01 ~ 0.15mm
Suggested Print Speed	MAX 60mm/h
Rated power	120W

Physical Dimensions

Dimension	270mm (L) *290mm (W) 475*mm (H)
Build volume	192mm (L) *120mm (W) *245mm (H)
Materials	405nm UV-resin
Net weight	~10.75 kg

Tabla 25: Características de la Impresora 3D para resina ANYCUBIC Photon Mono X

Technical Specification

Recommended Printing Parameters

Layer Thickness	0.05 mm
Normal Exposure Time	1.8 s
Off Time	0.5 s
Bottom Exposure Time	40 s
Bottom Layers	6
Z Lift Distance	8 mm
Z Lift Speed	2 mm/s
Z Retract Speed	3 mm/s
Anti-alias	1
UV power	80%

Tabla 26: Parámetros recomendados para la impresión con resina en ANYCUBIC Photon Mono X

PRENSA HIDRÁULICA CON CILINDRO MÓVIL CAT83010TS

REF: 754758310

METALWORKS



Descripción

La Prensa Hidráulica con Cilindro Móvil CAT83010TS de MetalWorks es una prensa de sobremesa y permite ejercer una presión de hasta 10 toneladas. Adecuada para realizar pequeñas reparaciones y trabajos en el taller.

Características:

- Cilindro hidráulico regulable a izquierda y derecha
- Bomba manual accionada mediante palanca
- Manómetro que nos permitirá controlar y ajustar la presión ejercida
- Incluye mordazas en V

Medidas Prensa:

A 1.064 mm

B 474 mm

C 500 mm

D 340 mm

E 110 mm

F 370 mm

H 620 mm

Características técnicas

Ilustración 113: : Características de la PRENSA HIDRÁULICA CON CILINDRO MÓVIL CAT83010TS

- ☑ Capacidad: 10 T.
- ☑ Peso neto: 52 kg
- ☑ Dimensiones (l x al): 910 x 540 mm
- ☑ Carrera del pistón: 152 mm
- ☑ Distancia de la pieza máx.: 320 mm
- ☑ Distancia de la pieza mín.: 140 mm

Imágenes

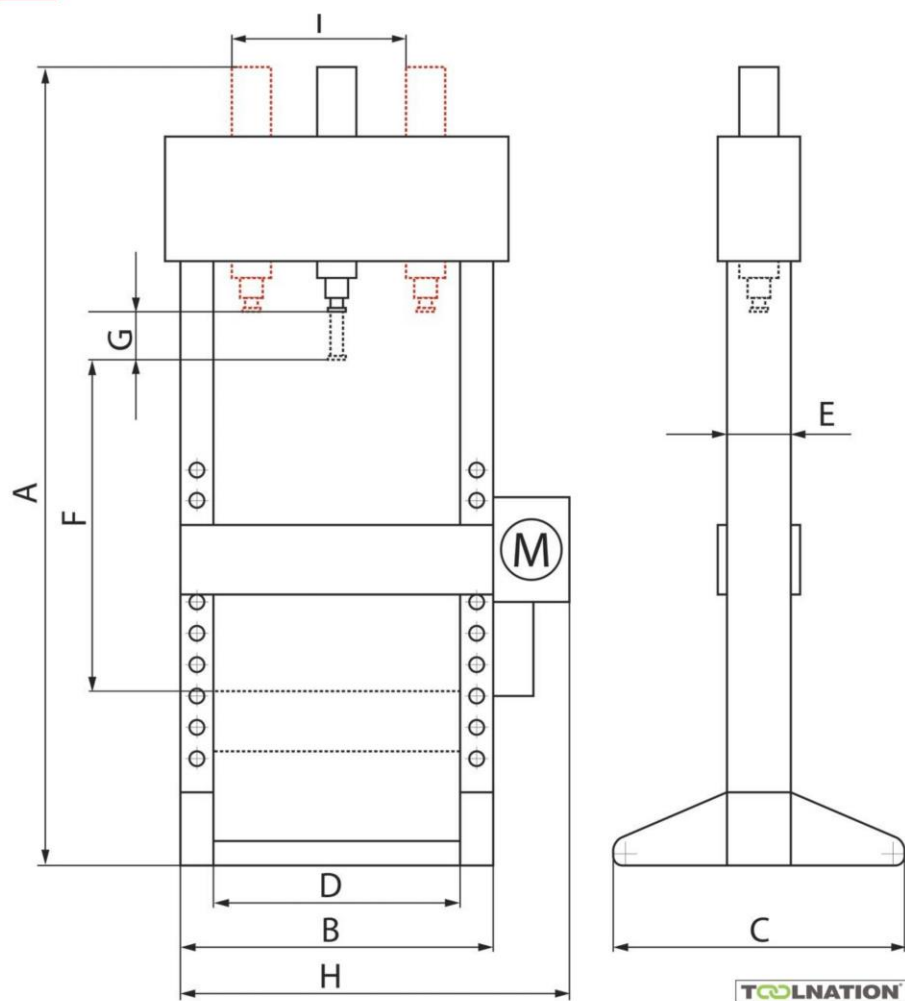


Ilustración 114: Características de la PRENSA HIDRÁULICA CON CILINDRO MÓVIL CAT83010TS

B. Product Details

1.Specifications

Model: A8	Nozzle diameter: 0.4mm
Layer thickness: 0.1-0.3mm	Machine size: 500*400*450mm
Printing speed: 10-120mm/s	Machine weight: 7.5KG
X Y axis position accuracy: 0.05mm	Packing size: 510*345*215mm
Z axis position accuracy: 0.015m	Gross weight: 9.2KG
Printing material: ABS,PLA	Build size: 220*220*240mm
Material tendency: PLA	LCD screen: Yes
Filament diameter : 1.75mm	Offline printing: SD CARD
Software language: Multi-Language	File format: STL、G-Code、OBJ
Function of support: automatically	OS: windows(linux、 mac)
Software: Cura	Working condition: 10-30°C, Humidity 20-50%

2.Machine parts

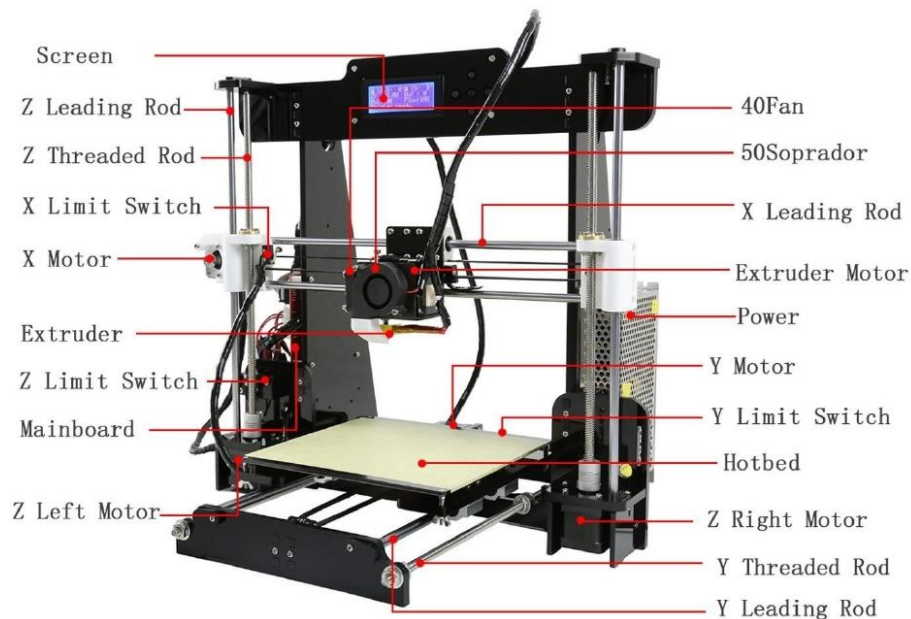
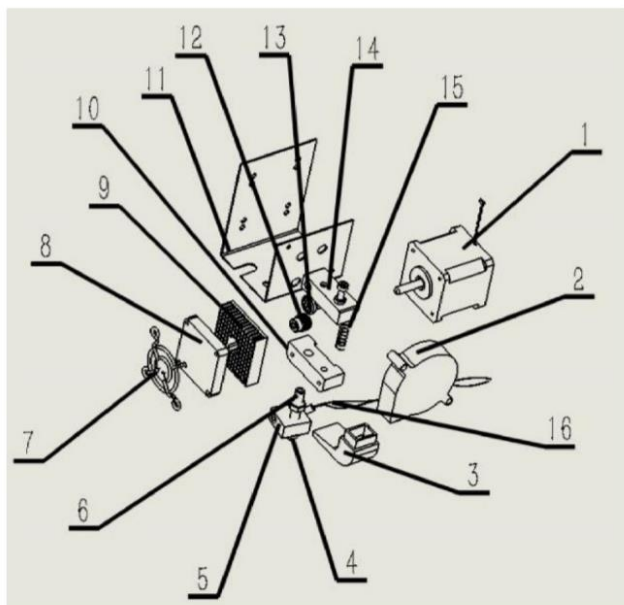


Ilustración 115: Especificaciones de la máquina de impresión por hilo

3.Extruder drawing



No.	Part Name	Quantity
1	Extruder Motor	1
2	Blower	1
3	Wind Mouth	1
4	Nozzle (0.4mm)	1
5	Heating Block	1
6	Throat	1
7	Fan Cover	1
8	Fan	1
9	Heat Sink	1
10	Extruder Seat	1
11	Bend Parts	1
12	Brass Wheel	1
13	U-Bearing	1
14	Briquetting	1
15	Spring	1
16	Heating Pipe	1

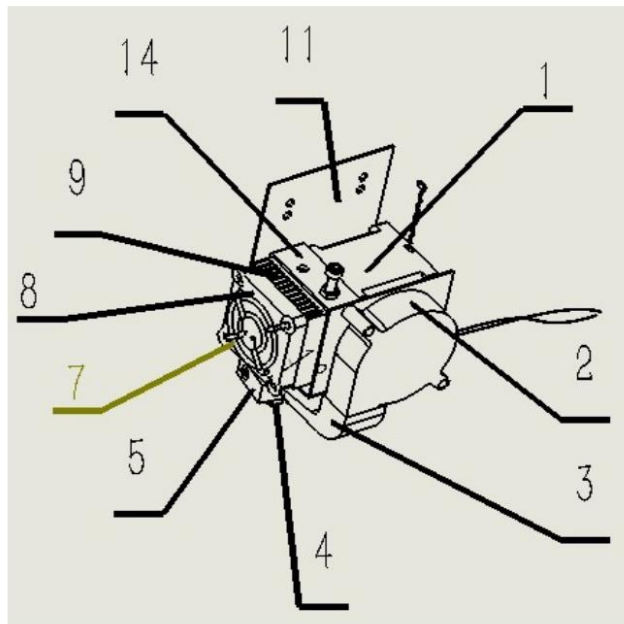


Ilustración 116: Especificaciones del extrusor de hilo

Características de la fuente de alimentación		
Entrada	Voltaje	110/220 AC
	Frecuencia AC	47-440 Hz
	Potencia Máxima	450 W
	Corriente Máxima	3 A
Salida	Voltaje Máximo	35 kV DC
	Corriente Máxima	24 mA DC
Rendimiento		>= 90 % (carga completa)
Vida útil		>= 10000 horas
Tiempo de respuesta		<= 1 milisegundo
Voltaje soportado		1500 V a 10 mA durante 60 segundos
Medio de operación		Temperatura: -10°C - 40 °C Humedad relativa: <= 90%
Sistema de refrigeración		Forced-Air Cooling (FAC)

Tabla 27: Características de la fuente de alimentación de la máquina de corte por láser

12.2 Velocidades de mecanizado

avance por diente fz= 0,1	HERRAMIENTA ACERO RÁPIDO					HERRAMIENTA METAL DURO			
	ALUMINIO		DESBASTE		ALUMINIO		ACABADO		TALADRO
	Vc (m/min)= 85				Vc (m/min)= 230				60
	F (milímetros/min)= fz * nºdientes * S				F (milímetros/min)= fz * nºdientes * S				
D (milímetros)	S	4	3	2	S	4	3	2	
80	338	135	101	68	915	366	275	183	239
40	676	271	203	135	1.830	732	549	366	477
32	846	338	254	169	2.288	915	686	458	597
20	1.353	541	406	271	3.661	1.464	1.098	732	955
18	1.503	601	451	301	4.067	1.627	1.220	813	1.061
16	1.691	676	507	338	4.576	1.830	1.373	915	1.194
12	2.255	902	676	451	6.101	2.440	1.830	1.220	1.592
10	2.706	1.082	812	541	7.321	2.928	2.196	1.464	1.910
8	3.382	1.353	1.015	676	9.151	3.661	2.745	1.830	2.387
10	2.706	1.082	812	541	7.321	2.928	2.196	1.464	1.910
6	4.509	1.804	1.353	902	12.202	4.881	3.661	2.440	3.183
14	1.933	773	580	387	5.229	2.092	1.569	1.046	1.364

Tabla 28: Condiciones de mecanizado para fresado de aluminio

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

Tabla 29: Condiciones de mecanizado para fresado de acero

avance por diente fz= 0,1	HERRAMIENTA ACERO RÁPIDO					HERRAMIENTA METAL DURO			
	PLÁSTICOS				DESABASTE	PLÁSTICOS		ACABADO	TALADRO
	Vc (m/min)= 30					Vc (m/min)= 160			26
	F (milímetros/min)= fz * nºdientes * S					F (milímetros/min)= fz * nºdientes * S			
D (milímetros)	S	4	3	2		S	4	3	2
80	119	48	36	24		637	255	191	127
40	239	95	72	48		1.273	509	382	255
32	298	119	90	60		1.592	637	477	318
20	477	191	143	95		2.546	1.019	764	509
18	531	212	159	106		2.829	1.132	849	566
16	597	239	179	119		3.183	1.273	955	637
12	796	318	239	159		4.244	1.698	1.273	849
10	955	382	286	191		5.093	2.037	1.528	1.019
8	1.194	477	358	239		6.366	2.546	1.910	1.273
10	955	382	286	191		5.093	2.037	1.528	1.019
6	1.592	637	477	318		8.488	3.395	2.546	1.698
14	682	273	205	136		3.638	1.455	1.091	728

Tabla 30: Condiciones de mecanizado para fresado de plásticos

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

Tabla 31: Condiciones de mecanizado para fresado de broce

TALADRO ACEROS V_c (m/s)= 22

DIÁMETRO (mm)	S	S (6000/d)
2	3.501	3.000
3	2.334	2.000
4	1.751	1.500
5	1.401	1.200
6	1.167	1.000
7	1.000	857
8	875	750
9	778	667
10	700	600
11	637	545
12	584	500
13	539	462
14	500	429
15	467	400
16	438	375
17	412	353
18	389	333
19	369	316
20	350	300

Tabla 32: Condiciones de mecanizado para taladros

Medida nominal y paso normal	Diámetro broca agujero	Medida nominal y paso fino	Diámetro broca agujero
M3 x 0,5	2,5	M3 x 0,25	2,75
M4 x 0,7	3,3	M4 x 0,35	3,65
M5 x 0,8	4,2	M5 x 0,50	4,5
M6 x 1	5	M6 x 0,50	5,5
M8 x 1,25	6,8	M8 x 0,75	7,25
M10 x 1,50	8,5	M10 x 0,75	9,25
M12 x 1,75	10,2	M12 x 1	11
M14 x 2	12	M14 x 1	13
M16 x 2	14	M16 x 1,25	14,75
M18 x 2,5	15,5	M18 x 1,25	16,75
M20 x 2,5	17,5	M20 x 1,50	18,50
M22 x 2,5	19,5	M22 x 1,50	20,50
M24 x 3	21	M24 x 1,50	22,50
M27 x 3	24	M27 x 2	25
M30 x 3,5	26,5	M30 x 2	28
M30 x 3,5	26,5	M30 x 2	28

TABLA PARA LA ROSCA WHITWORTH PARA TUBOS, O ROSCA GAS(BSP)			
Medida nominal y paso normal			Diámetro broca agujero
Denominación	Hilos *	Diámetro **	***
G 1/8	28	9.728	8,8
G 1/4	19	13.157	11,8
G 3/8	19	16.662	15,25
G 1/2	14	20.955	19
G 5/8	14	22.811	21
G 3/4	14	26.441	24,5
G 7/8	14	30.201	28,25
G 1	11	33.249	30,75
G 1.1/8	11	37.897	35,5
G 1.1/4	11	41,91	39,5
G 1.3/8	11	44.323	42
G 1.1/2	11	47.803	45,25
G 1.3/4	11	53.746	51,25
G 2	11	59.614	57
G 2.1/4	11	65,71	63
G 2.1/2	11	75.184	72,5
G 2.3/4	11	81.534	79
G 3	11	87.884	85,5
G 4	11	113,03	110,5
* hilos por pulgada. Una pulgada = 25,4 mm			
** equivalencia en milímetros de la medida nominal			
*** en milímetros			

Tabla 33: Condiciones de mecanizado para roscas

Datos de Partida					
Del Laboratorio		Suposiciones		Calculados	
α	75	r1 (m)	0,03	$Q \text{ (m}^3/\text{s)}$	0,002496
Q fijado (m^3/h)	10	D1 (m)	0,06	rpm->rad/s	189,504
Q (m^3/h)	8,985	r2 (m)	0,01	Ωs	2,3841
P (mca)	0,641	D2 (m)	0,02	Hn (m)	2,798
rpm	1809,63	Altura Álabes->b (m)	0,005		
Wh (W)	15,738	Espesor de pared (m)	0,001		
We (W)	11,702	nvolumetrico	1		
Γ (Nm)	0,062	Constantes			
η (%)	76,992	g (m/s^2)	9,81		
Q/Q fijado	0,8985	Densidad (kg/m^3)	997		
η tot (%)	91				

Tabla 34: Datos de partida para realizar los cálculos

TURBINA KAPLAN		Comienzo: 23/4/2023	
TIEMPOS DE MECANIZADO CNC Y MONTAJE			
FECHA	MINUTOS	HORAS	MECANIZADO
24/4/2023	60	1:00:00	C13 delantero-trasero
26/4/2023	240	4:00:00	C3-C4 eje rodete y polea
28/4/2023	45	0:45:00	A1 carcasa Pvc rebaje 50 mm
2/5/2023	540	9:00:00	C2-C11 acopl polea y nariz
5/5/2023	120	2:00:00	B4-B5 cilindros distribuidor
9/5/2023	420	7:00:00	A1 cara delantera y trasera
14/05/2023	90	1:30:00	D1-D2-D3-D15 piezas freno
15/05/2023	120	2:00:00	B3 eje distribuidor
22/05/2023	90	1:30:00	B2 torneado eje álabes
23/05/2023	120	2:00:00	B2 roscas ejes álabes
24/05/2023	60	1:00:00	Ajuste eje alabes a carcasa
24/05/2023	60	1:00:00	A3 sujeción codo
5/6/2023	90	1:30:00	B8 nuevas modificadas
12/6/2023	180	3:00:00	B2 ejes álabes modificados
13/06/2023	60	1:00:00	Topes para B7 anillo
1/1/2023	7200	120	Diseño
	2295	38.25	

Mano de obra CNC	38	horas	3,165.00 €
Diseño	120	horas	
TOTAL			3,764.77 €

Tabla 35: Horas de trabajo y presupuesto final

CARCASA (Tareas)	OPERACIÓN	OBSERVAC.	UDS.PIEZA	CARACT.	COSTE
A1_CARCASA PVC CORTE CONTORNO Y REBAJE 50 mm	CORTE AGUA		1		
A1_CARCASA PVC	MECANIZADO		1		40.00 €
A2_CARCASA METACRILATO	CORTE AGUA		1		
A2_CARCASA METACRILATO	MECANIZADO		1		29.00 €
A3_SUJECIÓN CODO	MECANIZADO		1		4.25 €
A4_CODO DE ASPIRACIÓN	COMERCIAL		1		2.70 €
A5_TUBO METACRILATO ASPIRACIÓN D63	COMERCIAL	PVC Transparente	2		52.21 €
A7_CODO TUBERÍA ALIMENTACIÓN	COMERCIAL		1		0.84 €
A8_TUBO PVC ENTRADA D32	COMERCIAL		1		17.28 €
A9_JUNTA TÓRICA CARCASA	COMERCIAL		1		2.23 €
A10_VÁLVULA BOLA (1/4 INC)	COMERCIAL		1		10.11 €
A14_TORNILLERÍA_TOTAL	COMERCIAL	PRECIO TOTAL		INOX	44.44 €
A14_ARANDELAS_TOTAL	COMERCIAL	PRECIO TOTAL		INOX	4.98 €
A14_TUERCAS_TOTAL	COMERCIAL	PRECIO TOTAL		INOX	2.94 €

DISTRIBUIDOR (Tareas)	OPERACIÓN	OBSERVAC.	UDS.PIEZA	CARACT.	COSTE
B1_ÁLABE DIRECTRIZ	MECANIZADO		6		
B2_EJE ÁLABE	MECANIZADO		6		
B3_EJE DISTRIBUIDOR	MECANIZADO		1		
B4_CILINDRO UNIÓN EJE DISTRIBUIDOR-CHAPA	MECANIZADO		1		
B5_CILINDRO VARILLA ROSCADA DISTRIBUIDOR	MECANIZADO		1		
B6_CHAPA UNIÓN CARCASA DISTRIBUIDOR	CORTE AGUA		1		
B7_ANILLO SUJECCIÓN CHAPAS	CORTE AGUA		1		
B8_CHAPA DISTRIBUIDOR	MECANIZADO		5		
B9_CHAPA INDICADORA_2_Desarrollo	MECANIZADO		1		
B10_JUNTAS TÓRICAS EJES ÁLABES	COMERCIAL		12		0.73 €
B11_VOLANTE DISTRIBUIDOR	COMERCIAL		1		
B12_ANILLO PLÁSTICO DISTRIBUIDOR	MECANIZADO		2		1.00 €
B13_VARILLA ROSCADA M8	COMERCIAL		1		4.00 €
TOPES PARA B7 ANILLO SUJECCIÓN CHAPAS	MECANIZADO				

RODETE Y ACOPLAMIENTO EJE PRINCIPAL (Tareas)	OPERACIÓN	OBSERVAC.	UDS.PIEZA	CARACT.	COSTE
C1_HELICE	MECANIZADO	Barra PVC en existencia	1		
C2_ACOPLAMIENTO POLEA CARCASA	MECANIZADO	Barra Nylon	1		
C3_EJE PRINCIPAL RODETE	MECANIZADO	Barra alumio en existencia	1		
C4_POLEA FRENO	MECANIZADO	Barra alumio en existencia	1		
C5_CHAPA PROTECTORA RODAMIENTO	CORTE AGUA	Barra alumio en existencia	1		
C7_RODAMIENTO_24mm	COMERCIAL	Almanzora	1		3.06 €
C8_RODAMIENTO_32mm	COMERCIAL	Almanzora	1		3.54 €
C9_Retén estanco	COMERCIAL	Almanzora	1		1.38 €
C10_TAPA_RODAMIENTO_PVC	MECANIZADO		1		
C11_NARIZ_DELANTERA_PVC	MECANIZADO		1		
C13_SOPORTE DELANTERO HELICE	MECANIZADO		1		
C13_SOPORTE TRASERO HELICE	MECANIZADO		1		

BASTIDOR (Tareas)	OPERACIÓN	OBSERVAC.	UDS.PIEZA	CARACT.	COSTE
D1_CILINDRO FRENO INFERIOR	MECANIZADO		1		
D1_CILINDRO FRENO SUPERIOR	MECANIZADO		1		
D3_SOPORTE DINAMÓMETROS	MECANIZADO		1		
D4_PLACA SOPORTE MANÓMETRO	CORTE AGUA		1		
D5_Escuadras_Base	COMERCIAL		1		
D6_MANÓMETRO	COMERCIAL		1		66.55 €
D7_CINTA FRENO	COMERCIAL		1		
D8_DINAMÓMETRO	COMERCIAL		2		120.00 €
D9_SOPORTE TUBERÍA	MECANIZADO		1		

D9_SOPORTE TUBERÍA GRANDE	MECANIZADO		1		
D9_TAPA SOPORTE TUBERÍA GRANDE	MECANIZADO		1		
D11_Perfil Bosh pequeño 240 mm	COMERCIAL		2		27.60 €
D11_Perfil Bosch 480 mm	COMERCIAL		2		37.66 €
D11_Perfil Bosch pequeño 630 mm	COMERCIAL		2		27.60 €
D11_Perfil Bosh grande 290 mm	COMERCIAL		2		37.66 €
D12_VARILLA ROSCADA M6	COMERCIAL		3		6.00 €
D13_ACOPLAMIENTO DINAMÓMETROS	COMERCIAL		1		
D13_ESCUADRA PERFIL BOSH	COMERCIAL		2		4.00 €
D13_ESCUADRA PERFIL BOSH Grande	COMERCIAL		12		48.00 €
D15_TUERCA_TENSION_DINAMÓMETROS	MECANIZADO		1		

Tabla 36: Componentes del ensamblaje de la turbina Kaplan y costo

12.3 Tablas para realizar algunas piezas

PUNTOS	Θ (°)	Θ (RAD)	R Θ	X	Y
1	0	0,0000	0,0765	76,5000	0,0000
2	10	0,1745	0,0771	75,8931	13,3820
3	20	0,3491	0,0776	72,9502	26,5517
4	30	0,5236	0,0782	67,7268	39,1021
5	40	0,6981	0,0788	60,3495	50,6393
6	50	0,8727	0,0794	51,0125	60,7944
7	60	1,0472	0,0799	39,9732	69,2356
8	70	1,2217	0,0805	27,5448	75,6788
9	80	1,3963	0,0811	14,0880	79,8968
10	90	1,5708	0,0817	0,0000	81,7274
11	100	1,7453	0,0823	-14,2964	81,0791
12	110	1,9199	0,0829	-28,3660	77,9350
13	120	2,0944	0,0835	-41,7740	72,3548
14	130	2,2689	0,0842	-54,0995	64,4733
15	140	2,4435	0,0848	-64,9486	54,4983
16	150	2,6180	0,0854	-73,9666	42,7047
17	160	2,7925	0,0860	-80,8501	29,4270
18	170	2,9671	0,0867	-85,3564	15,0506
19	180	3,1416	0,0873	-87,3120	0,0000
20	190	3,3161	0,0880	-86,6194	-15,2733
21	200	3,4907	0,0886	-83,2605	-30,3043
22	210	3,6652	0,0893	-77,2989	-44,6286

23	220	3,8397	0,0899	-68,8789	-57,7963
24	230	4,0143	0,0906	-58,2223	-69,3867
25	240	4,1888	0,0912	-45,6228	-79,0209
26	250	4,3633	0,0919	-31,4379	-86,3748
27	260	4,5379	0,0926	-16,0791	-91,1889
28	270	4,7124	0,0933	0,0000	-93,2782
29	280	4,8869	0,0940	16,3170	-92,5383
30	290	5,0615	0,0947	32,3751	-88,9499
31	300	5,2360	0,0954	47,6781	-82,5809
32	310	5,4105	0,0961	61,7456	-73,5856
33	320	5,5851	0,0968	74,1280	-62,2008
34	330	5,7596	0,0975	84,4206	-48,7403
35	340	5,9341	0,0982	92,2770	-33,5861
36	350	6,1087	0,0989	97,4201	-17,1778
37	360	6,2832	0,0997	99,6521	0,0000
38	370	6,4577	0,1004	98,8616	17,4320
39	380	6,6323	0,1011	95,0280	34,5874
40	390	6,8068	0,1019	88,2239	50,9361
41	400	6,9813	0,1026	78,6138	65,9648
42	410	7,1558	0,1034	66,4511	79,1933
43	420	7,3304	0,1041	52,0708	90,1893
44	430	7,5049	0,1049	35,8811	98,5824
45	440	7,6794	0,1057	18,3516	104,0770
46	450	7,8540	0,1065	0,0000	106,4616
47	460	8,0285	0,1072	-18,6231	105,6170
48	470	8,2030	0,1080	-36,9508	101,5215
49	480	8,3776	0,1088	-54,4166	94,2524
50	490	8,5521	0,1096	-70,4724	83,9857
51	500	8,7266	0,1104	-84,6048	70,9918
52	510	8,9012	0,1113	-96,3521	55,6289
53	520	9,0757	0,1121	-105,3188	38,3329
54	530	9,2502	0,1129	-111,1888	19,6056
55	540	9,4248	0,1137	-113,7363	0,0000

56	550	9,5993	0,1146	-112,8341	-19,8957
57	560	9,7738	0,1154	-108,4587	-39,4757
58	570	9,9484	0,1163	-100,6929	-58,1350
59	580	10,1229	0,1171	-89,7246	-75,2879
60	590	10,2974	0,1180	-75,8429	-90,3860
61	600	10,4720	0,1189	-59,4301	-102,9360
62	610	10,6465	0,1197	-40,9523	-112,5155
63	620	10,8210	0,1206	-20,9453	-118,7866
64	630	10,9956	0,1215	0,0000	-121,5082
65	640	11,1701	0,1224	21,2552	-120,5443
66	650	11,3446	0,1233	42,1732	-115,8699
67	660	11,5192	0,1242	62,1075	-107,5734
68	670	11,6937	0,1251	80,4325	-95,8557
69	680	11,8682	0,1261	96,5623	-81,0254
70	690	12,0428	0,1270	109,9699	-63,4911
71	700	12,2173	0,1279	120,2039	-43,7506
72	710	12,3918	0,1289	126,9035	-22,3765
73	720	12,5664	0,1298	129,8111	0,0000

Tabla 37: Datos para realizar el spline de la voluta logarítmica

NACA 9520 Airfoil M=9,5% P=50,0% T=20,0%			
Perfil NACA 9520		Cuerda (milímetros)=	65
x	y	x (milímetros)	y (milímetros)
1	0	65	0
0,999774	0,00015	64,98531	0,00975
0,999098	0,000598	64,94137	0,03887
0,997971	0,001343	64,868115	0,087295
0,996393	0,002384	64,765545	0,15496
0,994366	0,003715	64,63379	0,241475
0,99189	0,005334	64,47285	0,34671
0,988965	0,007235	64,282725	0,470275
0,985593	0,009411	64,063545	0,611715

0,981775	0,011855	63,815375	0,770575
0,977512	0,01456	63,53828	0,9464
0,972806	0,017517	63,23239	1,138605
0,967659	0,020715	62,897835	1,346475
0,962073	0,024146	62,534745	1,56949
0,95605	0,027798	62,14325	1,80687
0,949593	0,031658	61,723545	2,05777
0,942704	0,035715	61,27576	2,321475
0,935388	0,039956	60,80022	2,59714
0,927648	0,044368	60,29712	2,88392
0,919487	0,048935	59,766655	3,180775
0,91091	0,053645	59,20915	3,486925
0,901922	0,058481	58,62493	3,801265
0,892527	0,063429	58,014255	4,122885
0,882731	0,068474	57,377515	4,45081
0,87254	0,073599	56,7151	4,783935
0,86196	0,078788	56,0274	5,12122
0,850999	0,084025	55,314935	5,461625
0,839663	0,089294	54,578095	5,80411
0,827959	0,094579	53,817335	6,147635
0,815898	0,099862	53,03337	6,49103
0,803486	0,105128	52,22659	6,83332
0,790733	0,11036	51,397645	7,1734
0,77765	0,115541	50,54725	7,510165
0,764245	0,120656	49,675925	7,84264
0,750531	0,125688	48,784515	8,16972
0,736518	0,130622	47,87367	8,49043
0,722219	0,135441	46,944235	8,803665
0,707646	0,140131	45,99699	9,108515
0,692812	0,144677	45,03278	9,404005
0,677731	0,149063	44,052515	9,689095
0,662417	0,153276	43,057105	9,96294

0,646884	0,157301	42,04746	10,224565
0,631149	0,161127	41,024685	10,473255
0,615227	0,164738	39,989755	10,70797
0,599135	0,168124	38,943775	10,92806
0,58289	0,171273	37,88785	11,132745
0,566508	0,174174	36,82302	11,32131
0,55001	0,176817	35,75065	11,493105
0,533413	0,179191	34,671845	11,647415
0,516736	0,181289	33,58784	11,783785
0,5	0,183103	32,5	11,901695
0,483224	0,184624	31,40956	12,00056
0,466428	0,185849	30,31782	12,080185
0,449634	0,18677	29,22621	12,14005
0,432862	0,187384	28,13603	12,17996
0,416135	0,187688	27,048775	12,19972
0,399473	0,187679	25,965745	12,199135
0,382898	0,187357	24,88837	12,178205
0,366432	0,186721	23,81808	12,136865
0,350097	0,185772	22,756305	12,07518
0,333915	0,184512	21,704475	11,99328
0,317908	0,182945	20,66402	11,891425
0,302096	0,181075	19,63624	11,769875
0,286502	0,178907	18,62263	11,628955
0,271146	0,176447	17,62449	11,469055
0,256049	0,173703	16,643185	11,290695
0,241232	0,170684	15,68008	11,09446
0,226713	0,167398	14,736345	10,88087
0,212513	0,163857	13,813345	10,650705
0,198649	0,16007	12,912185	10,40455
0,18514	0,156052	12,0341	10,14338
0,172003	0,151813	11,180195	9,867845
0,159254	0,147368	10,35151	9,57892

0,146909	0,142731	9,549085	9,277515
0,134982	0,137917	8,77383	8,964605
0,123489	0,13294	8,026785	8,6411
0,112441	0,127817	7,308665	8,308105
0,101851	0,122564	6,620315	7,96666
0,091731	0,117196	5,962515	7,61774
0,08209	0,111729	5,33585	7,262385
0,072939	0,106181	4,741035	6,901765
0,064285	0,100568	4,178525	6,53692
0,056137	0,094905	3,648905	6,168825
0,048502	0,089209	3,15263	5,798585
0,041385	0,083495	2,690025	5,427175
0,034792	0,077779	2,26148	5,055635
0,028726	0,072075	1,86719	4,684875
0,023192	0,066398	1,50748	4,31587
0,018193	0,060761	1,182545	3,949465
0,013729	0,055177	0,892385	3,586505
0,009804	0,049658	0,63726	3,22777
0,006417	0,044215	0,417105	2,873975
0,003569	0,038859	0,231985	2,525835
0,001258	0,033598	0,08177	2,18387
-0,000515	0,028441	-0,033475	1,848665
-0,001752	0,023395	-0,11388	1,520675
-0,002457	0,018466	-0,159705	1,20029
-0,00263	0,013659	-0,17095	0,887835
-0,002276	0,008978	-0,14794	0,58357
-0,001398	0,004424	-0,09087	0,28756
0	0	0	0
0,001892	-0,004237	0,12298	-0,275405
0,004249	-0,008229	0,276185	-0,534885
0,007068	-0,011977	0,45942	-0,778505
0,010342	-0,015482	0,67223	-1,00633

0,014064	-0,018746	0,91416	-1,21849
0,018227	-0,02177	1,184755	-1,41505
0,022825	-0,024557	1,483625	-1,596205
0,027848	-0,027108	1,81012	-1,76202
0,033289	-0,029426	2,163785	-1,91269
0,03914	-0,031515	2,5441	-2,048475
0,04539	-0,033376	2,95035	-2,16944
0,052031	-0,035013	3,382015	-2,275845
0,059053	-0,03643	3,838445	-2,36795
0,066447	-0,037631	4,319055	-2,446015
0,074202	-0,038619	4,82313	-2,510235
0,082308	-0,039399	5,35002	-2,560935
0,090756	-0,039976	5,89914	-2,59844
0,099535	-0,040354	6,469775	-2,62301
0,108634	-0,04054	7,06121	-2,6351
0,118044	-0,040538	7,67286	-2,63497
0,127755	-0,040355	8,304075	-2,623075
0,137756	-0,039997	8,95414	-2,599805
0,148038	-0,03947	9,62247	-2,56555
0,15859	-0,038783	10,30835	-2,520895
0,169405	-0,03794	11,011325	-2,4661
0,180471	-0,036952	11,730615	-2,40188
0,191779	-0,035825	12,465635	-2,328625
0,203322	-0,034567	13,21593	-2,246855
0,21509	-0,033187	13,98085	-2,157155
0,227075	-0,031695	14,759875	-2,060175
0,239268	-0,030099	15,55242	-1,956435
0,25166	-0,028408	16,3579	-1,84652
0,264245	-0,026632	17,175925	-1,73108
0,277015	-0,02478	18,005975	-1,6107
0,28996	-0,022864	18,8474	-1,48616
0,303075	-0,020892	19,699875	-1,35798

0,31635	-0,018875	20,56275	-1,226875
0,329779	-0,016823	21,435635	-1,093495
0,343355	-0,014746	22,318075	-0,95849
0,357068	-0,012656	23,20942	-0,82264
0,370912	-0,010561	24,10928	-0,686465
0,384878	-0,008472	25,01707	-0,55068
0,398959	-0,006398	25,932335	-0,41587
0,413146	-0,00435	26,85449	-0,28275
0,427431	-0,002337	27,783015	-0,151905
0,441804	-0,000369	28,71726	-0,023985
0,456258	0,001547	29,65677	0,100555
0,470781	0,003402	30,600765	0,22113
0,485366	0,005188	31,54879	0,33722
0,5	0,006897	32,5	0,448305
0,514674	0,008523	33,45381	0,553995
0,529377	0,01006	34,409505	0,6539
0,544098	0,011501	35,36637	0,747565
0,558825	0,012841	36,323625	0,834665
0,573545	0,014077	37,280425	0,915005
0,588246	0,015204	38,23599	0,98826
0,602916	0,01622	39,18954	1,0543
0,617541	0,017123	40,140165	1,112995
0,632107	0,01791	41,086955	1,16415
0,6466	0,018581	42,029	1,207765
0,661007	0,019136	42,965455	1,24384
0,675312	0,019575	43,89528	1,272375
0,689502	0,019901	44,81763	1,293565
0,70356	0,020114	45,7314	1,30741
0,717472	0,020218	46,63568	1,31417
0,731223	0,020215	47,529495	1,313975
0,744796	0,020111	48,41174	1,307215
0,758177	0,019908	49,281505	1,29402

0,77135	0,019612	50,13775	1,27478
0,7843	0,019229	50,9795	1,249885
0,797009	0,018764	51,805585	1,21966
0,809464	0,018223	52,61516	1,184495
0,821649	0,017613	53,407185	1,144845
0,833548	0,01694	54,18062	1,1011
0,845146	0,016212	54,93449	1,05378
0,856429	0,015436	55,667885	1,00334
0,86738	0,01462	56,3797	0,9503
0,877987	0,013769	57,069155	0,894985
0,888233	0,012893	57,735145	0,838045
0,898107	0,011999	58,376955	0,779935
0,907594	0,011093	58,99361	0,721045
0,91668	0,010183	59,5842	0,661895
0,925354	0,009277	60,14801	0,603005
0,933602	0,008381	60,68413	0,544765
0,941414	0,007502	61,19191	0,48763
0,948777	0,006647	61,670505	0,432055
0,955682	0,005822	62,11933	0,37843
0,962118	0,005033	62,53767	0,327145
0,968075	0,004285	62,924875	0,278525
0,973545	0,003584	63,280425	0,23296
0,978519	0,002934	63,603735	0,19071
0,98299	0,00234	63,89435	0,1521
0,986952	0,001807	64,15188	0,117455
0,990398	0,001337	64,37587	0,086905
0,993322	0,000934	64,56593	0,06071
0,995721	0,000601	64,721865	0,039065
0,997591	0,000339	64,843415	0,022035
0,998929	0,000151	64,930385	0,009815
0,999732	0,000038	64,98258	0,00247
1	0	65	0

Tabla 38: Datos para realizar el spline del álabe directriz

NACA 5615 Airfoil M=5,0% P=60,0% T=15,0%			
Álabe		L (milímetros)=	18,873
x	y	x (milímetros)	y (milímetros)
1	0	18,873	0
0,999057	0,00042	18,8552028	0,00792666
0,996229	0,001674	18,8018299	0,0315934
0,991524	0,003744	18,7130325	0,07066051
0,984951	0,006597	18,5889802	0,12450518
0,976528	0,010192	18,4300129	0,19235362
0,966275	0,014474	18,2365081	0,2731678
0,954218	0,01938	18,0089563	0,36575874
0,940387	0,024837	17,7479239	0,4687487
0,924821	0,030764	17,4541467	0,58060897
0,907563	0,037074	17,1284365	0,6996976
0,888662	0,043675	16,7717179	0,82427828
0,868175	0,050469	16,3850668	0,95250144
0,846165	0,057358	15,969672	1,08251753
0,822702	0,064242	15,5268548	1,21243927
0,797863	0,071018	15,0580684	1,34032271
0,771733	0,077587	14,5649169	1,46429945
0,744404	0,083853	14,0491367	1,58255767
0,715973	0,089719	13,5125584	1,69326669
0,686548	0,095096	12,9572204	1,79474681
0,65624	0,0999	12,3852175	1,8854127
0,62517	0,104051	11,7988334	1,96375452
0,59359	0,107485	11,2028241	2,02856441
0,562039	0,110372	10,607362	2,08305076
0,530186	0,112777	10,0062004	2,12844032
0,498165	0,114663	9,40186805	2,1640348
0,466109	0,115993	8,79687516	2,18913589

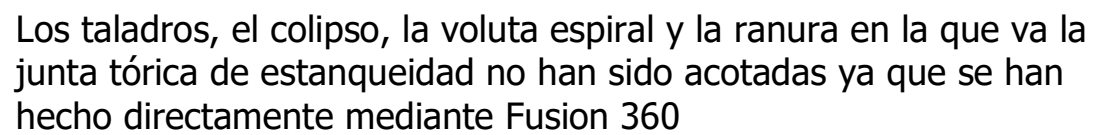
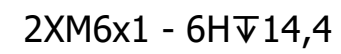
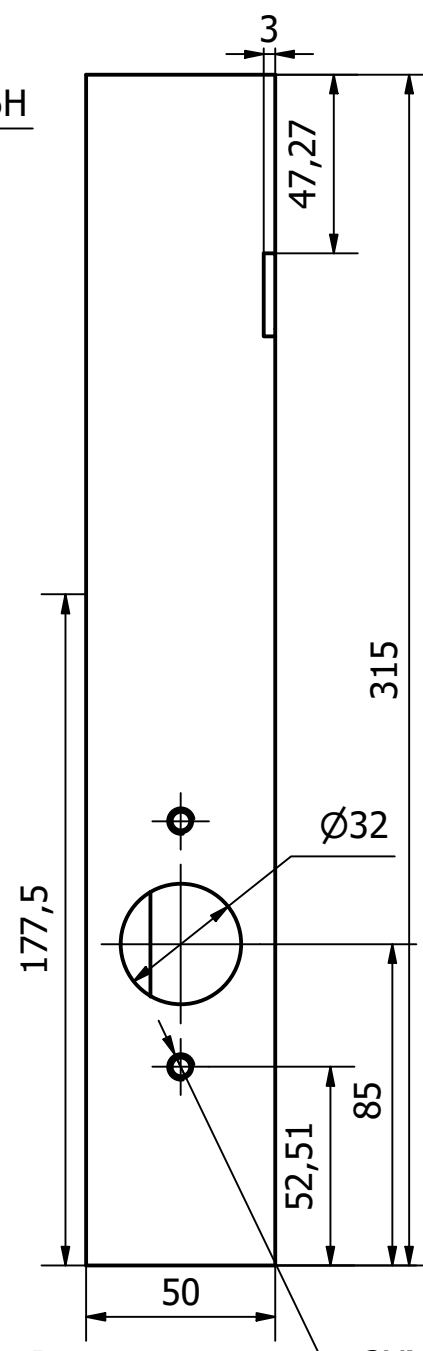
0,434152	0,11674	8,1937507	2,20323402
0,402431	0,116879	7,59508026	2,20585737
0,371082	0,11639	7,00343059	2,19662847
0,340242	0,115264	6,42138727	2,17537747
0,310043	0,113495	5,85144154	2,14199114
0,280619	0,111086	5,29612239	2,09652608
0,252099	0,108047	4,75786443	2,03917103
0,224606	0,104397	4,23898904	1,97028458
0,198261	0,100163	3,74177985	1,8903763
0,173178	0,095379	3,26838839	1,80008787
0,149464	0,090085	2,82083407	1,70017421
0,12722	0,08433	2,40102306	1,59156009
0,106538	0,078167	2,01069167	1,47524579
0,087503	0,071653	1,65144412	1,35230707
0,07019	0,064848	1,32469587	1,2238763
0,054665	0,057816	1,03169255	1,09116137
0,040988	0,050617	0,77356652	0,95529464
0,029207	0,043311	0,55122371	0,8174085
0,019362	0,035956	0,36541903	0,67859759
0,011485	0,028603	0,21675641	0,53982442
0,0056	0,021298	0,1056888	0,40195715
0,00172	0,014077	0,03246156	0,26567522
-0,000146	0,006972	-0,0027555	0,13158256
0	0	0	0
0,002119	-0,006643	0,03999189	-0,1253733
0,006165	-0,012768	0,11635205	-0,2409705
0,012113	-0,018367	0,22860865	-0,3466404
0,019931	-0,023436	0,37615776	-0,4423076
0,029581	-0,027965	0,55828221	-0,5277834
0,041017	-0,03195	0,77411384	-0,6029924
0,054185	-0,035384	1,02263351	-0,6678022
0,069028	-0,038263	1,30276544	-0,7221376

0,085482	-0,040586	1,61330179	-0,7659796
0,10348	-0,042355	1,95297804	-0,7993659
0,122948	-0,043576	2,3203976	-0,8224098
0,143811	-0,044259	2,714145	-0,8353001
0,165989	-0,04442	3,1327104	-0,8383387
0,189398	-0,044078	3,57450845	-0,8318841
0,213954	-0,043261	4,03795384	-0,8164649
0,239567	-0,041997	4,52134799	-0,7926094
0,266148	-0,040324	5,0230112	-0,7610349
0,293601	-0,03828	5,54113167	-0,7224584
0,321832	-0,035909	6,07393534	-0,6777106
0,350741	-0,033257	6,61953489	-0,6276594
0,380228	-0,030371	7,17604304	-0,5731919
0,410188	-0,0273	7,74147812	-0,5152329
0,440515	-0,02409	8,3138396	-0,4546506
0,471101	-0,020789	8,89108917	-0,3923508
0,501835	-0,01744	9,47113196	-0,3291451
0,532604	-0,014085	10,0518353	-0,2658262
0,563295	-0,010759	10,6310665	-0,2030546
0,593791	-0,007496	11,2066175	-0,141472
0,62352	-0,004421	11,767693	-0,0834375
0,652777	-0,001757	12,3198603	-0,0331599
0,681577	0,000487	12,8634027	0,00919115
0,709806	0,002316	13,3961686	0,04370987
0,73735	0,003743	13,9160066	0,07064164
0,764094	0,004791	14,4207461	0,09042054
0,789922	0,005486	14,9081979	0,10353728
0,814722	0,005862	15,3762483	0,11063353
0,838382	0,005956	15,8227835	0,11240759
0,860793	0,005811	16,2457463	0,109671
0,881851	0,005468	16,6431739	0,10319756
0,901454	0,004973	17,0131413	0,09385543

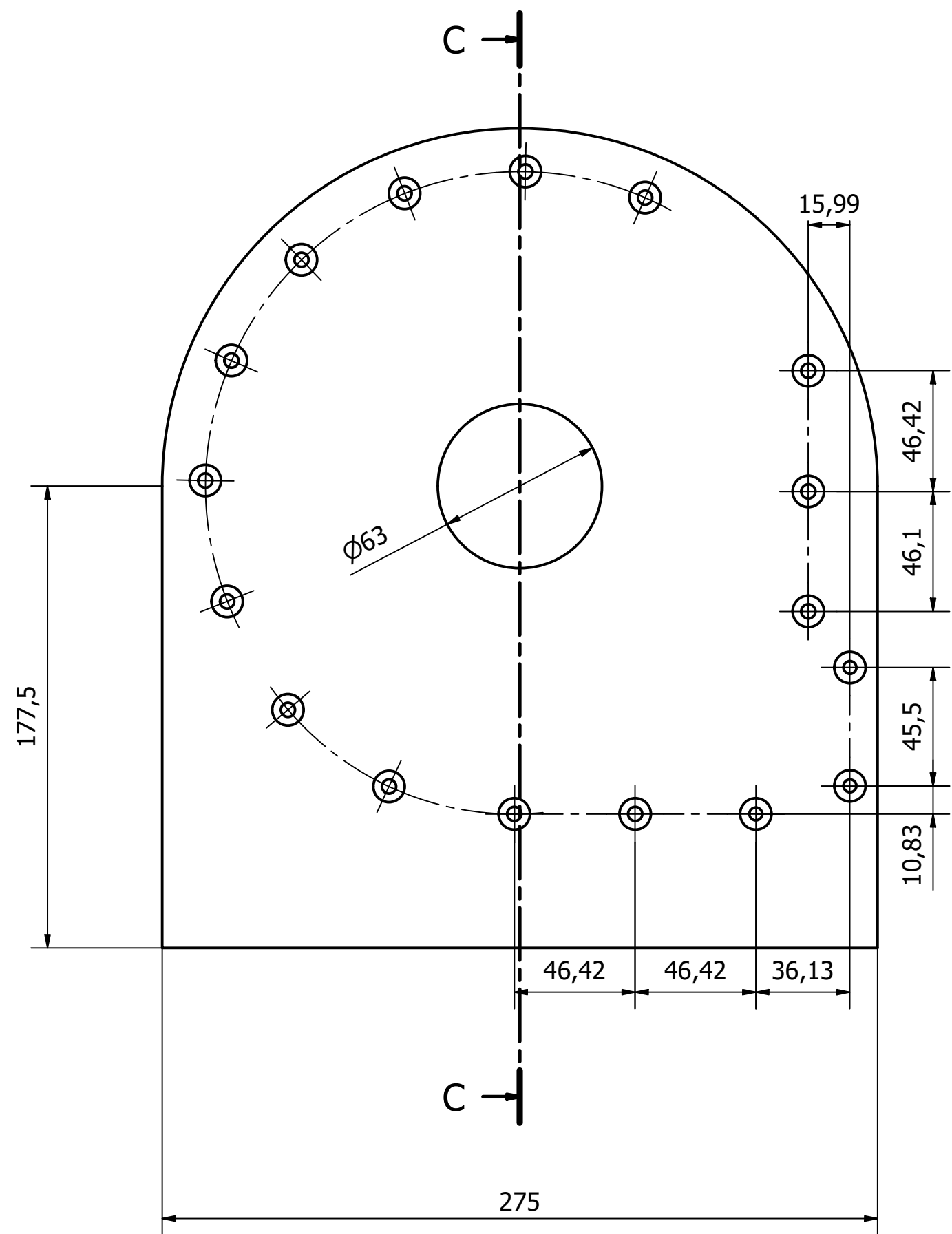
0,919507	0,004368	17,3538556	0,08243726
0,935919	0,003696	17,6635993	0,06975461
0,950609	0,002998	17,9408437	0,05658125
0,963501	0,002312	18,1841544	0,04363438
0,974528	0,00167	18,3922669	0,03151791
0,983632	0,001103	18,5640867	0,02081692
0,990764	0,000635	18,698689	0,01198436
0,995886	0,000287	18,7953565	0,00541655
0,99897	0,000073	18,8535608	0,00137773
1	0	18,873	0

Tabla 39: Datos para realizar el spline de los Perfiles para la hélice

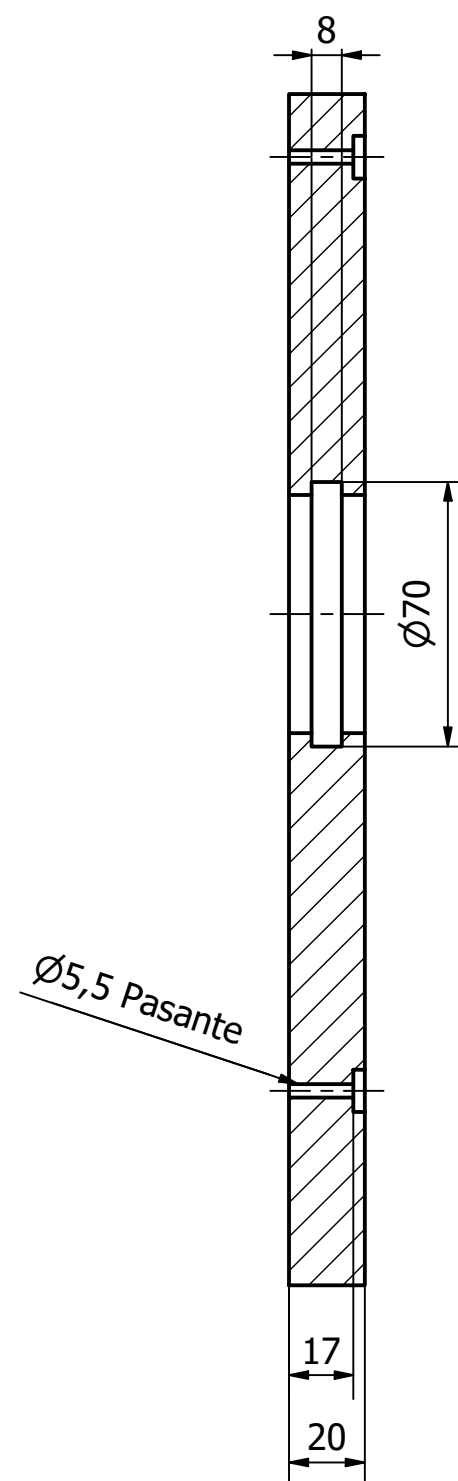
12.4 Planos de los elementos diseñado



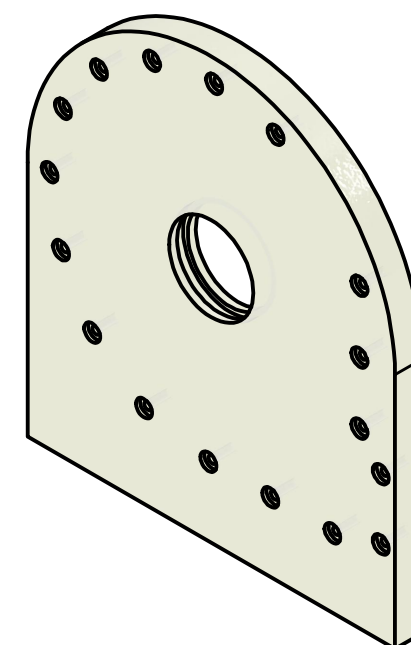
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Nuria Sabio		
COMPROBADO				
ESCALA: 1 : 2	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente A1__Carcasa PVC			Nº PLANO 1 / 29
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



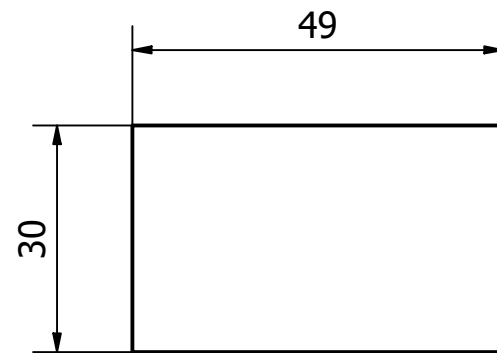
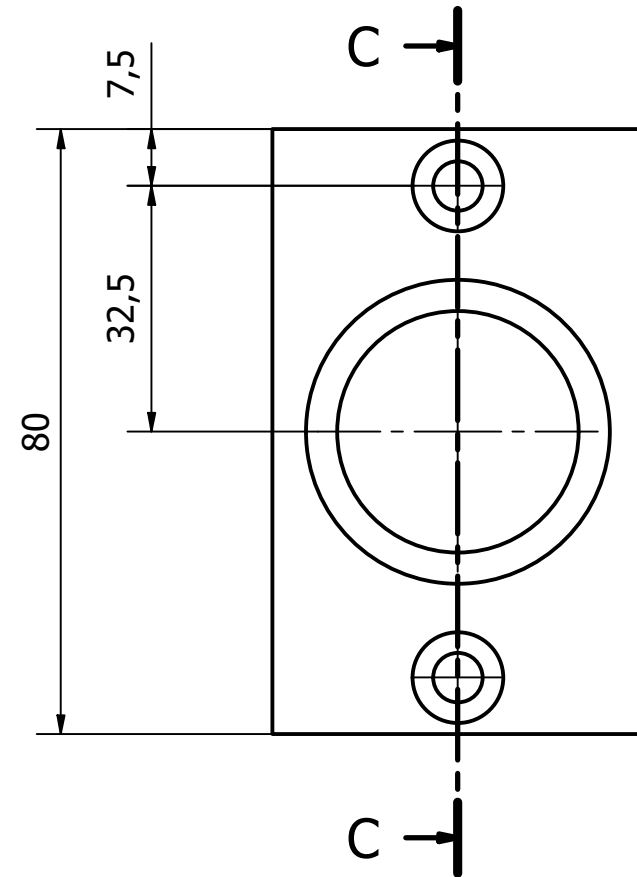
C-C (1 : 2)



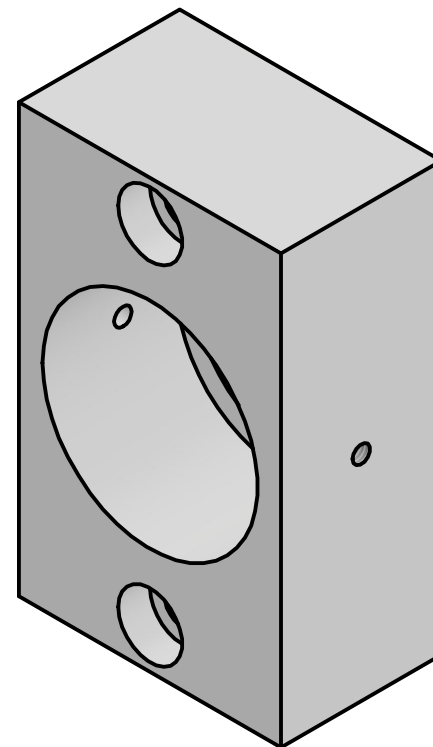
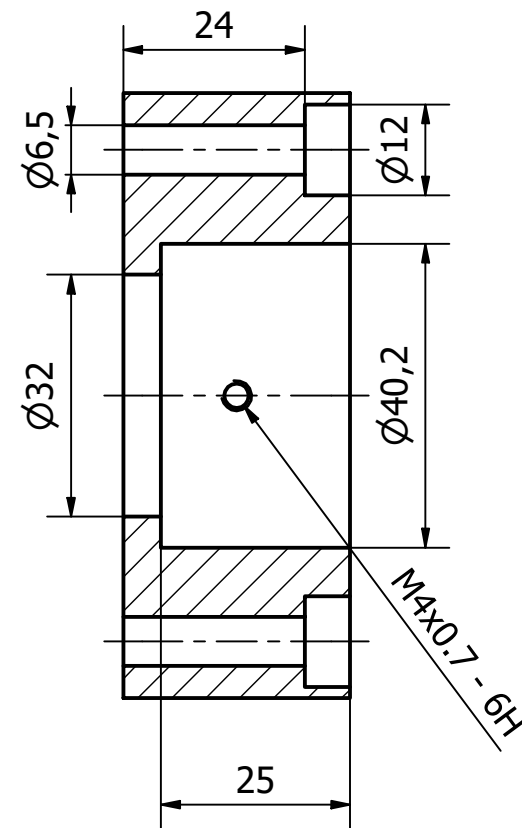
Los taladros se han realizado mediante Fusion 360 según el diseño de la carcasa trasera de PVC



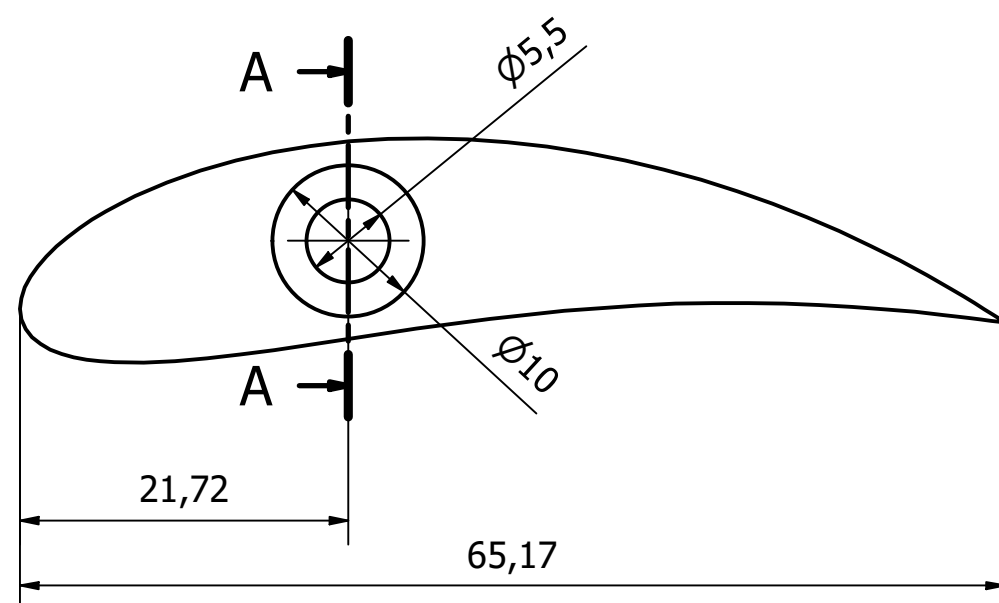
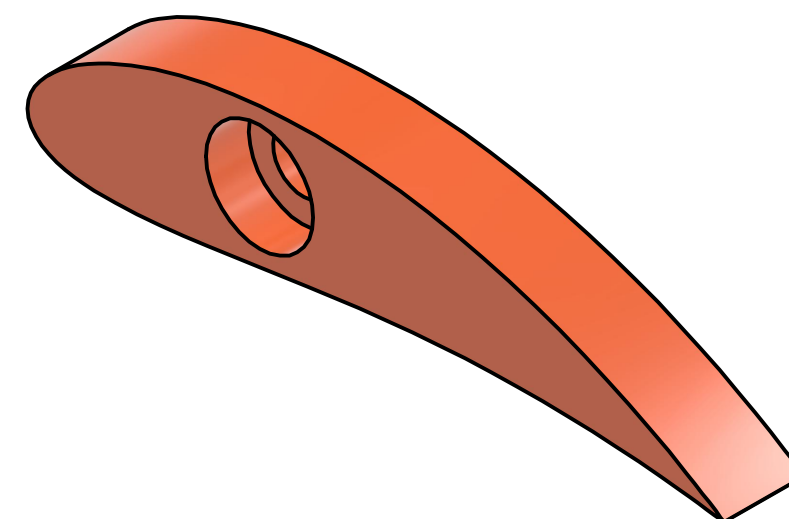
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINAES	
DIBUJADO		Nuria Sabio			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente			Nº PLANO	
1 : 2				2 / 29	
				SUSTITUYE A:	
	A2_Carcasa Metacrilato			SUSTITUIDO POR:	



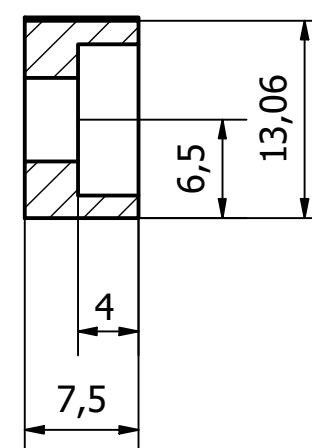
C-C (1 : 1)



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		Nuria Sabio			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente			Nº PLANO	
1 : 1				3 / 29	
				SUSTITUYE A:	
	A3_Sujeción Codo			SUSTITUIDO POR:	



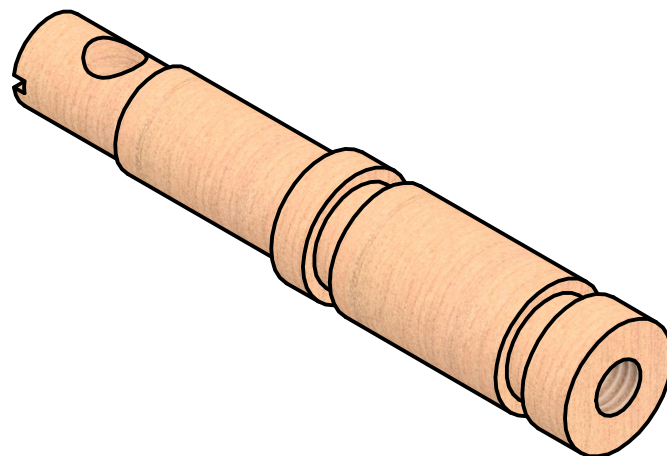
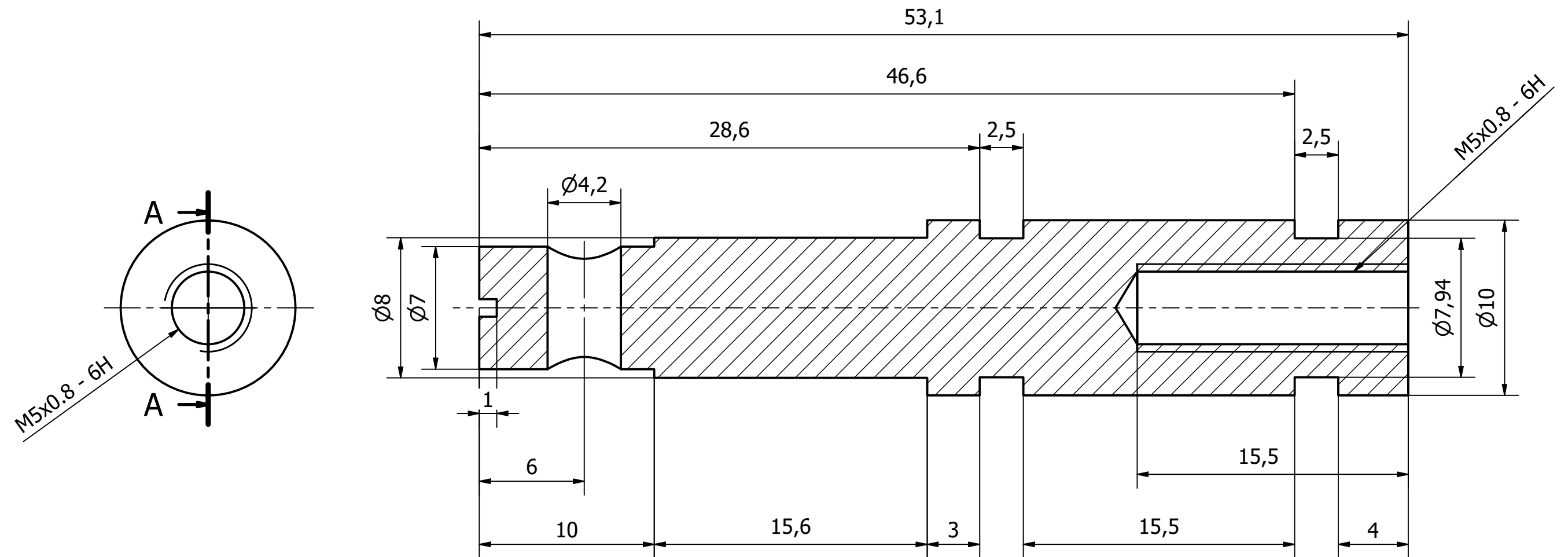
A-A (2 : 1)



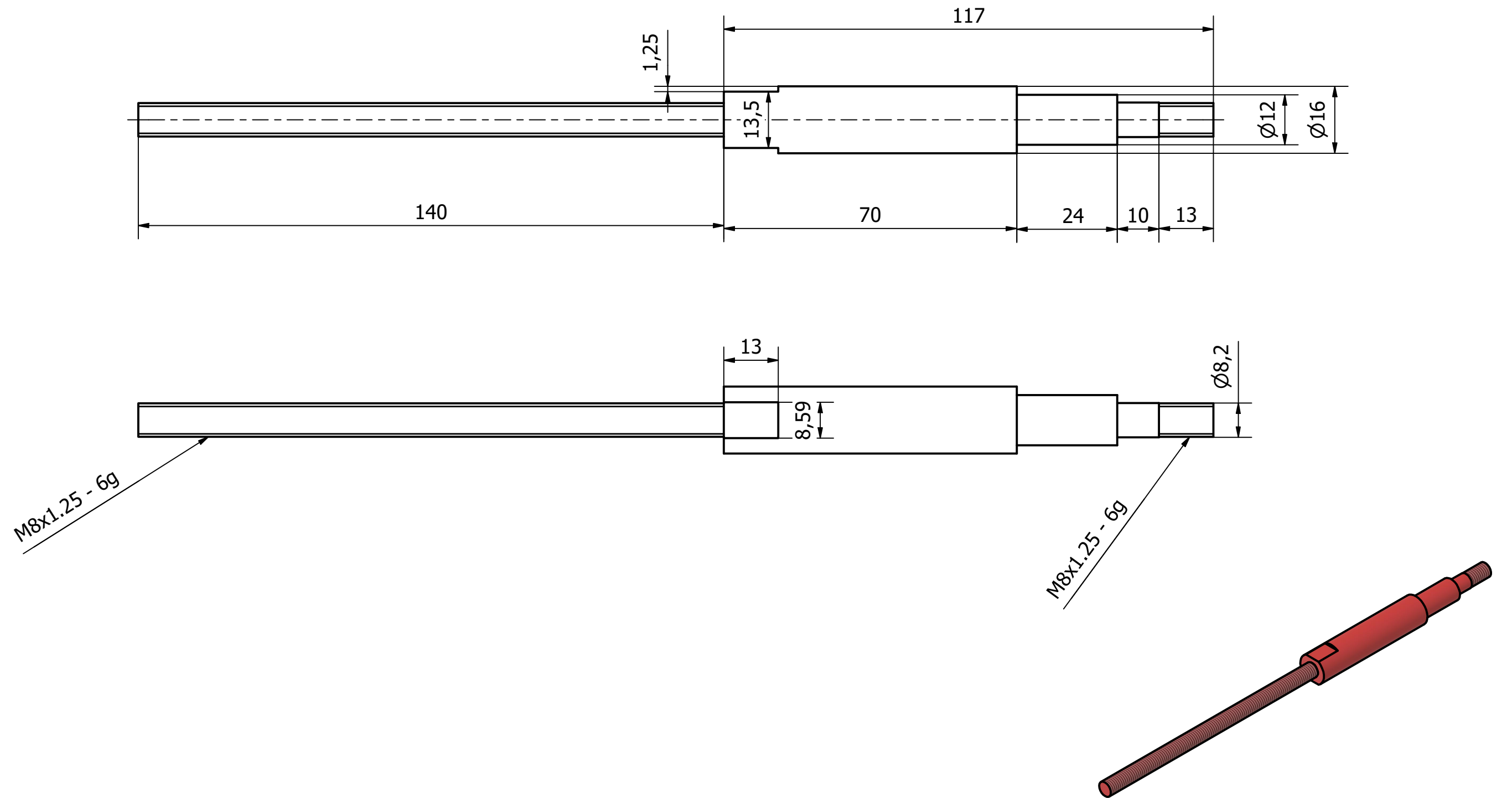
Perfil NACA 9520 fabricado mediante la impresora de resina en 3D con resina ABS

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		Nuria Sabio			
COMPROBADO					
ESCALA: 2 : 1	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente				Nº PLANO 4 / 29
	B1_Álabe directriz				SUSTITUYE A:
					SUSTITUIDO POR:

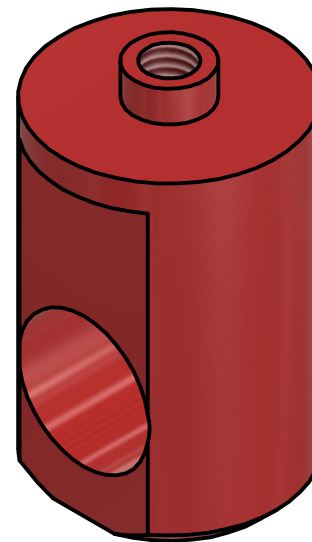
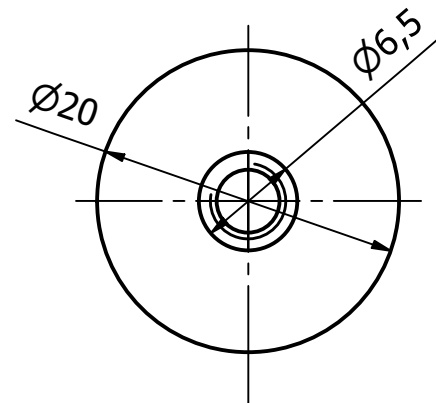
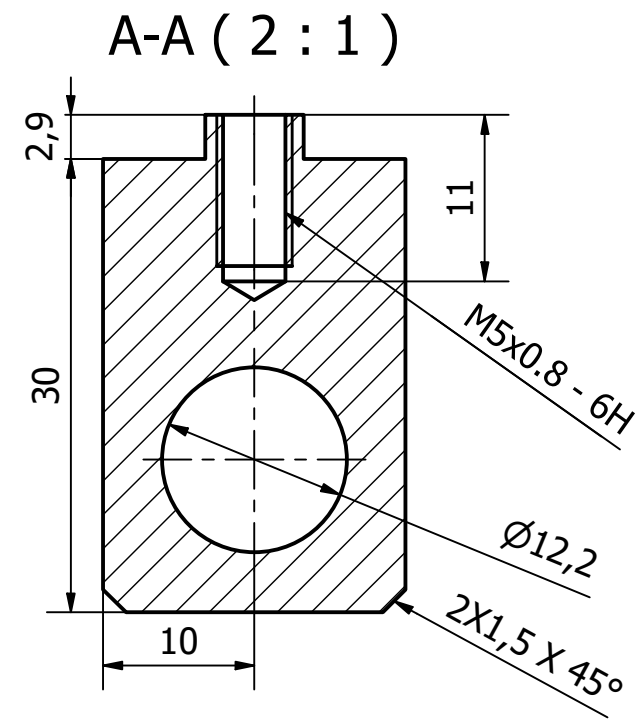
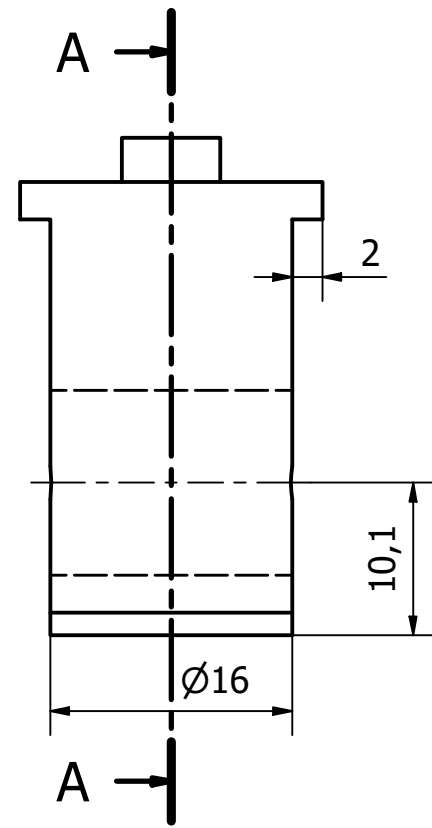
A-A (4 : 1)



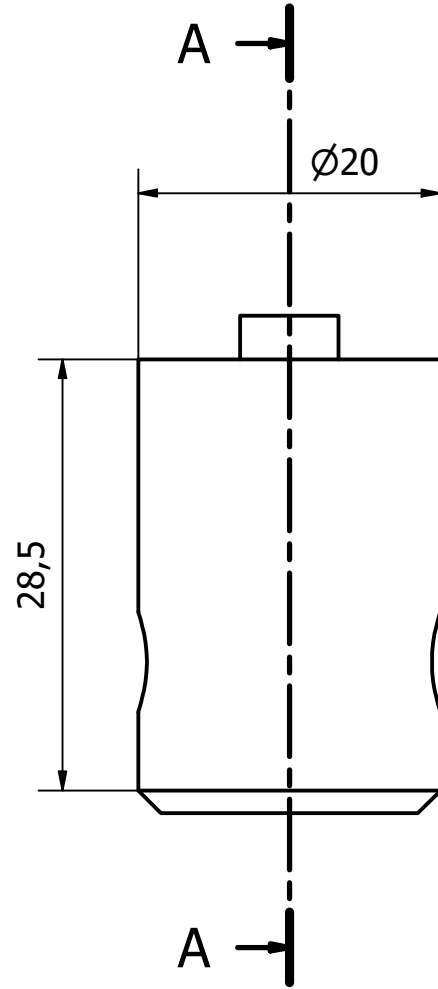
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Nuria Sabio		
COMPROBADO				
ESCALA: 4 : 1	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente B2__Eje álabe__Modificado			Nº PLANO 5 / 29 SUSTITUYE A: SUSTITUIDO POR:



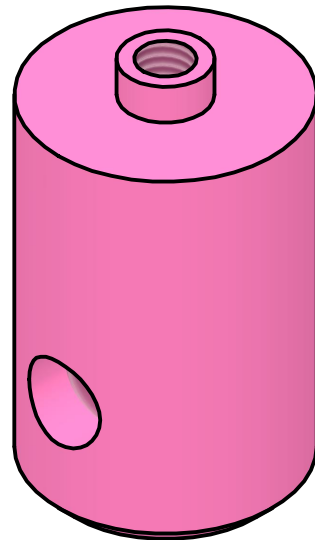
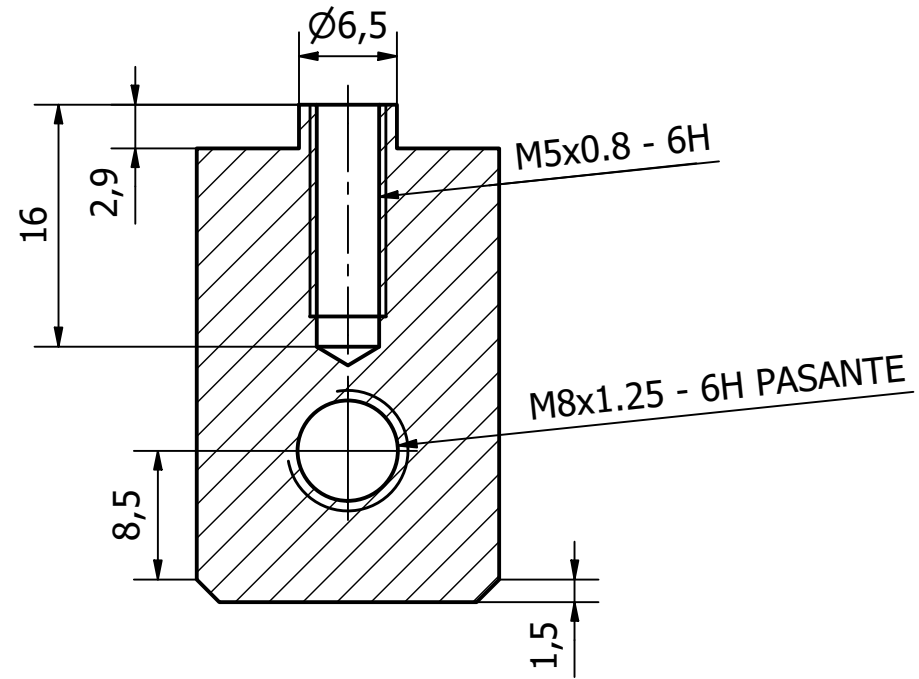
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Nuria Sabio		
COMPROBADO				
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente			Nº PLANO
1 : 1				6 / 29
				SUSTITUYE A:
	B3_Eje distribuidor			SUSTITUIDO POR:



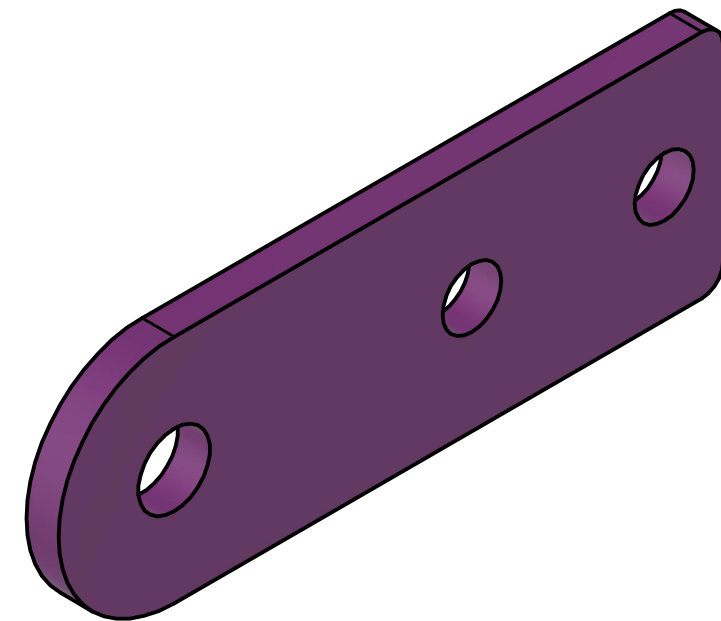
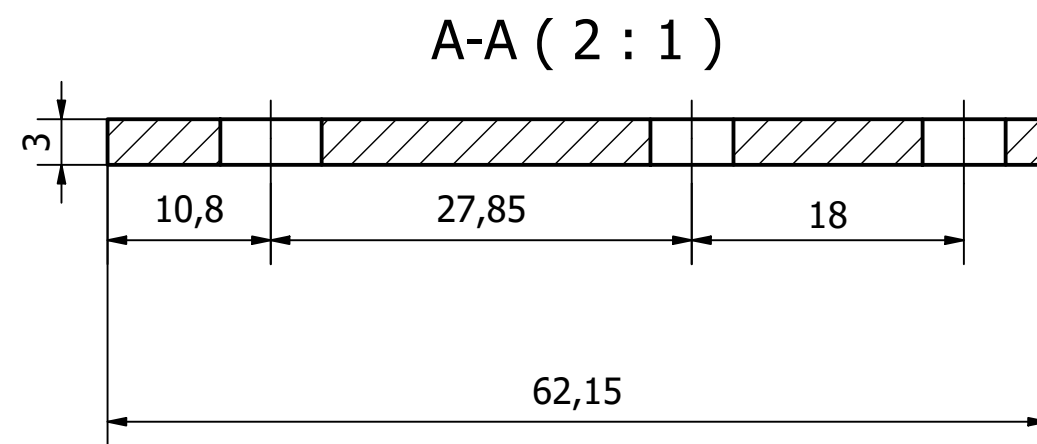
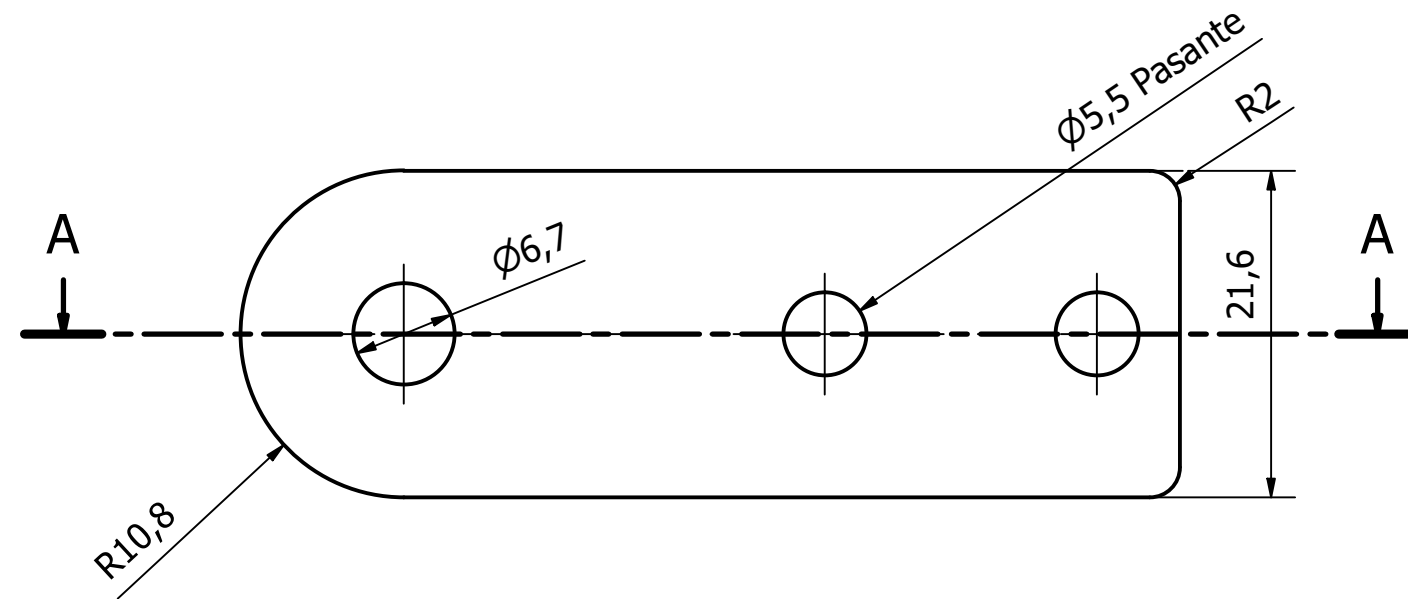
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Nuria Sabio		
COMPROBADO				
ESCALA: 2 : 1	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente			Nº PLANO 7 / 29
	B4__CILINDRO UNIÓN EJE DISTRIBUIDOR-CHAPA			SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



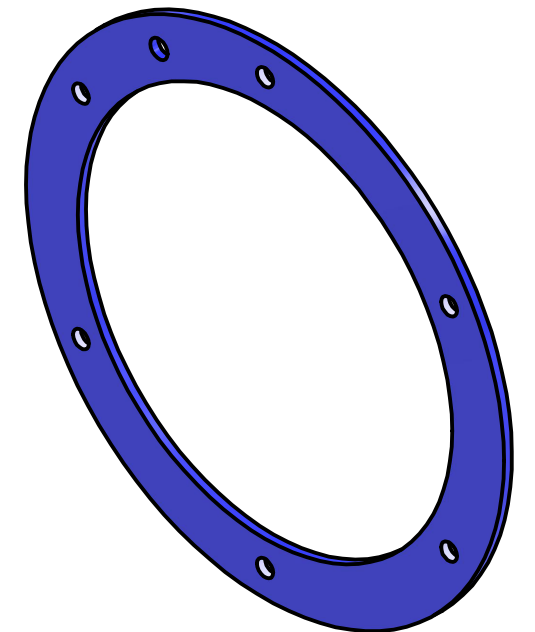
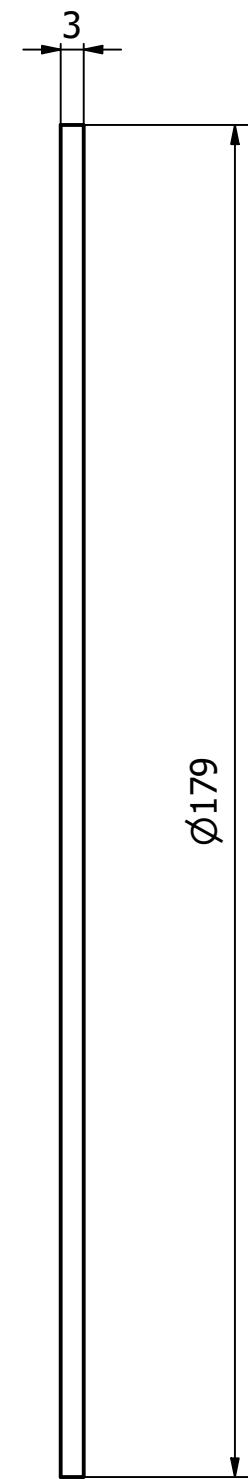
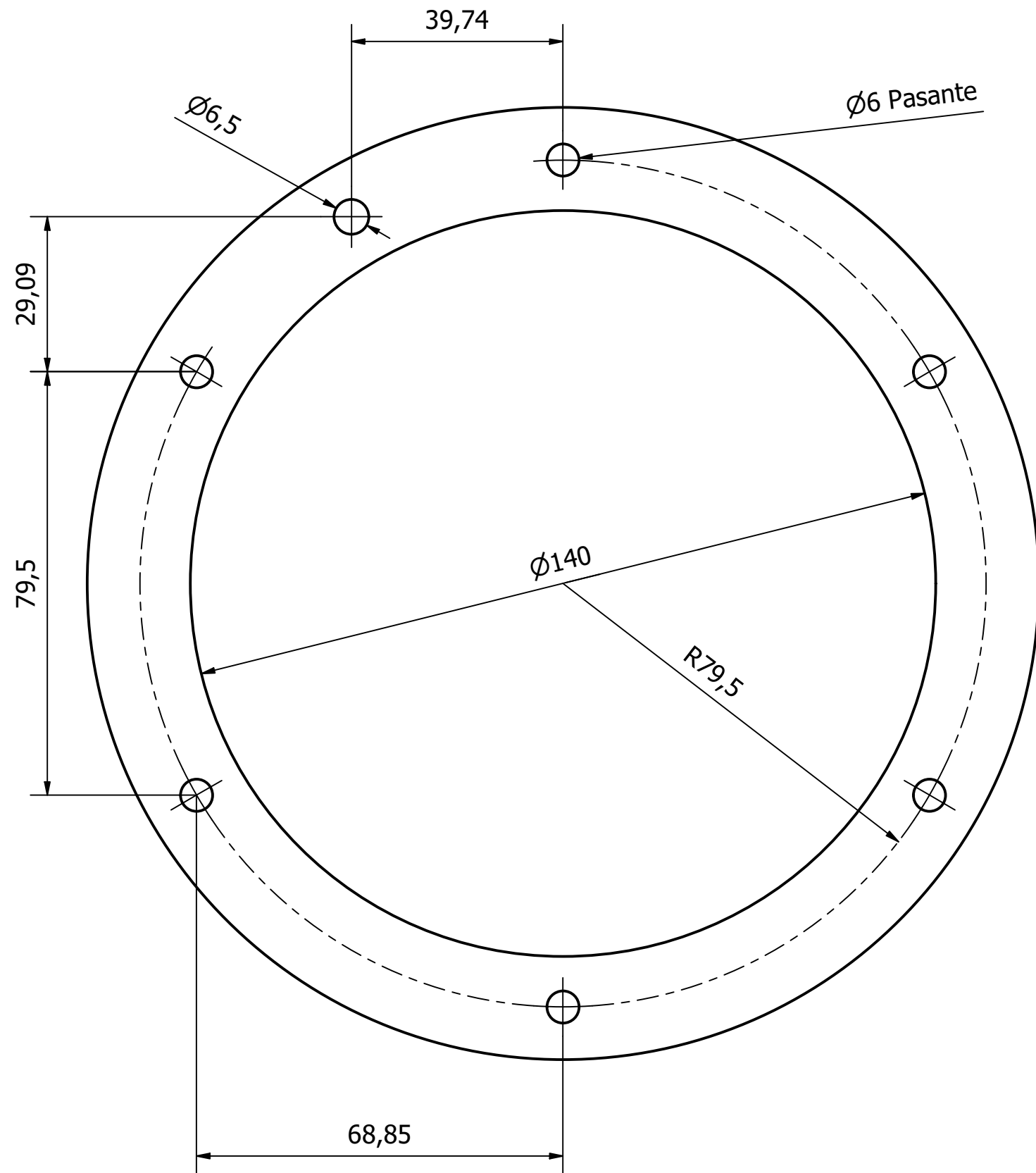
A-A (2 : 1)



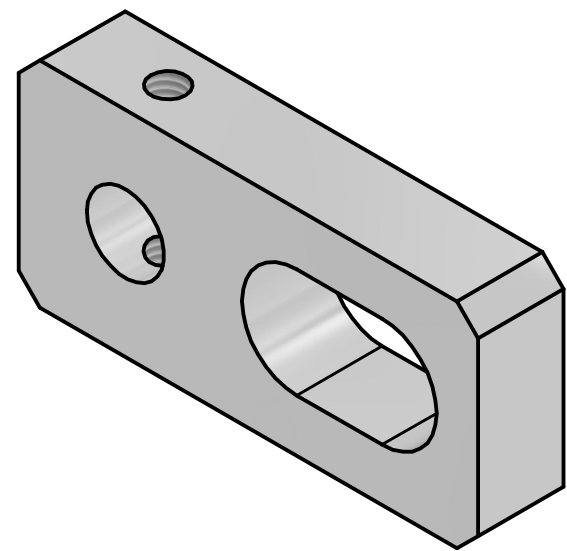
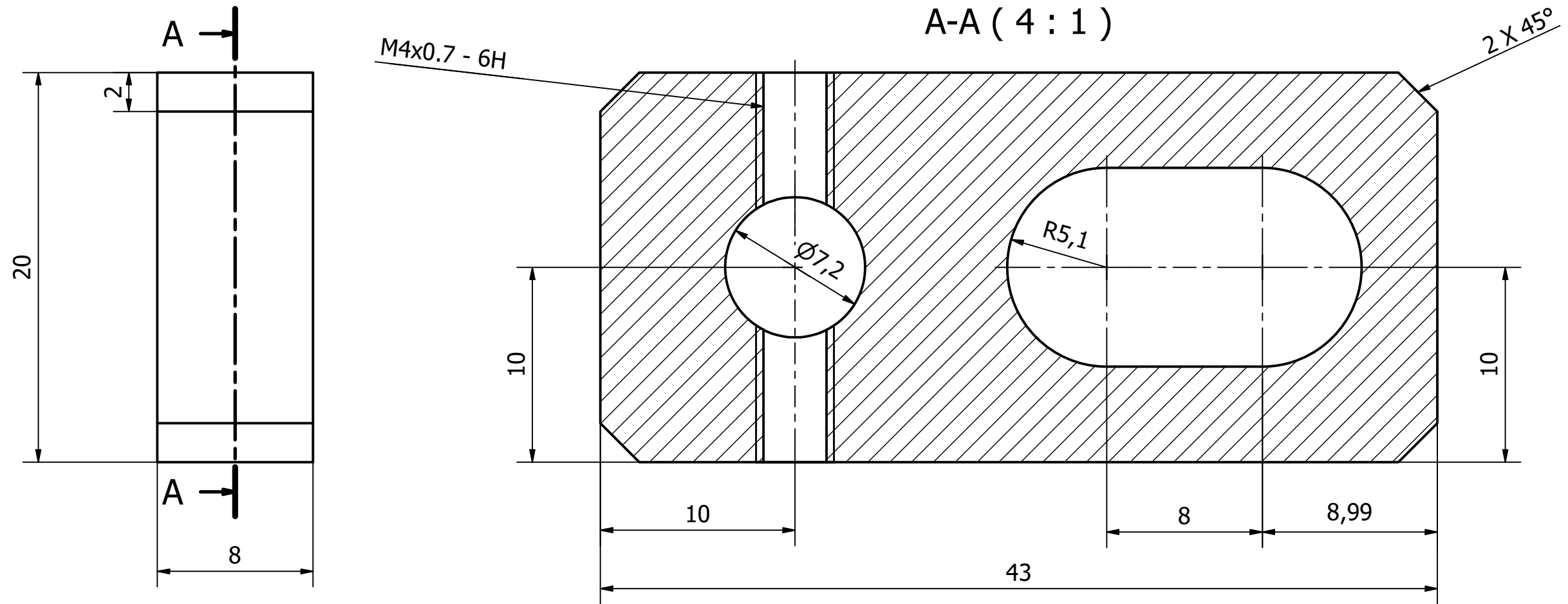
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Nuria Sabio		
COMPROBADO				
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente			Nº PLANO
2 : 1	B5_CILINDRO VARILLA EJE DISTRIBUIDOR			8 / 29
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



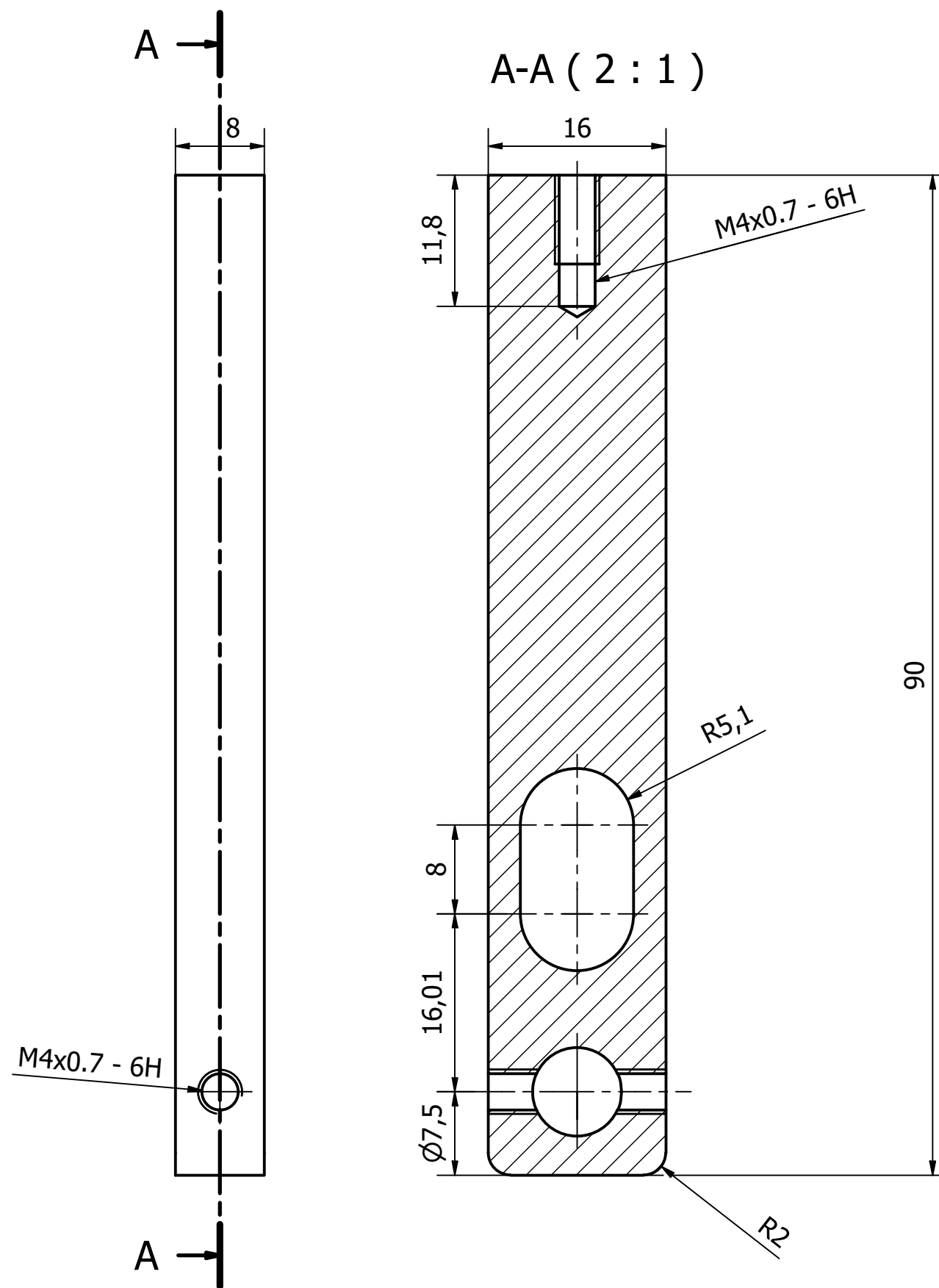
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Nuria Sabio		
COMPROBADO				
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente			Nº PLANO
2 : 1	B6__CHAPA UNIÓN CARCASA DISTRIBUIDOR			9 / 29
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



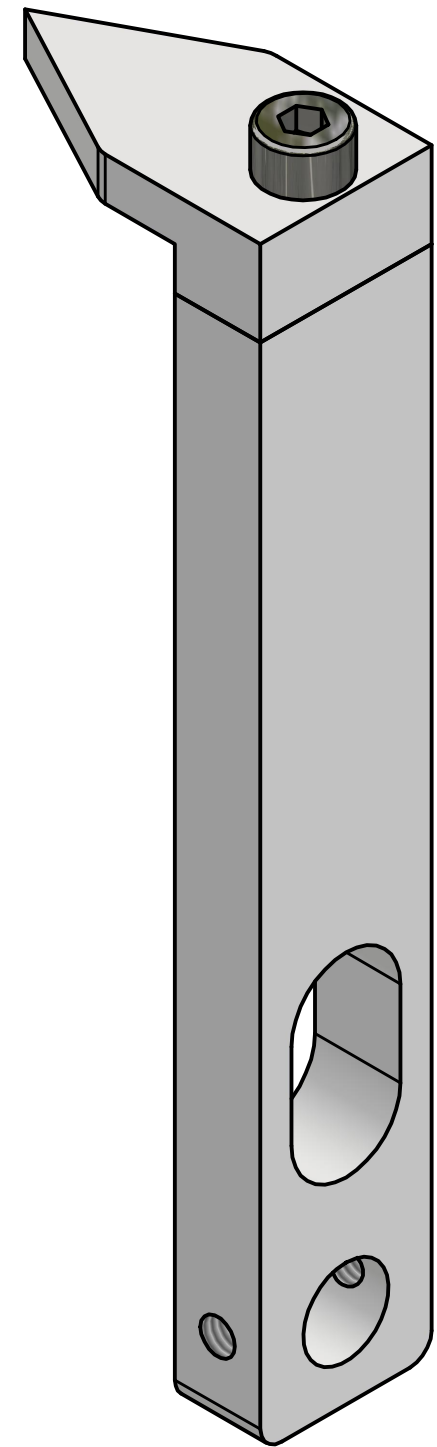
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Nuria Sabio		
COMPROBADO				
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente			Nº PLANO 10 / 29
1 : 1				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



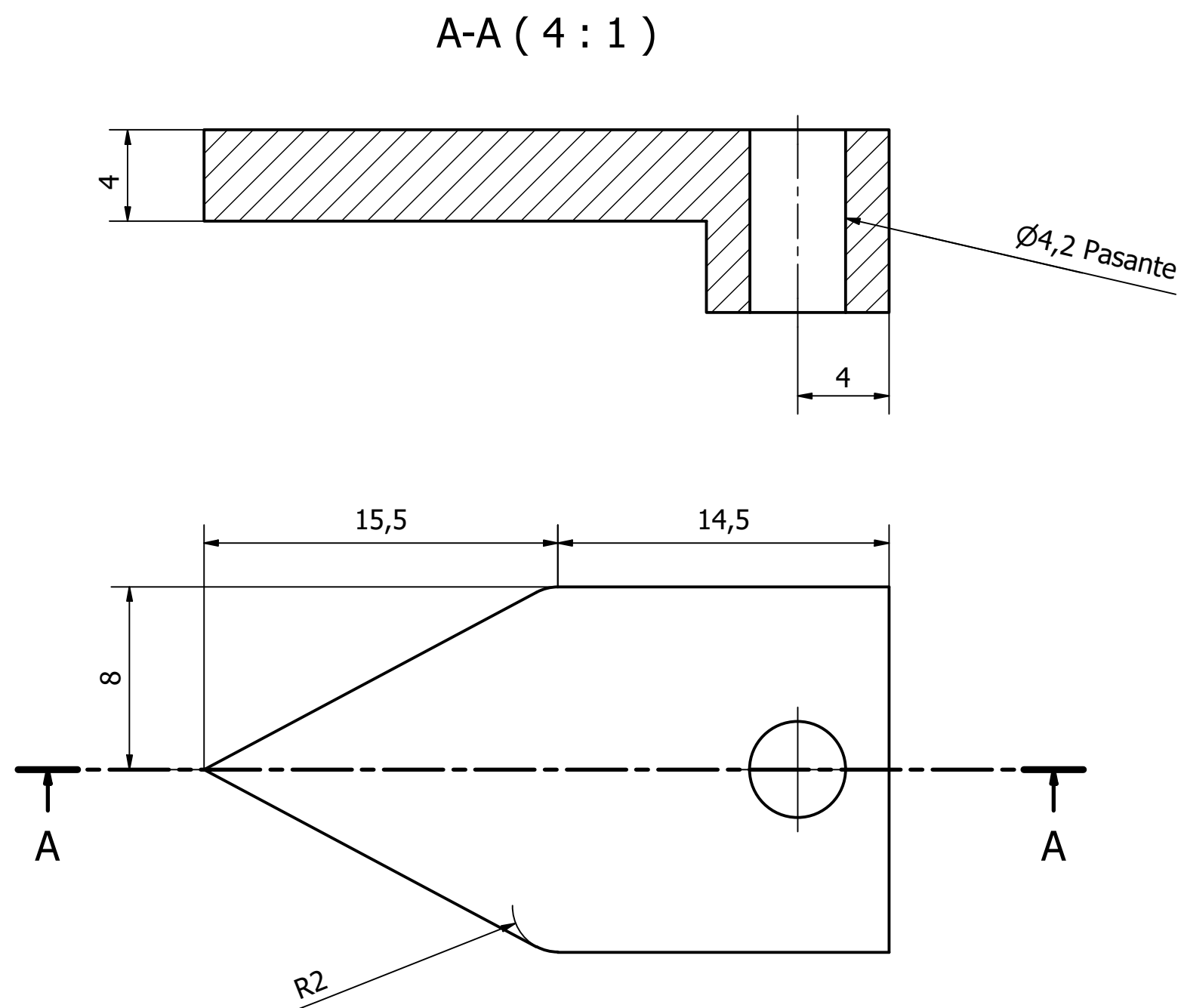
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Nuria Sabio		
COMPROBADO				
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente			Nº PLANO 11 / 29
4 : 1				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



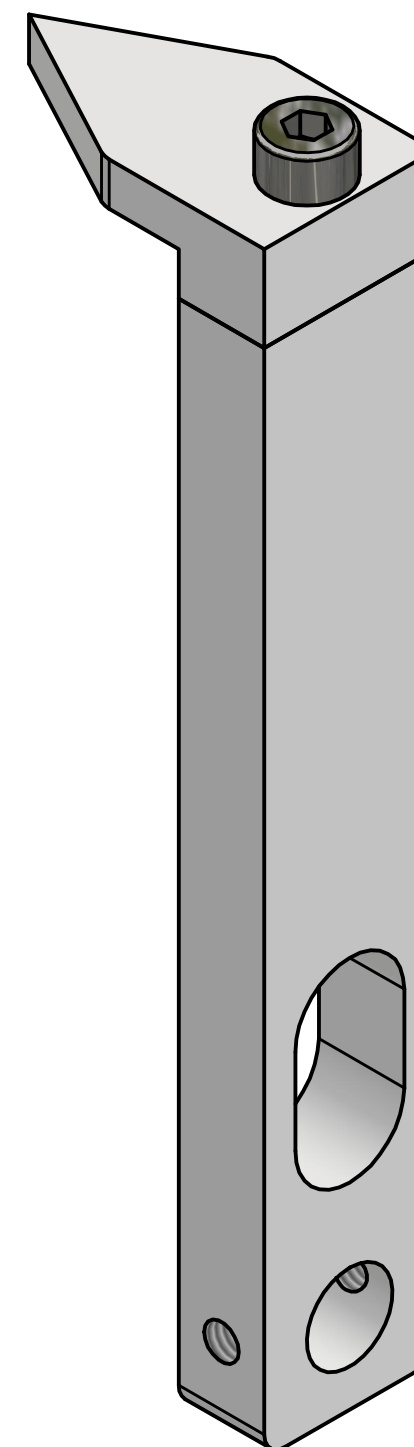
Parte inferior de la Chapa Indicadora



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Nuria Sabio		
COMPROBADO				
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente			Nº PLANO 12 / 29
2 : 1				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

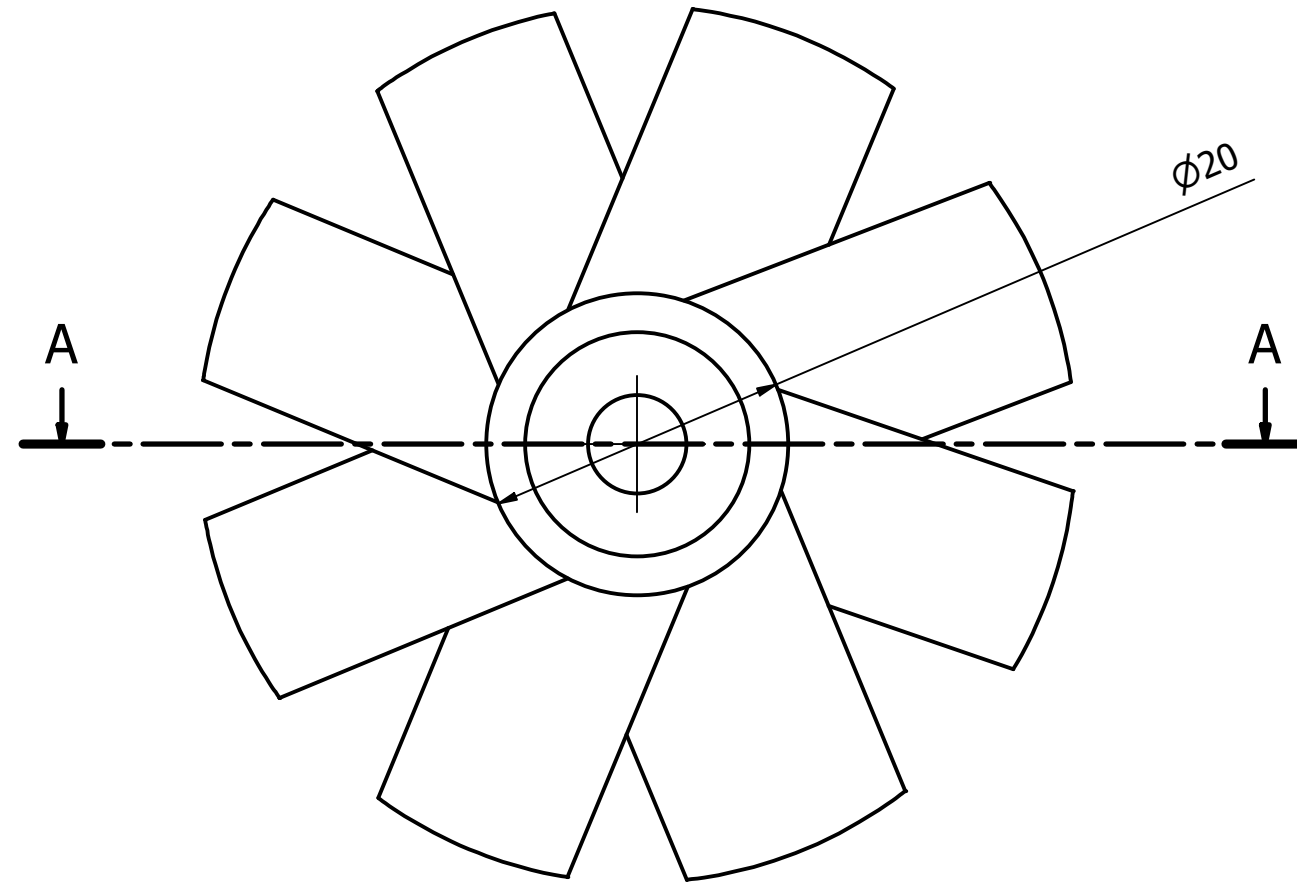


Parte superior de la Chapa Indicadora

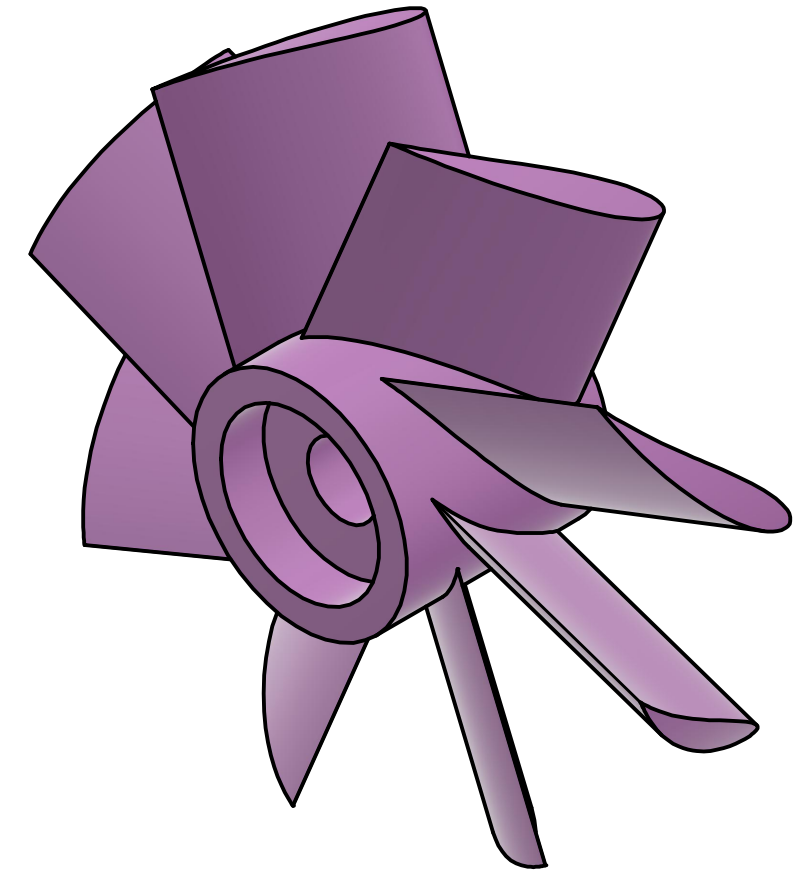
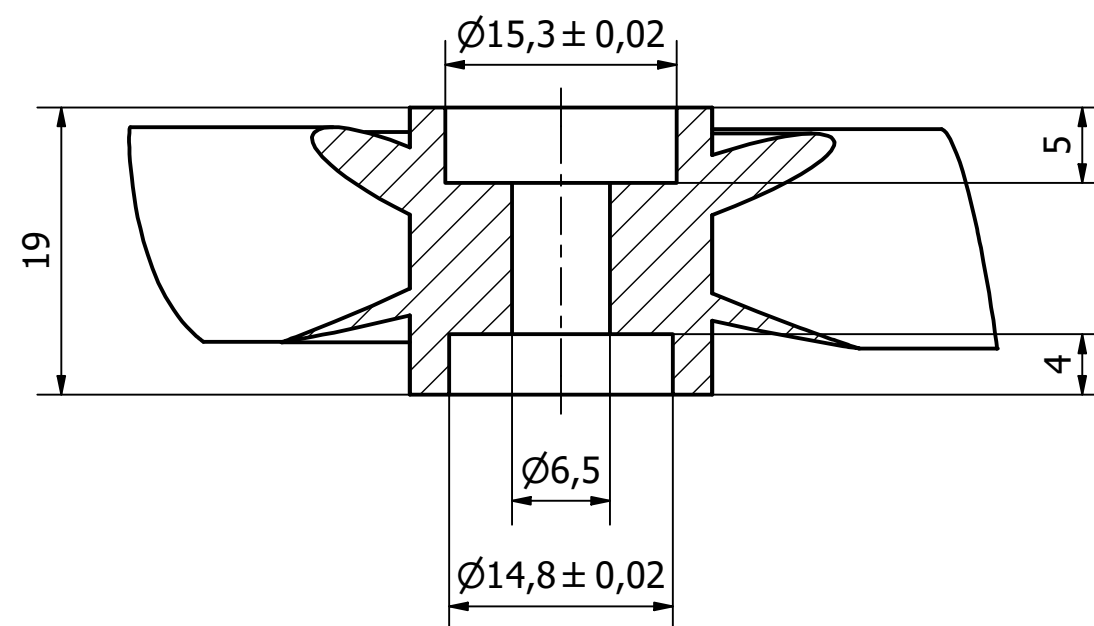


	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Nuria Sabio		
COMPROBADO				
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente			Nº PLANO
4 : 1				13 / 29
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

B9_CHAPA INDICADORA_2



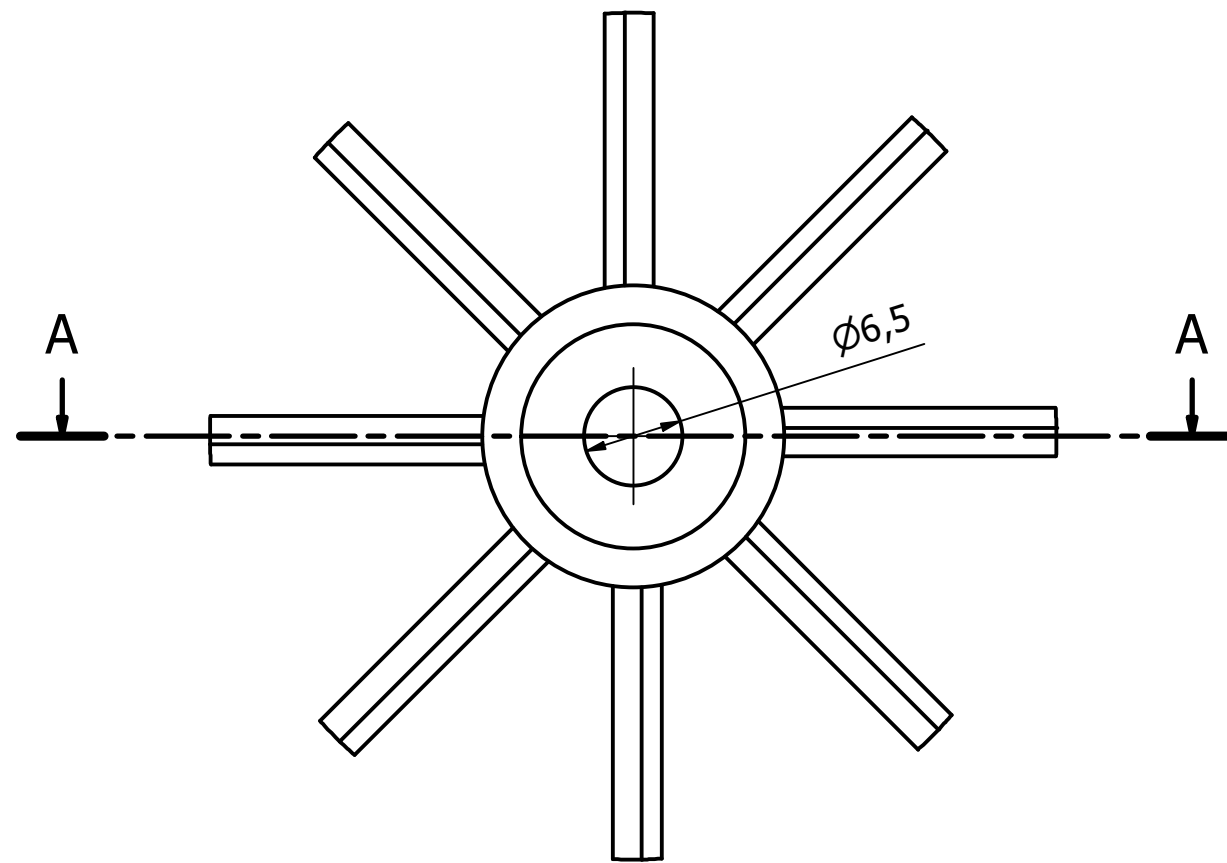
A-A (2 : 1)



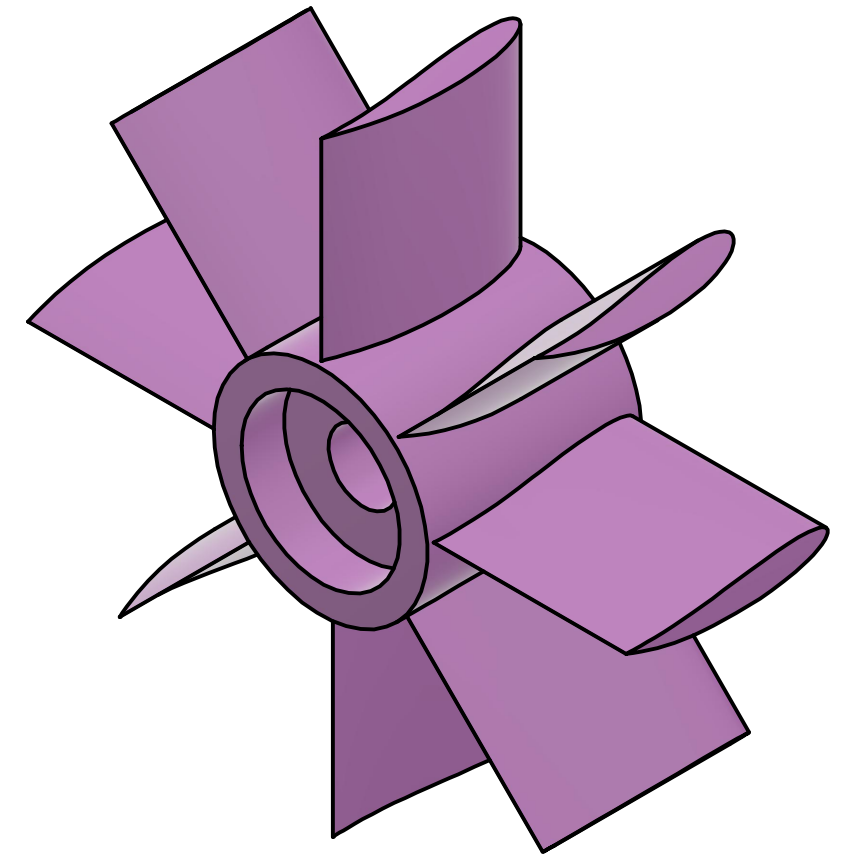
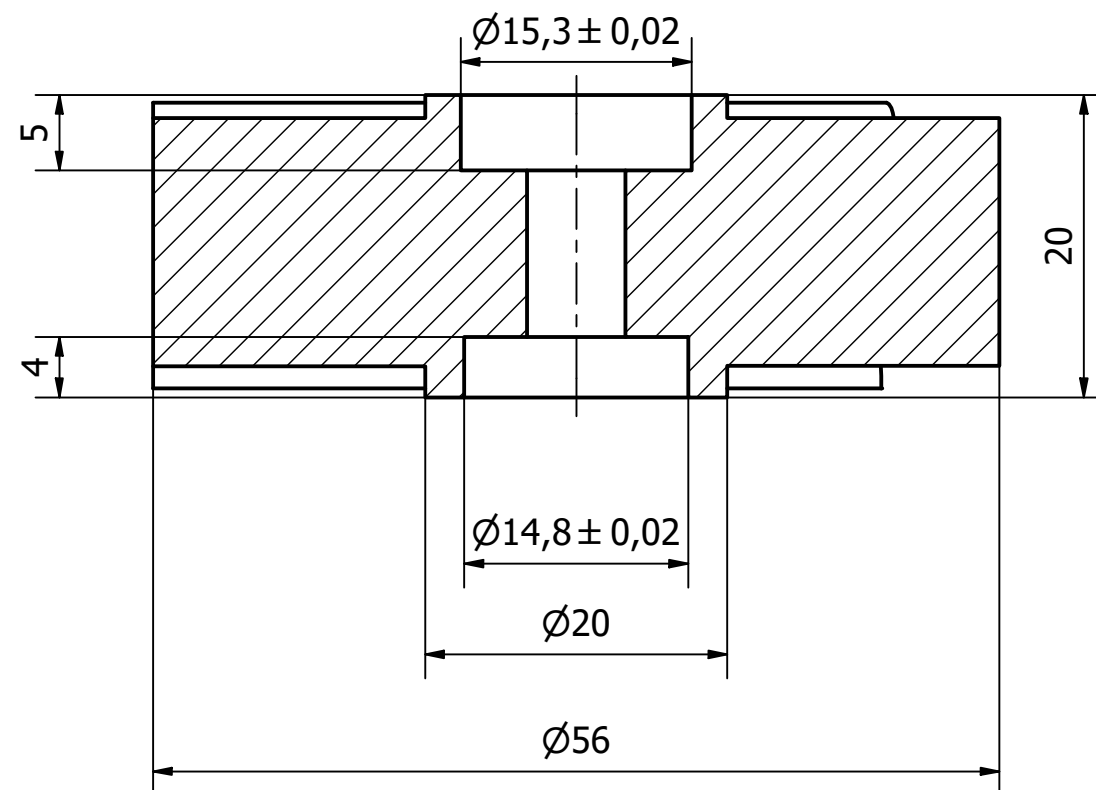
Para las palas se usa un perfil NACA 5615.
Se ha fabricado con resina ABS en la impresora de resina en 3D

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Nuria Sabio		
COMPROBADO				
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente			Nº PLANO 14 / 29
2 : 1				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

C1_HELICE_8Palas_45grados

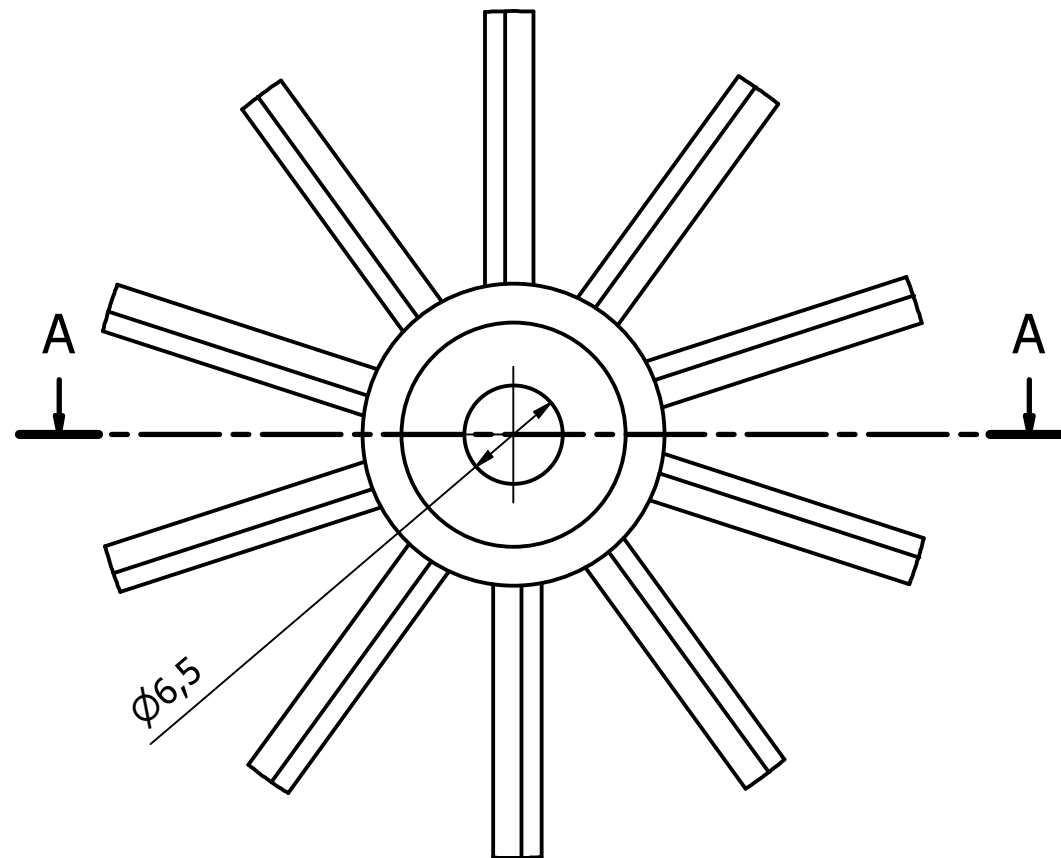


A-A (2 : 1)

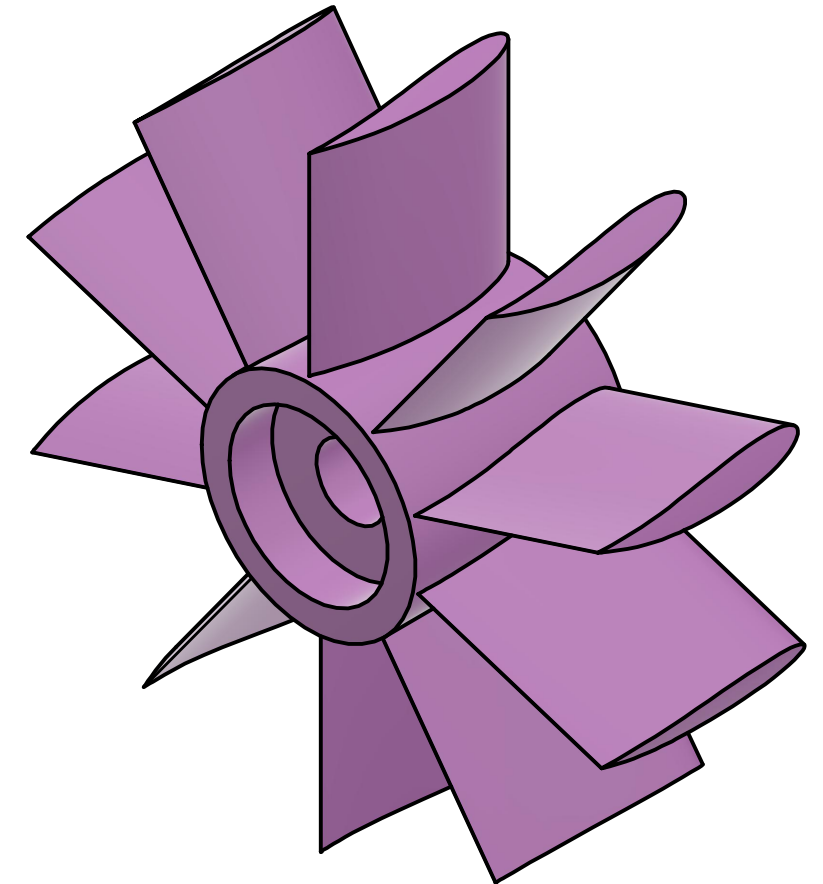
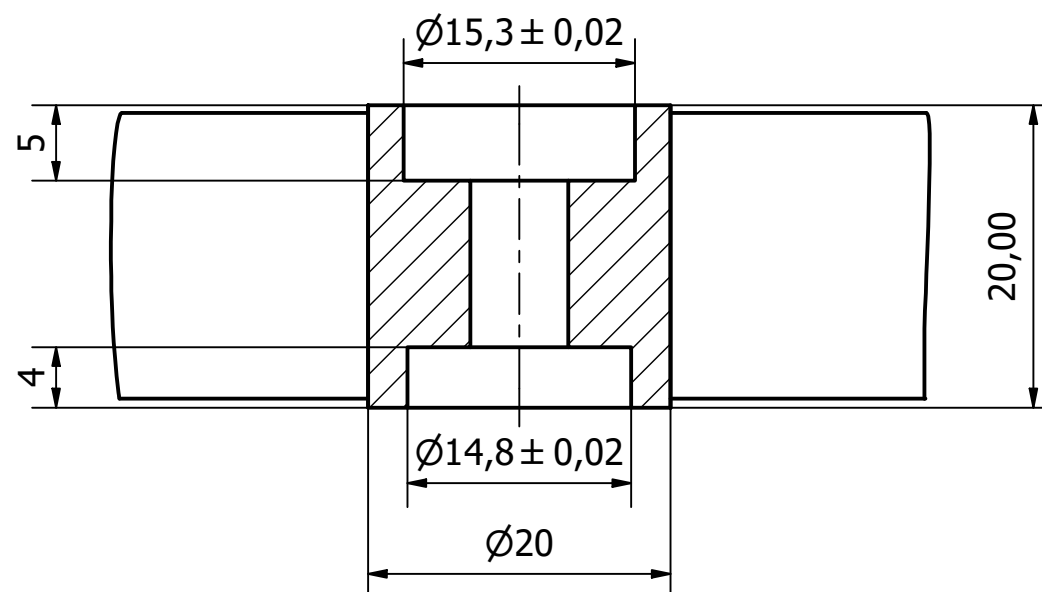


Para las palas se usa un perfil NACA 5615.
Se ha fabricado con resina ABS en la impresora de resina en 3D

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		Nuria Sabio			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente			Nº PLANO	
2 : 1				15 / 29	
				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	

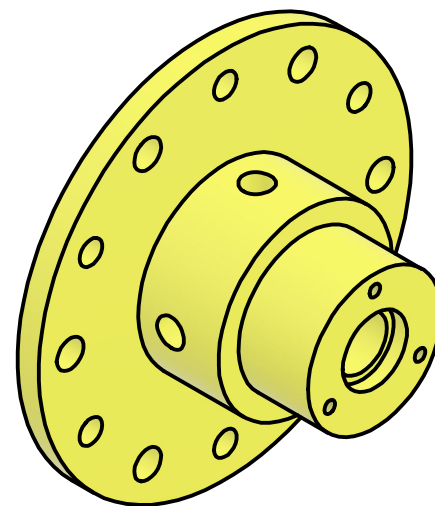
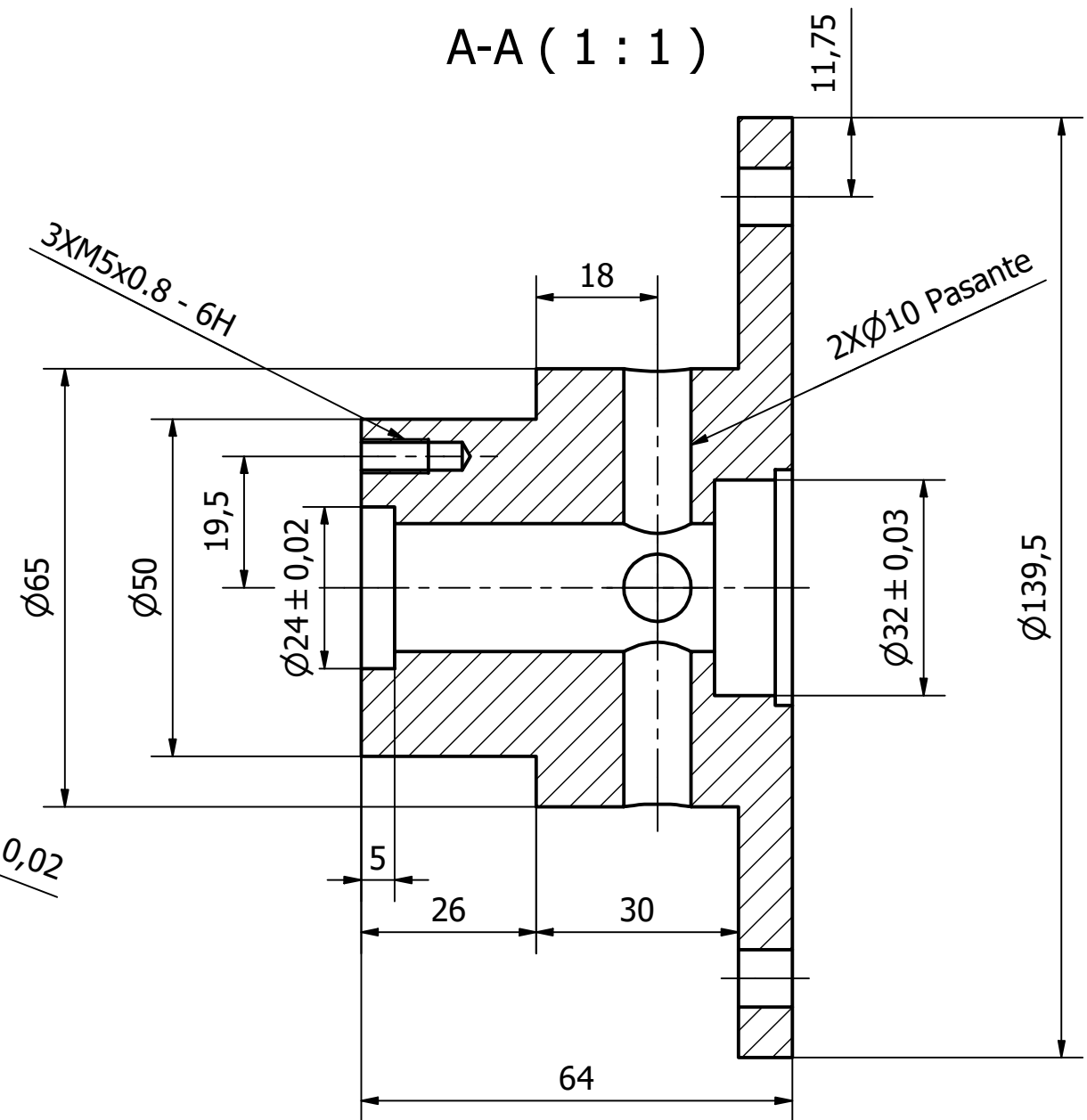
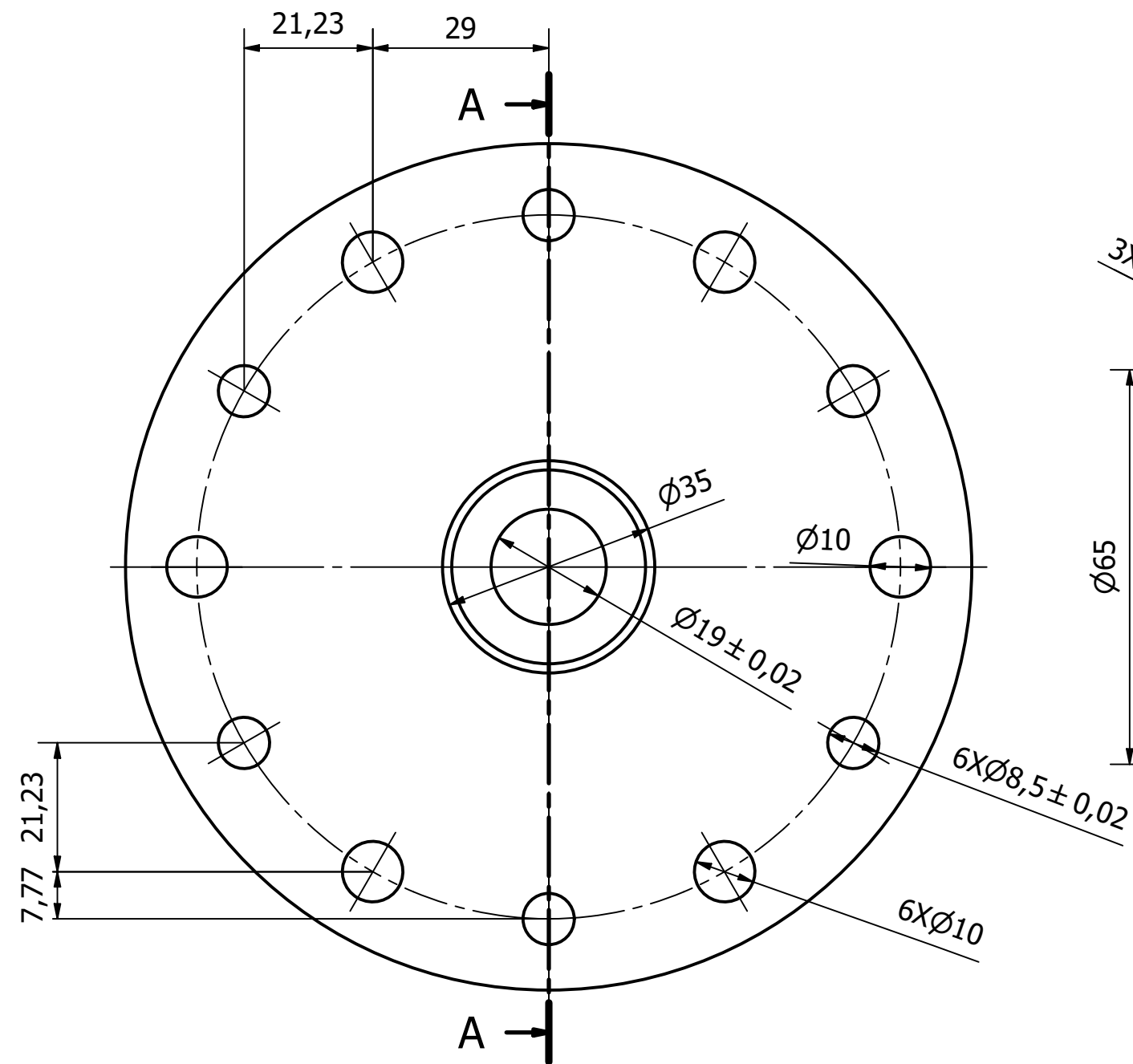


A-A (2 : 1)

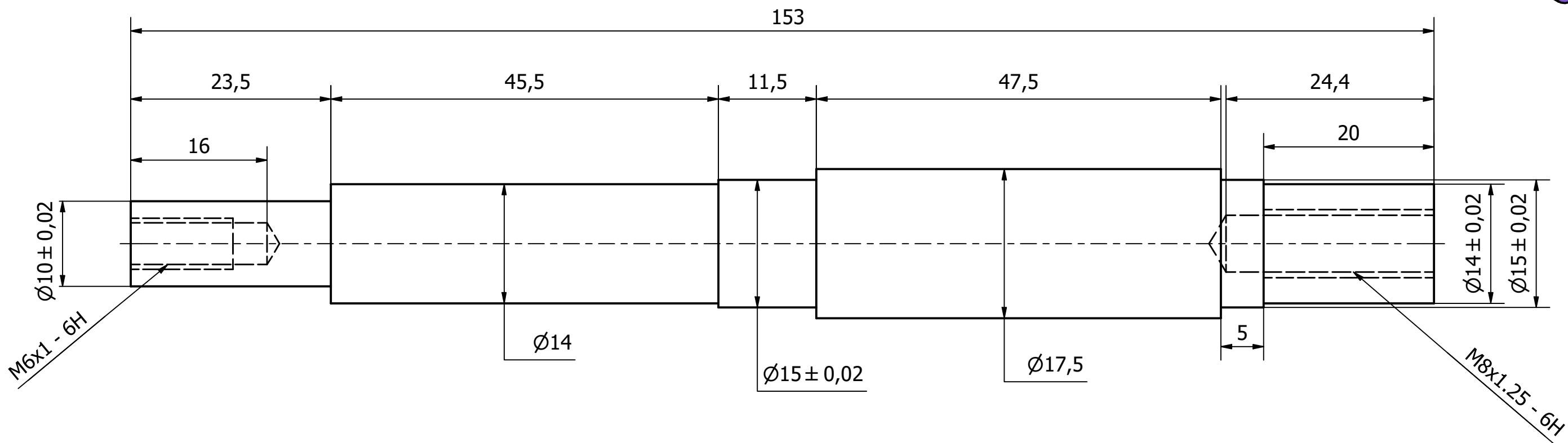
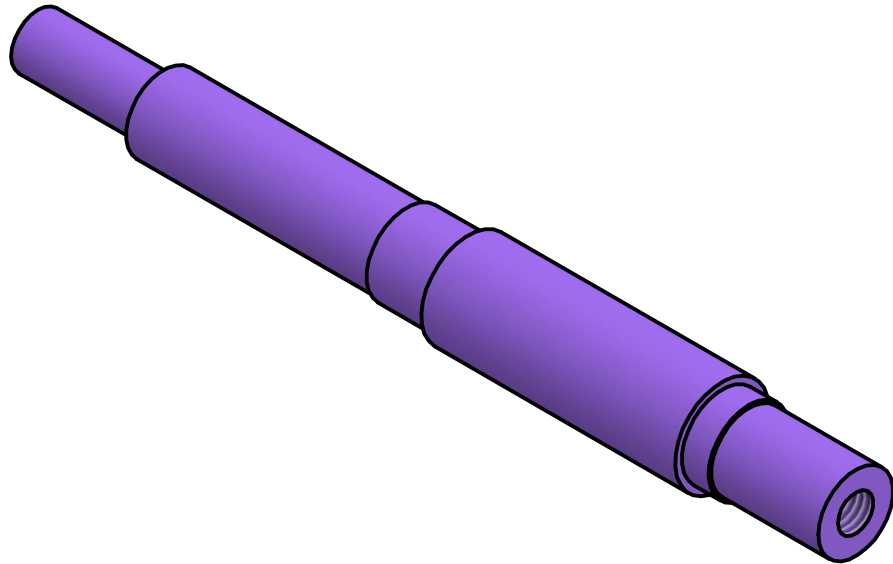


Para las palas se usa un perfil NACA 5615.
Se ha fabricado con resina ABS en la impresora de resina en 3D

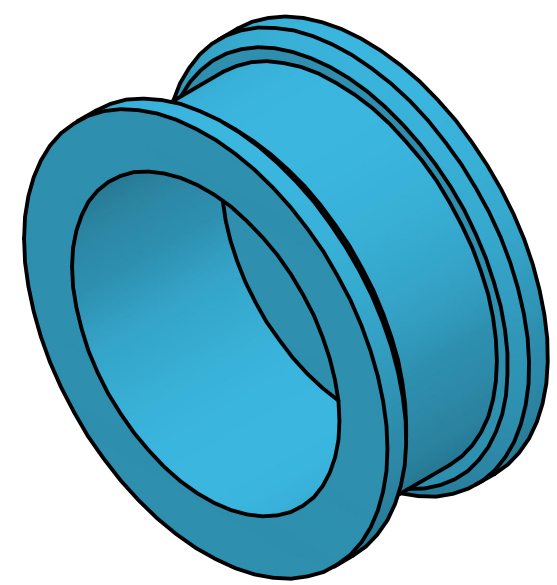
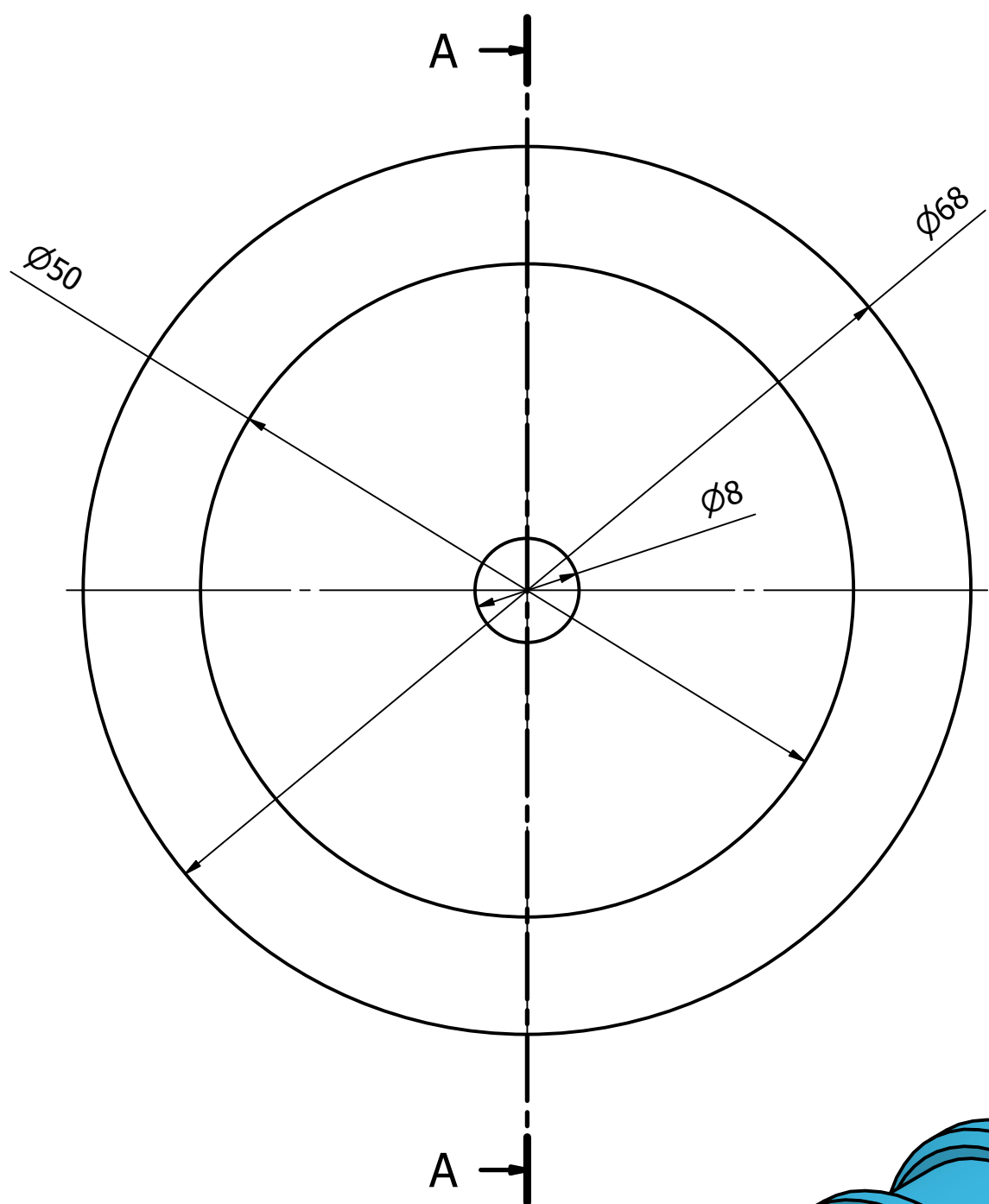
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		Nuria Sabio			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente			Nº PLANO	
2 : 1				16 / 29	
				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



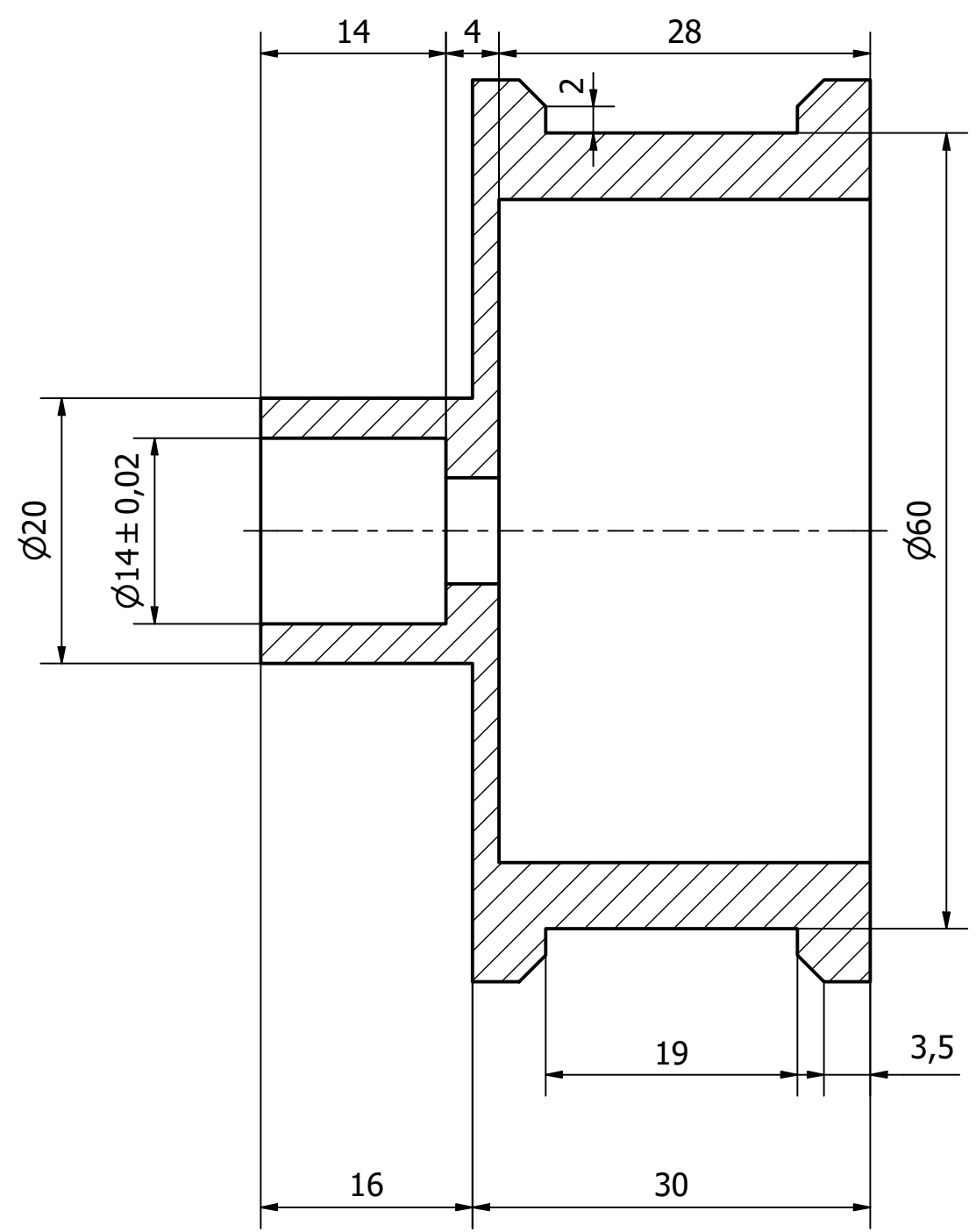
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Nuria Sabio		
COMPROBADO				
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente			Nº PLANO
1:1	C2_ACOPLAMIENTO POLEA CARCASA			17 / 29
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



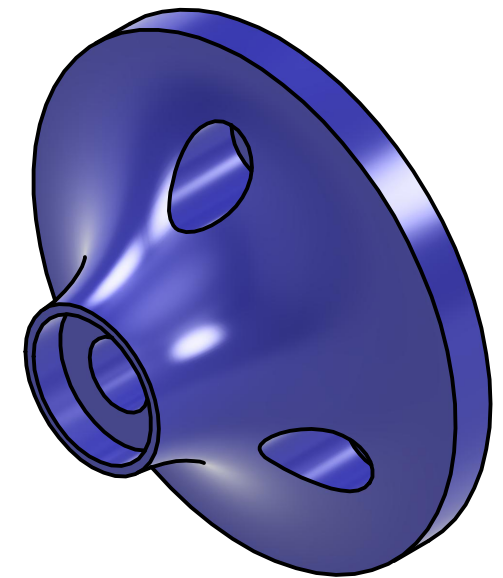
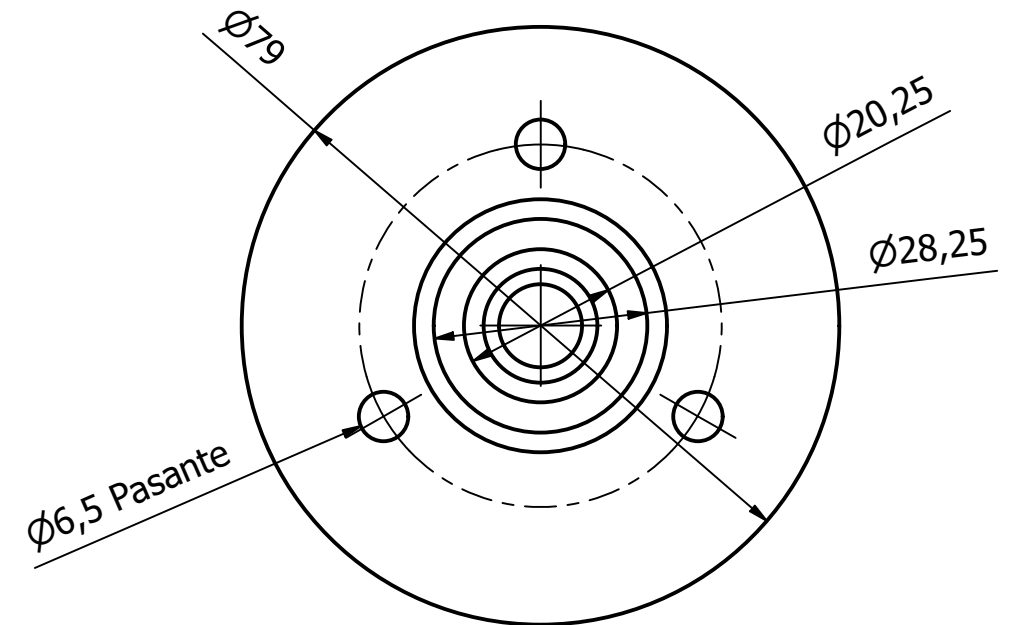
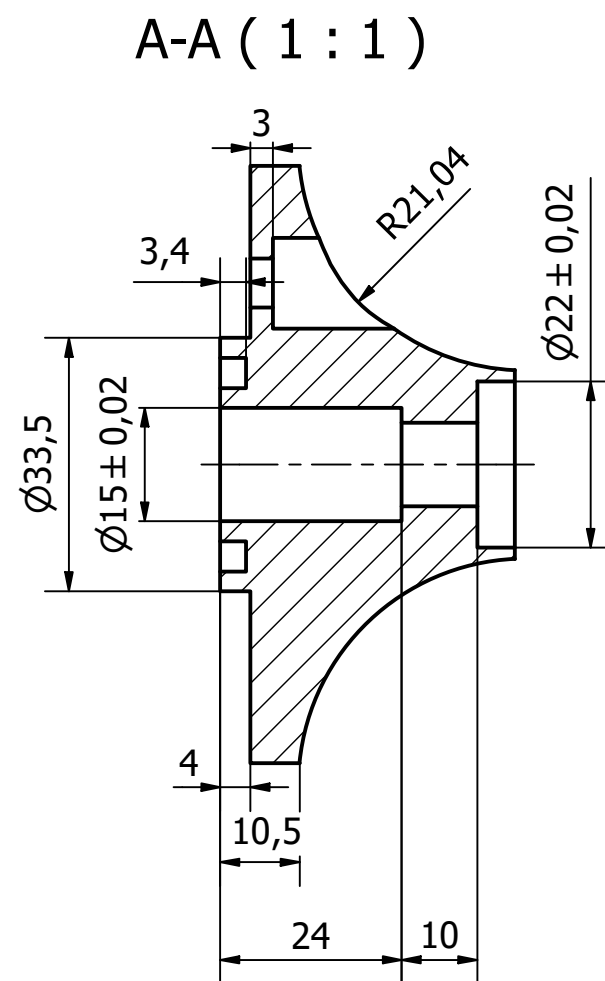
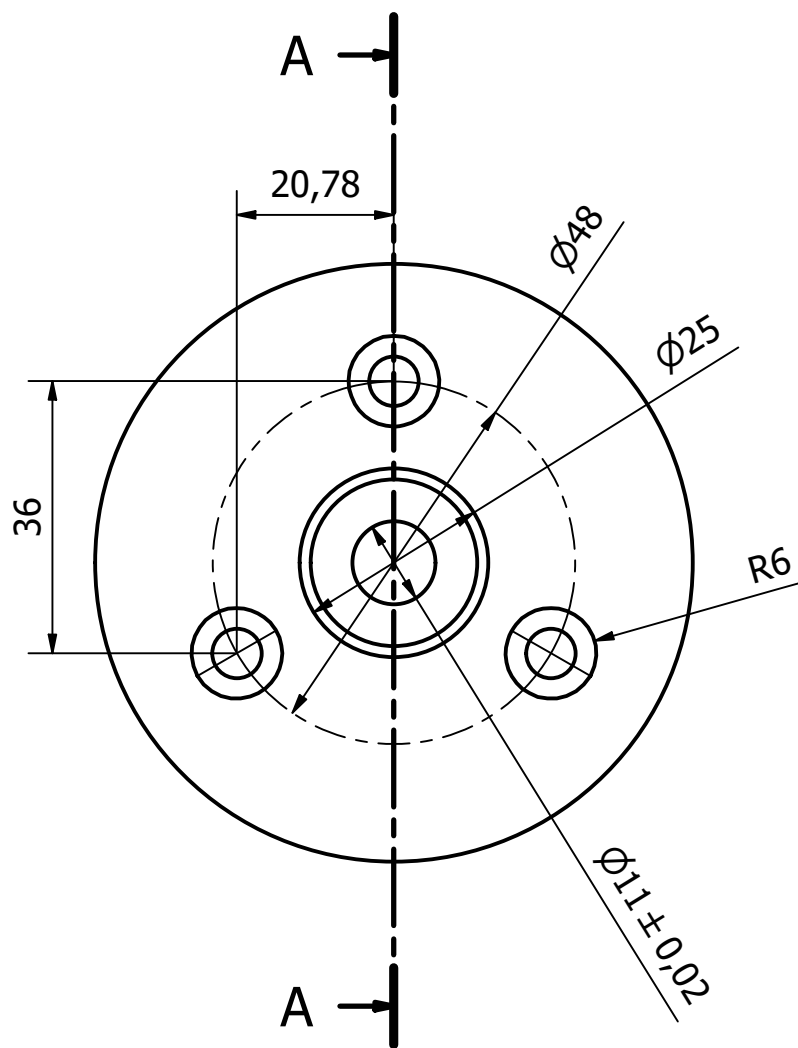
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		Nuria Sabio			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente			Nº PLANO 18 / 29	
2 : 1				C3_EJE PRINCIPAL RODETE	
				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



A-A (2 : 1)

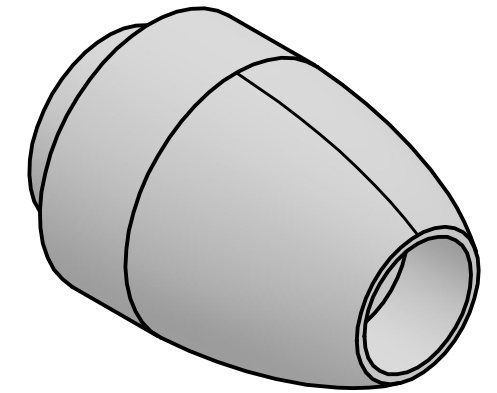


	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Nuria Sabio		
COMPROBADO				
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente			Nº PLANO
2 : 1				19 / 29
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

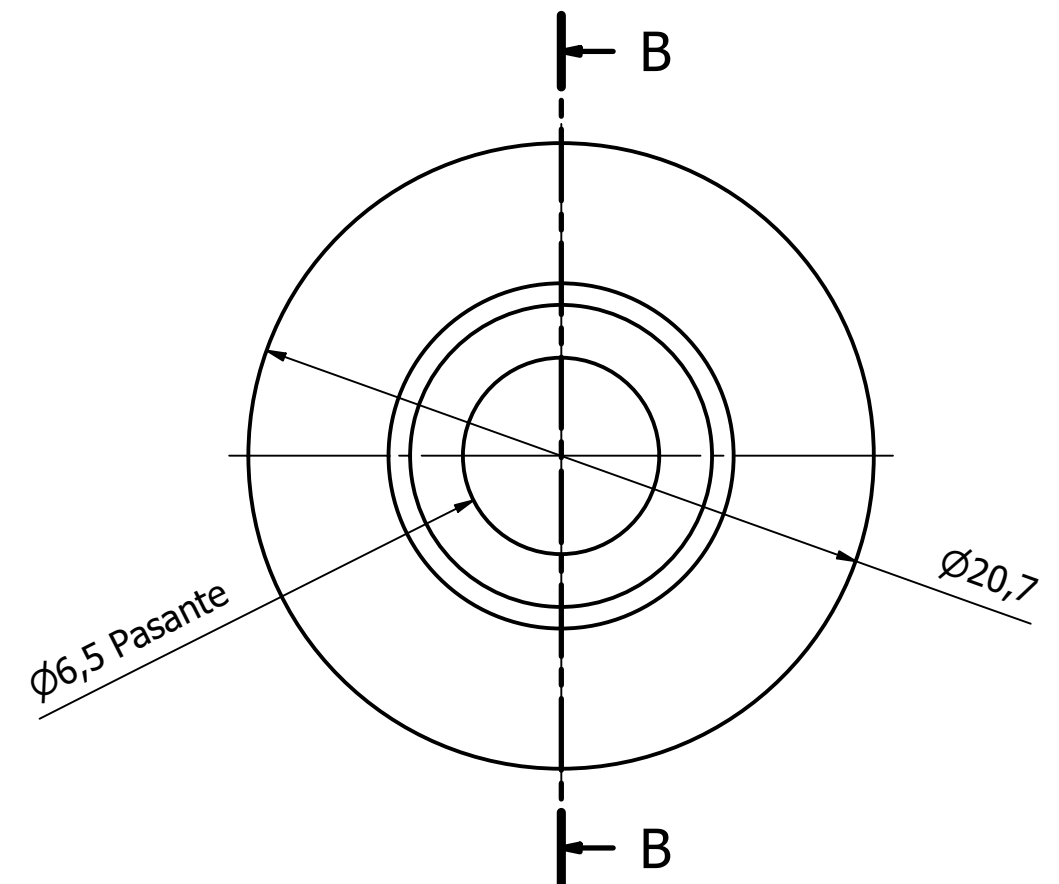
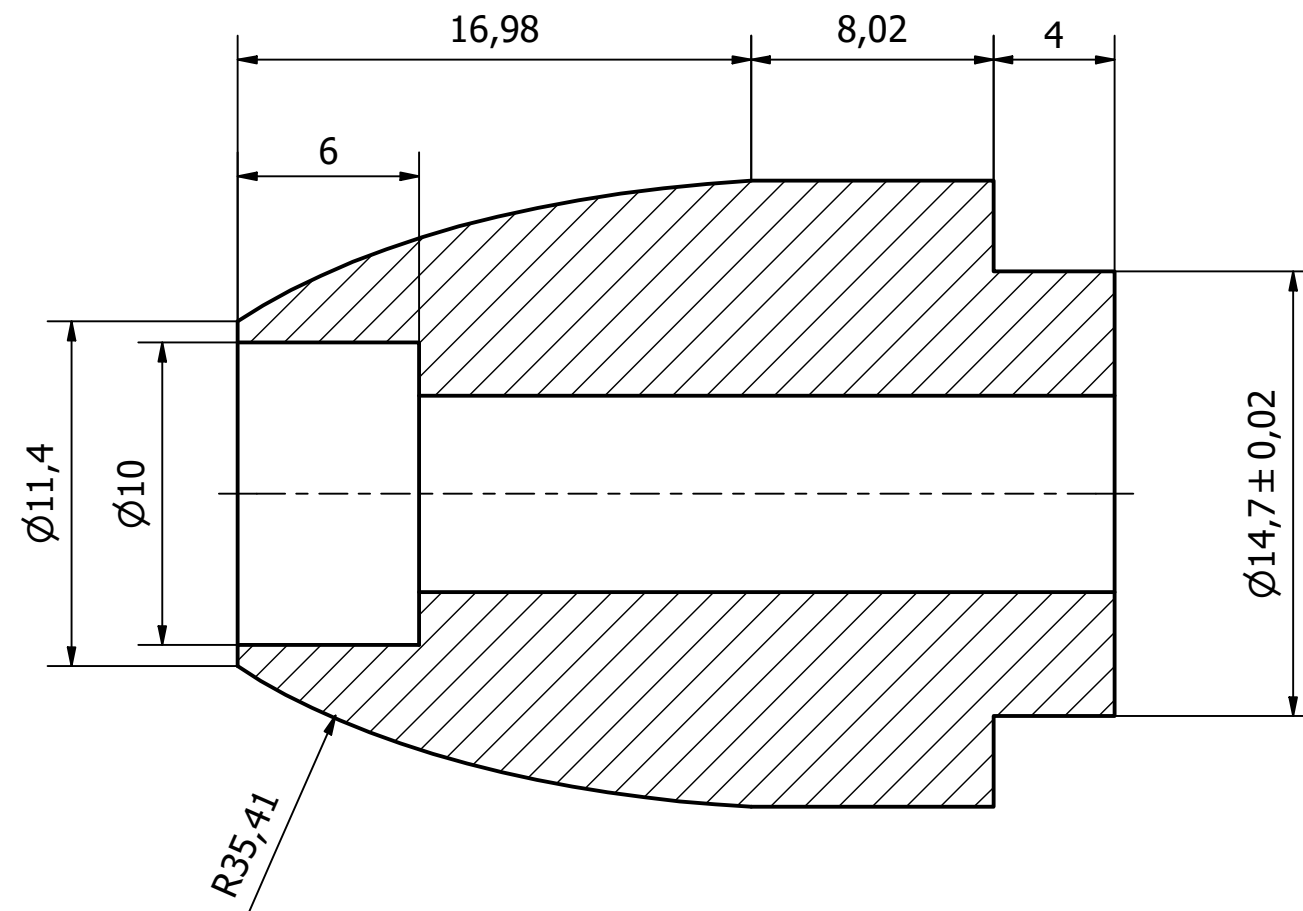


	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Nuria Sabio		
COMPROBADO				
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente			Nº PLANO
1 : 1				20 / 29
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

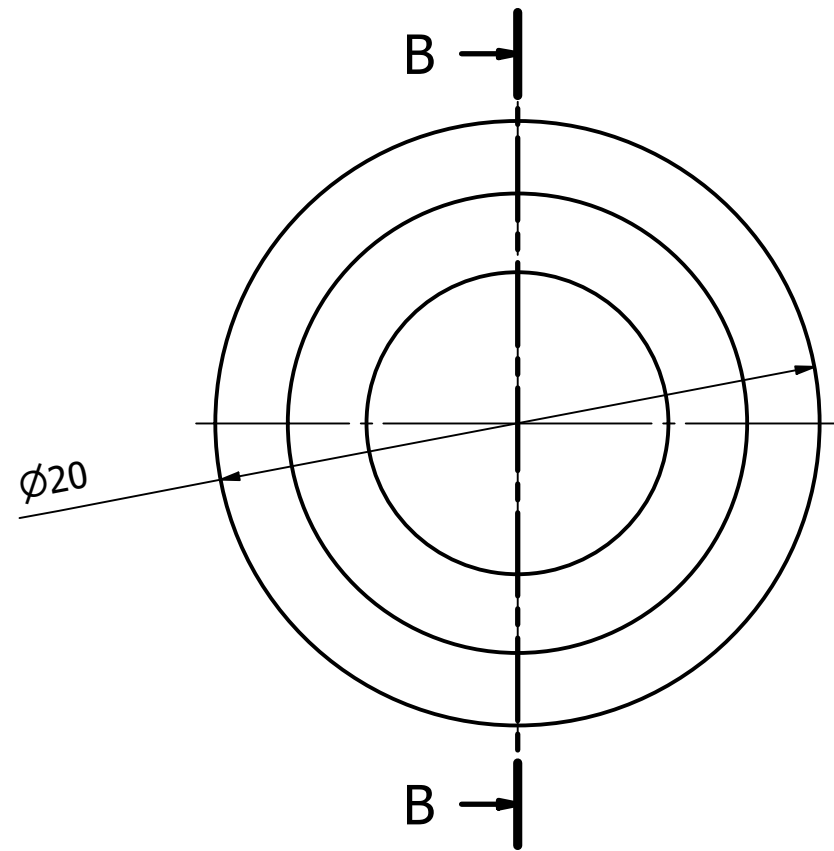
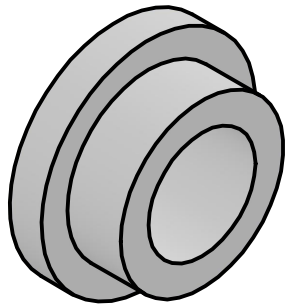
C11_NARIZ_DELANTERA_PVC



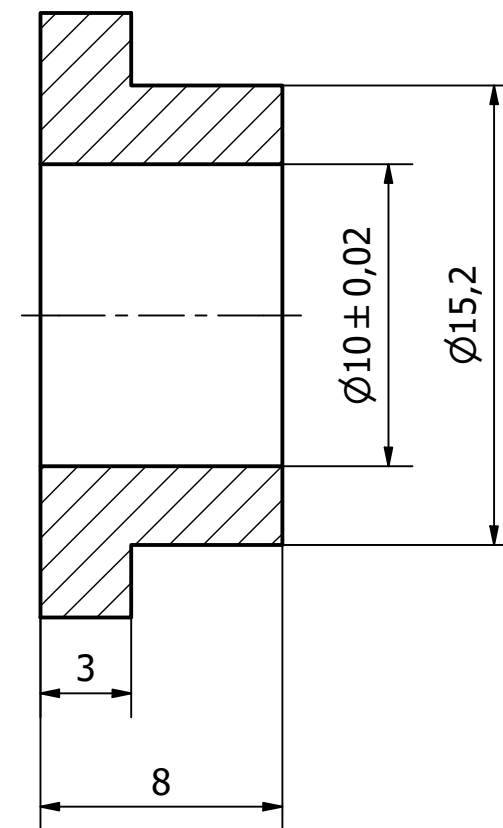
B-B (4 : 1)



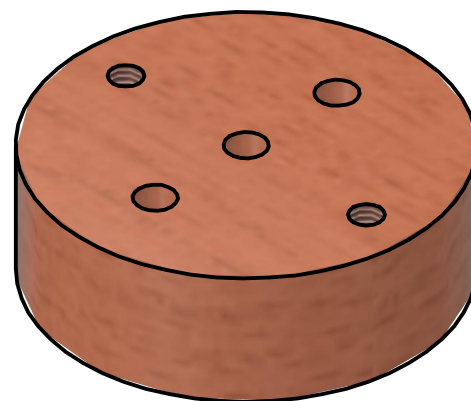
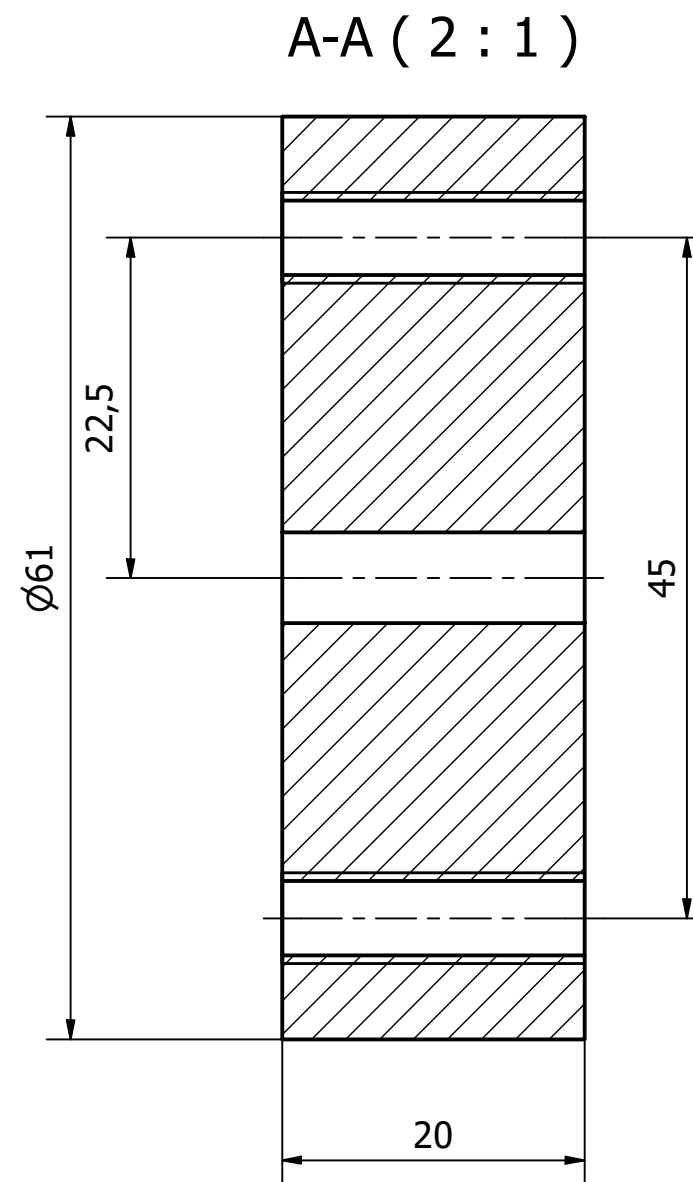
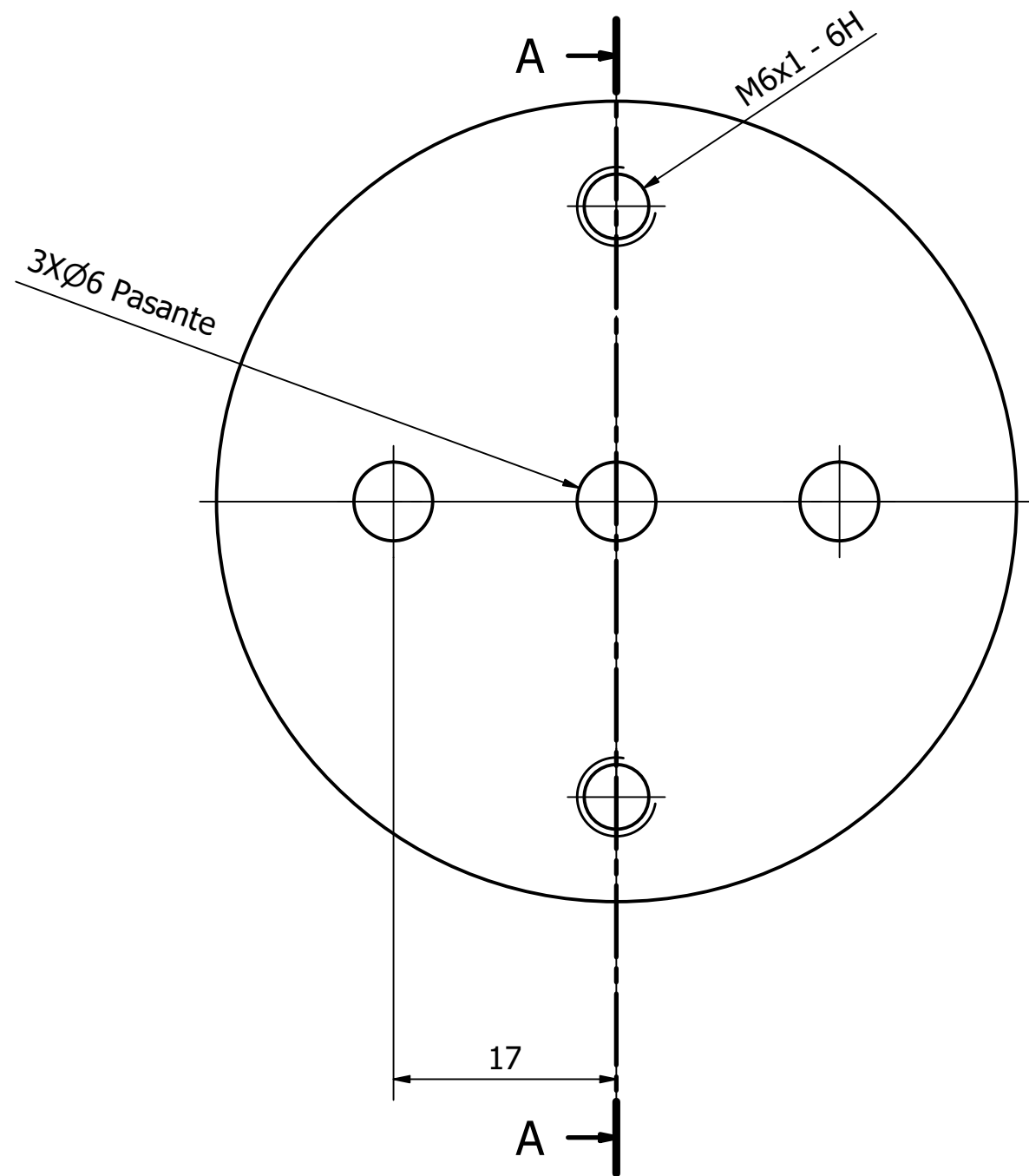
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Nuria Sabio		
COMPROBADO				
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente			Nº PLANO
4 : 1				21 / 29
				SUSTITUYE A:
	C13__SOPORTE DELANTERO HELICE			SUSTITUIDO POR:



B-B (4 : 1)

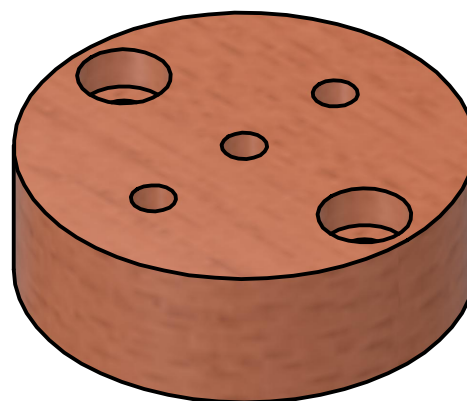
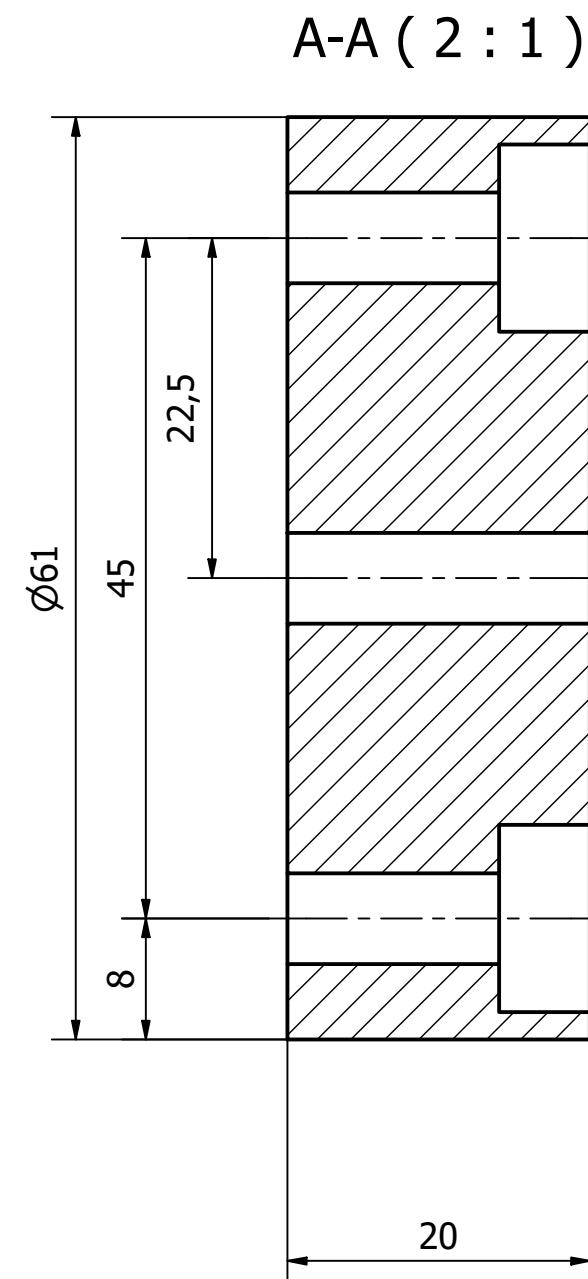
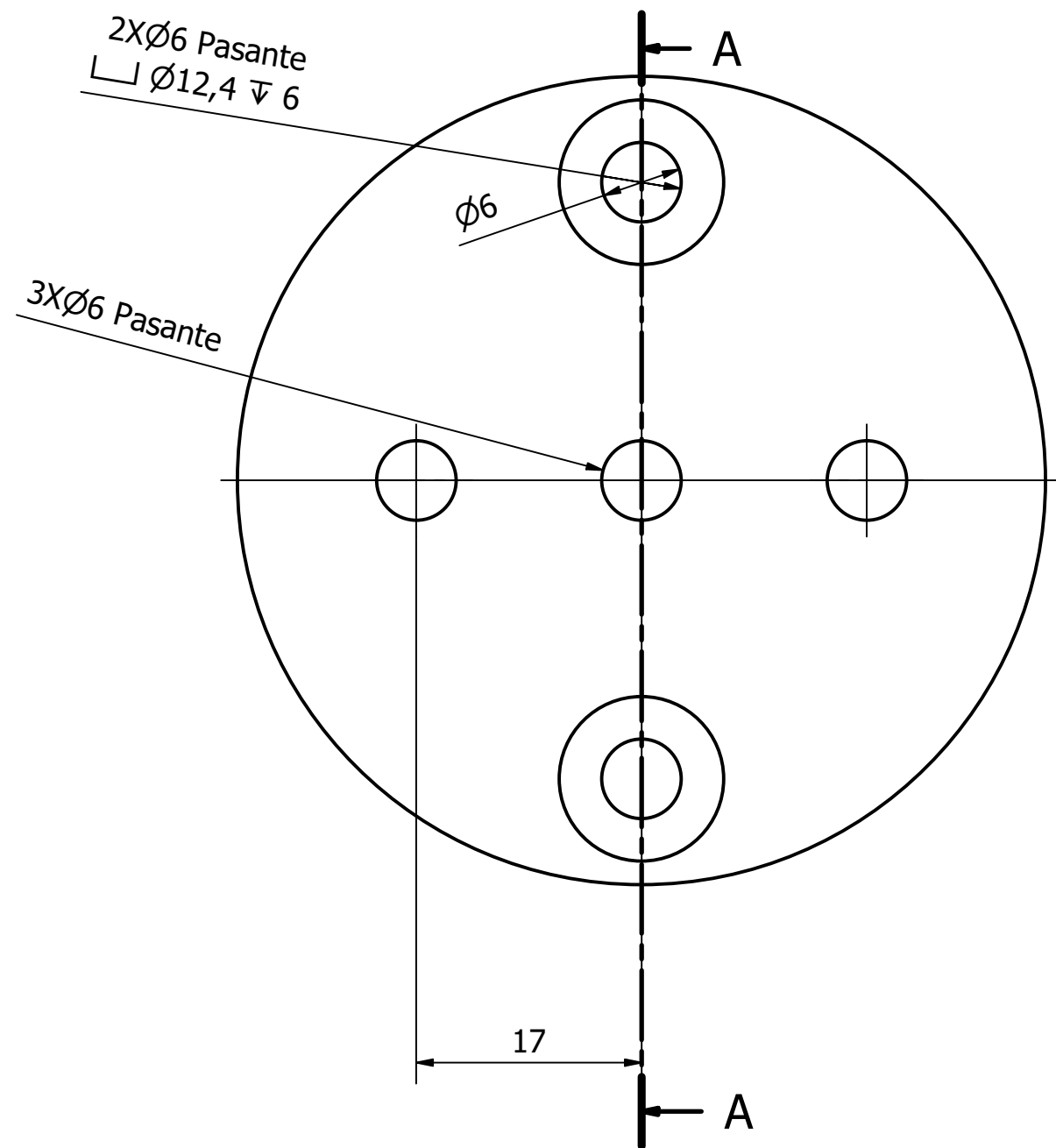


	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Nuria Sabio		
COMPROBADO				
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente			Nº PLANO
4 : 1				22 / 29
				SUSTITUYE A:
	C13__SOPORTE TRASERO HELICE			SUSTITUIDO POR:



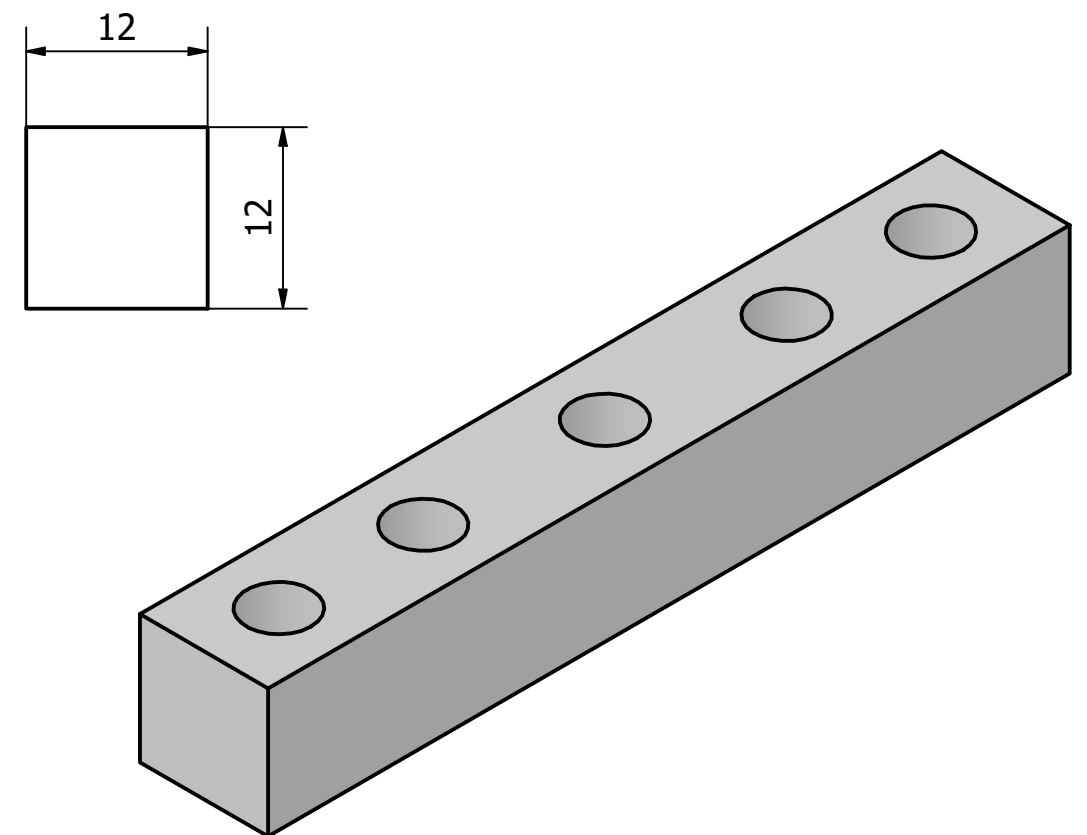
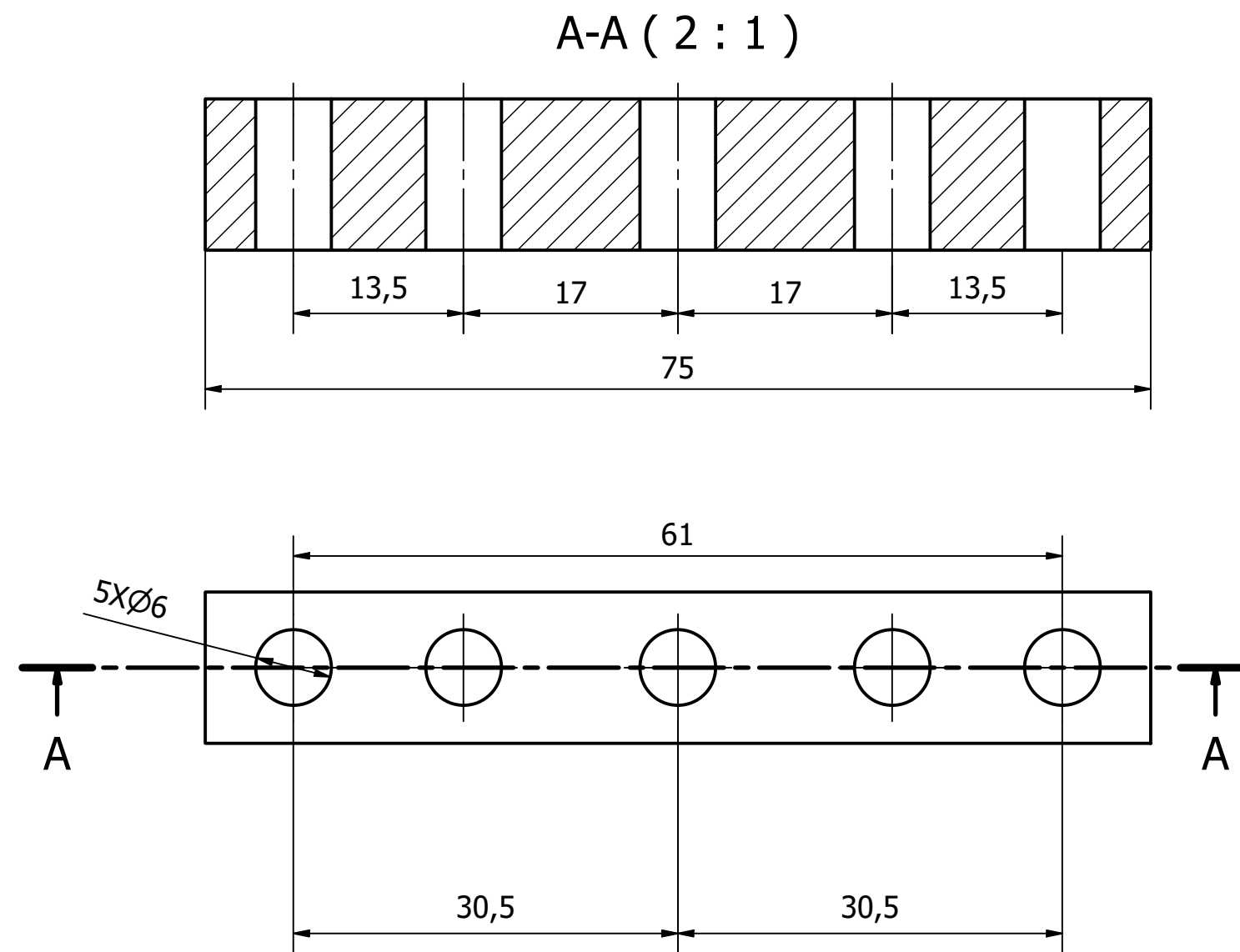
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Nuria Sabio		
COMPROBADO				
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente			Nº PLANO 23 / 29
2 : 1				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

D1_CILINDRO FRENO INFERIOR

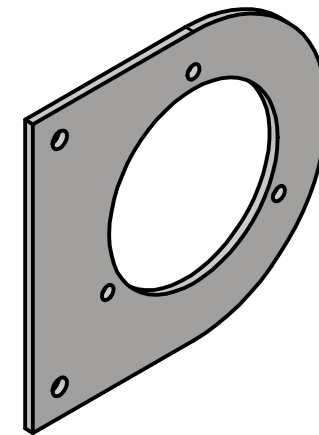
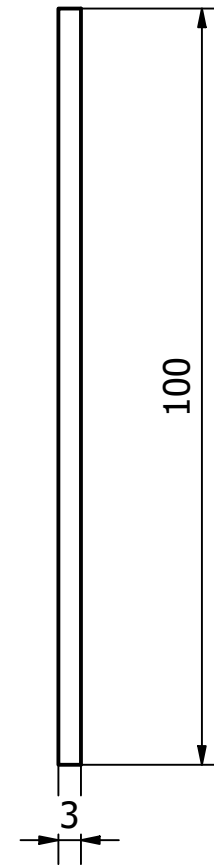
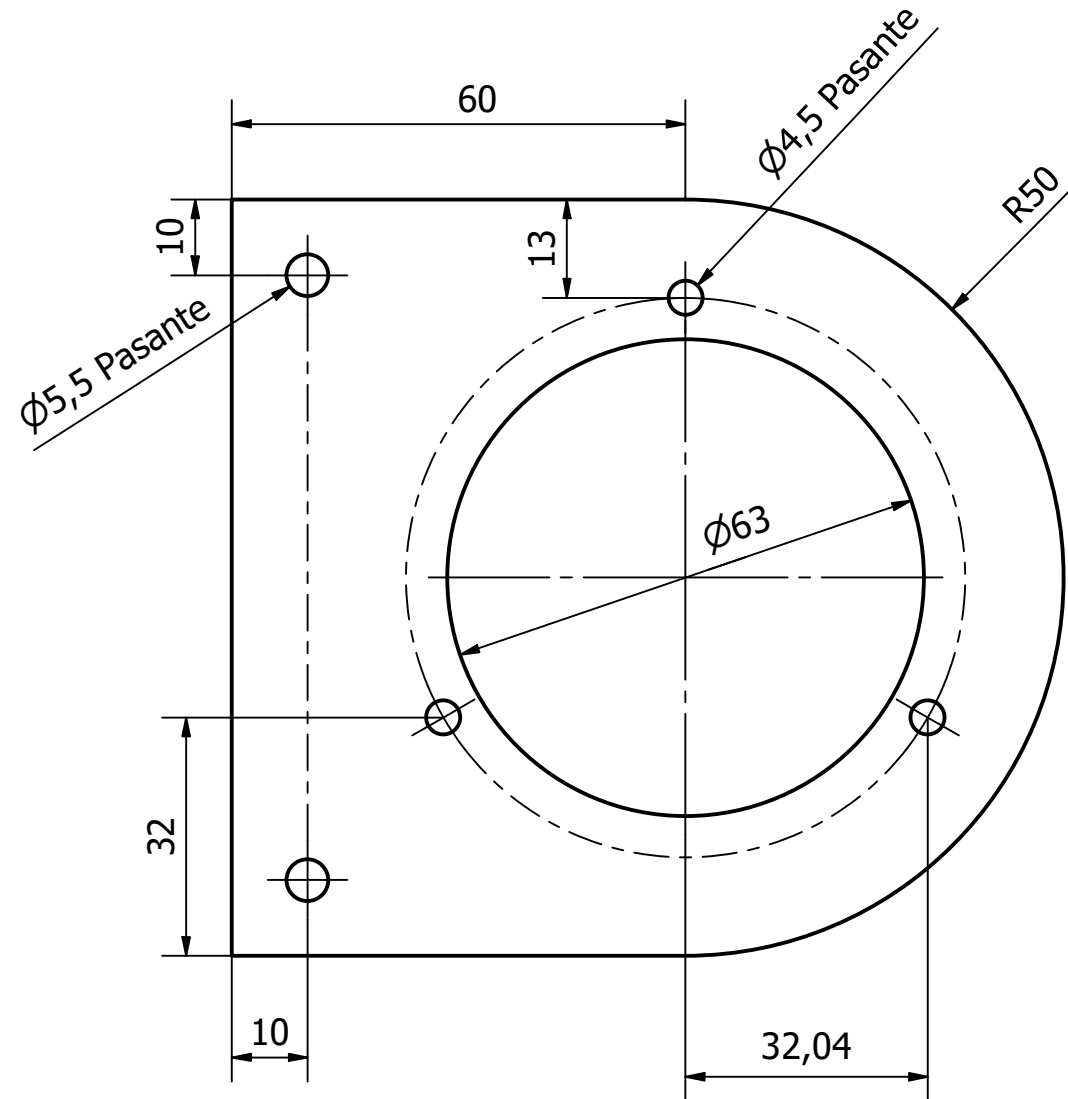


	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Nuria Sabio		
COMPROBADO				
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente			Nº PLANO 24 / 29
2 : 1				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

D1_CILINDRO FRENO SUPERIOR

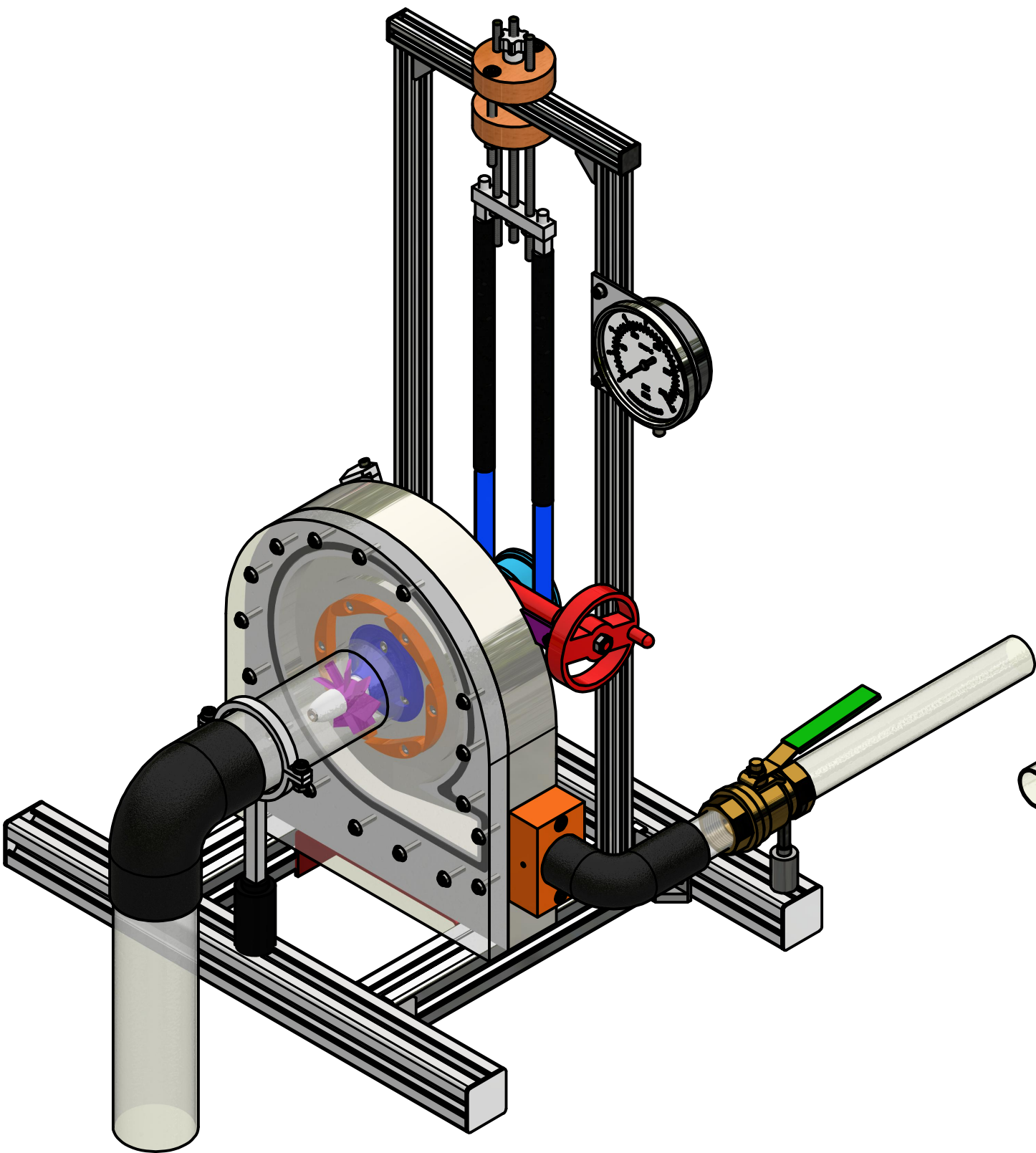


	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Nuria Sabio		
COMPROBADO				
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente			Nº PLANO
2 : 1				25 / 29
				SUSTITUYE A:
	D3_SOPORTE DINAMÓMETROS			SUSTITUIDO POR:

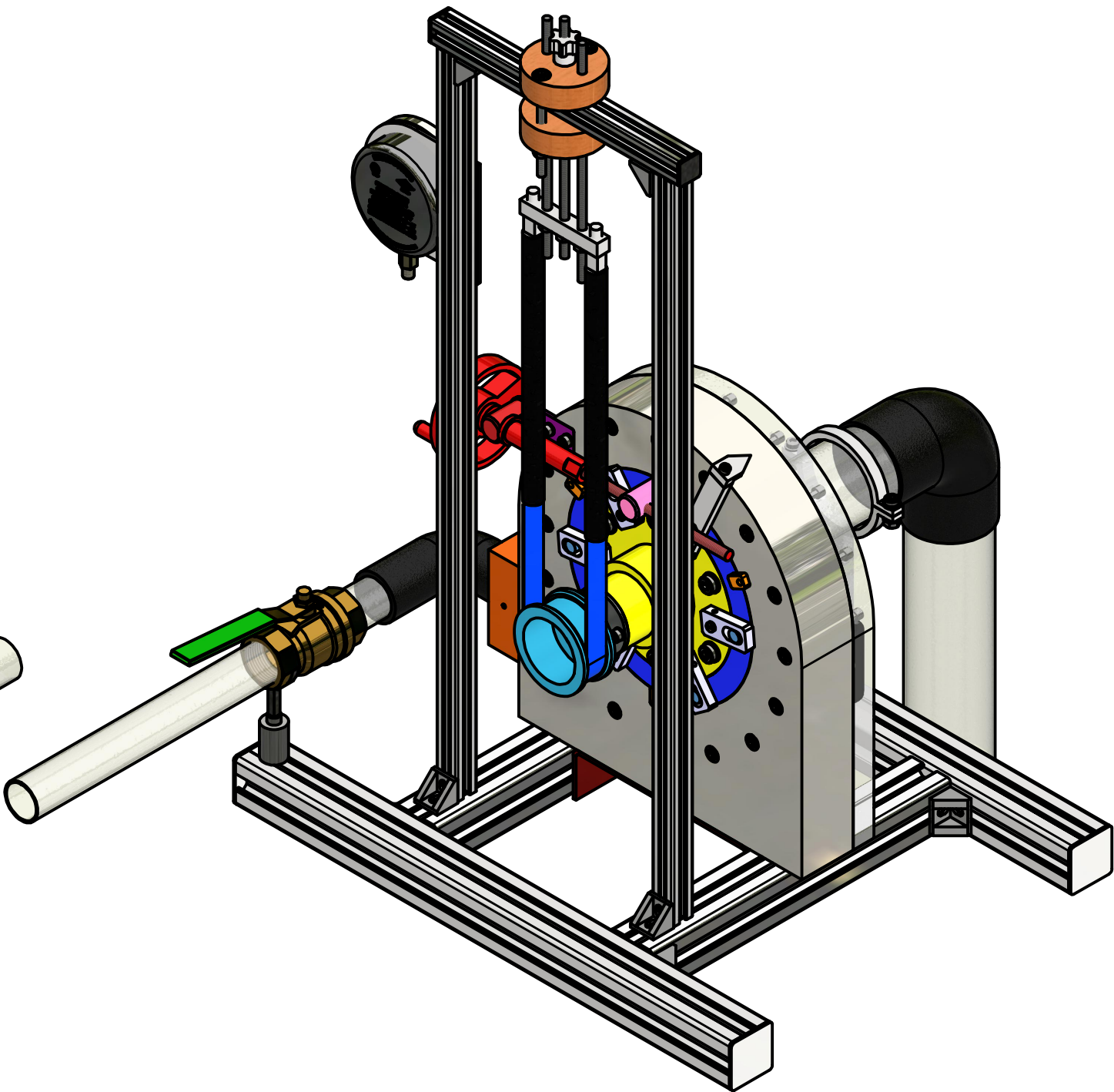


	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		Nuria Sabio			
COMPROBADO					
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente				Nº PLANO 26 / 29
1 : 1					SUSTITUYE A:
					SUSTITUIDO POR:

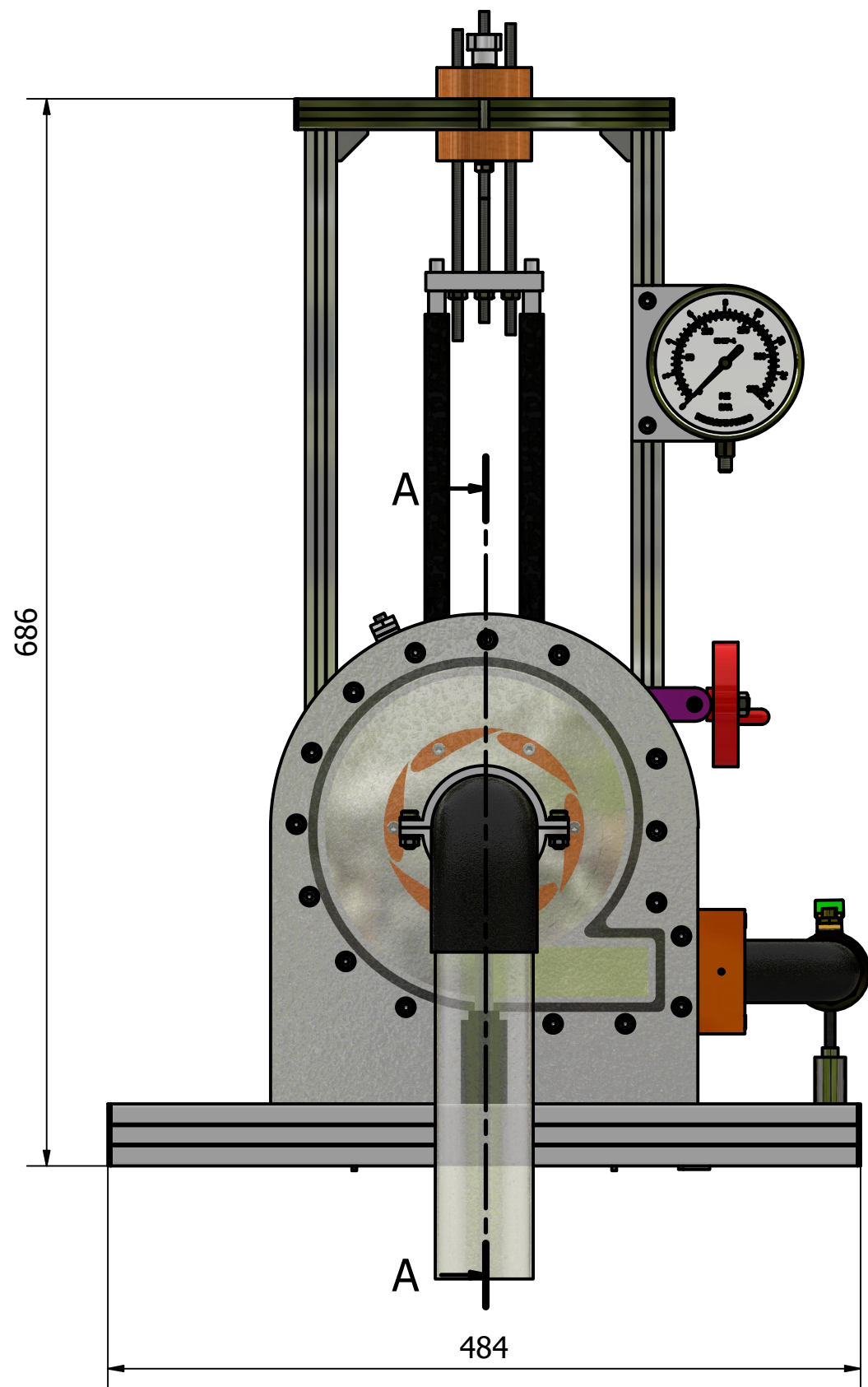
Parte delantera



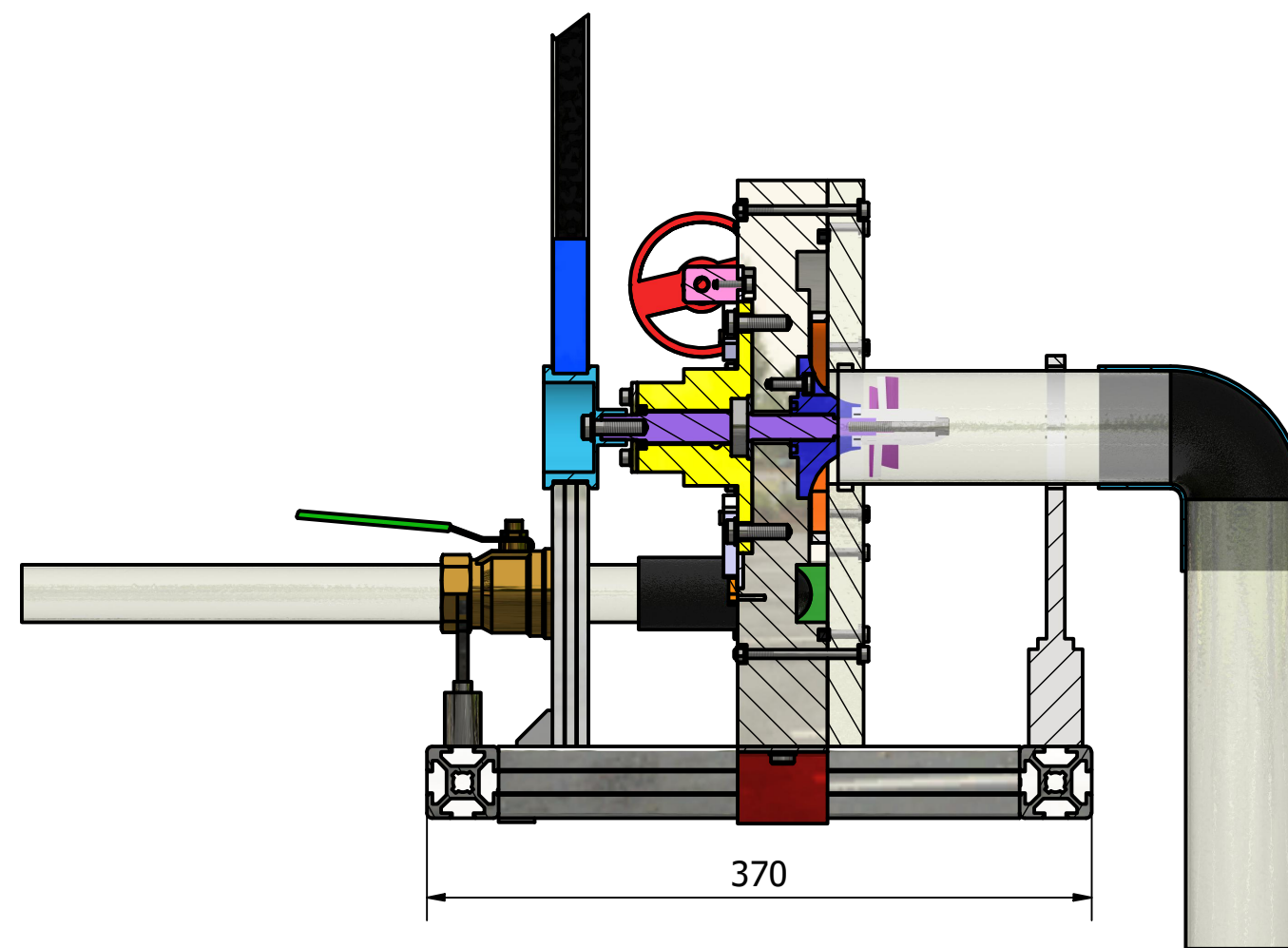
Parte trasera



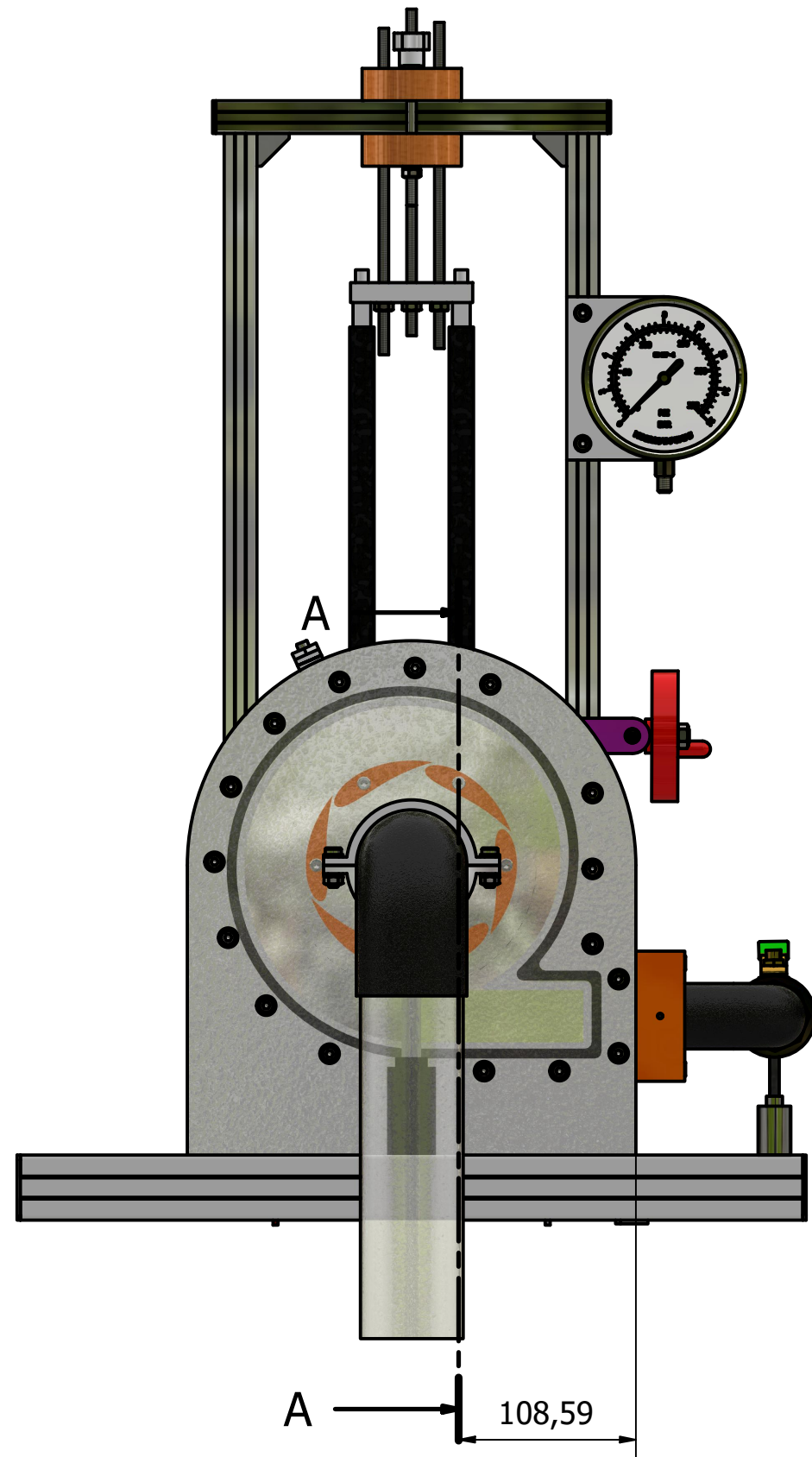
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Nuria Sabio		
COMPROBADO				
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente			Nº PLANO
1 : 4				27 / 29
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



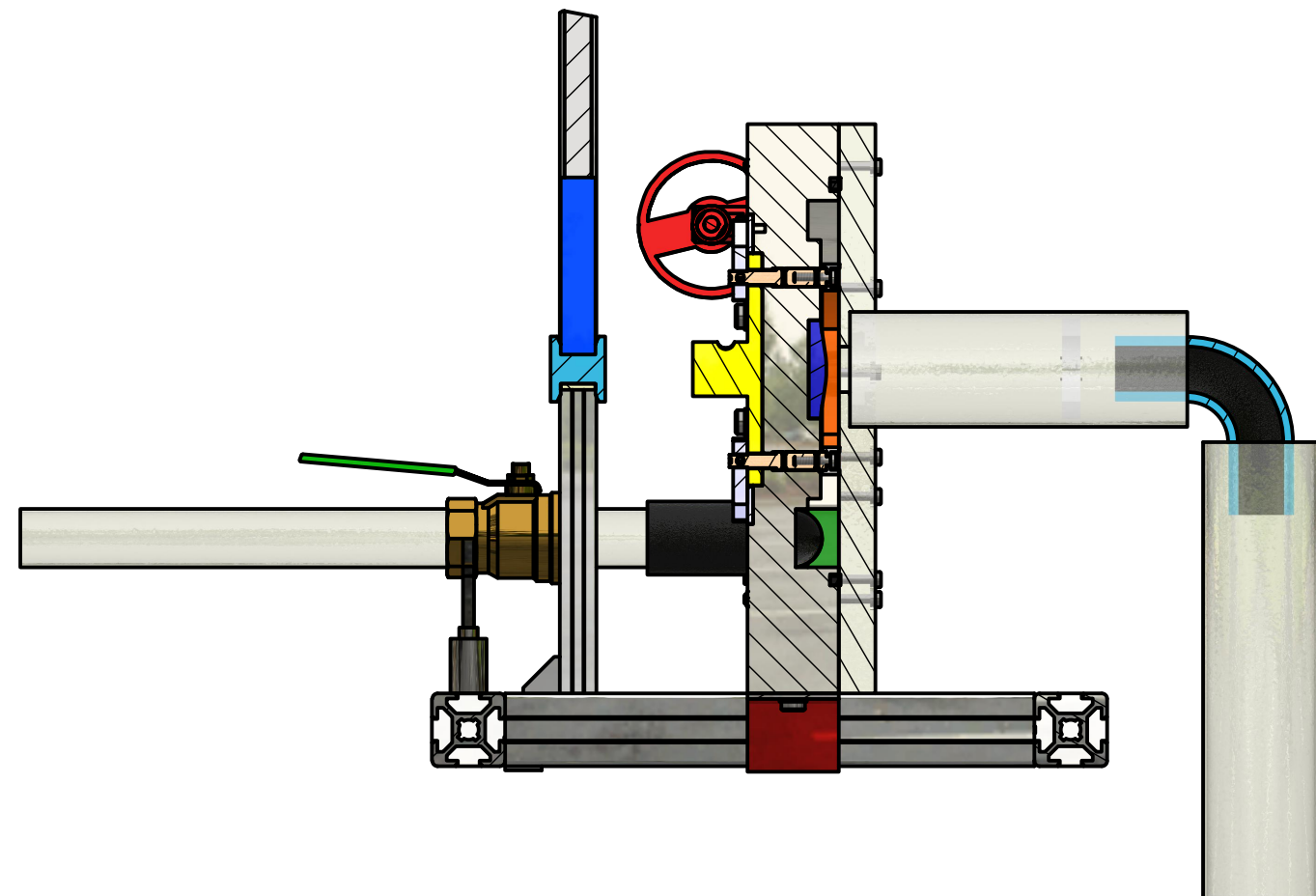
A-A (1 : 4)



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Nuria Sabio		
COMPROBADO				
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente			Nº PLANO 28 / 29
1 : 4				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



A-A (1 : 4)



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Nuria Sabio		
COMPROBADO				
ESCALA:	Diseño, fabricación y caracterización de una turbina Kaplan para uso docente Ensamblaje con Corte en los Ejes de los Álabes			Nº PLANO 29 / 29
1 : 4				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR: