



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO SISTEMA DE BOMBEO EN VEHICULO AUTONOMO PARA EL MUESTREO DE AGUA

Autora: Carlota Granado Pou

Directora: María del Mar Cledera Castro

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
“Sistema de bombeo en vehículo autónomo para el muestreo de agua”
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2023/24 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Carlota Granado Pou

Fecha: 23/06/2024

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: María del Mar Cledera Fecha: 09/07/2024



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO SISTEMA DE BOMBEO EN VEHICULO AUTONOMO PARA EL MUESTREO DE AGUA

Autora: Carlota Granado Pou

Directora: María del Mar Cledera Castro

Madrid

Agradecimientos

A mis padres por su apoyo y amor incondicional durante toda la carrera.

A mis hermanas: ¡con esfuerzo vais a conseguir lo que querais!

A mi abuela, que me ha acogido y aguantado durante estos cuatro años en su casa.

A mi otra abuela, que no me ha podido ver acabar la carrera, pero sé que estaría muy orgullosa de mí.

A mis amigos y compañeros que me han acompañado durante estos cuatro años.

SISTEMA DE BOMBEO EN VEHICULO AUTONOMO PARA EL MUESTREO DE AGUAS

Autora: Granado Pou, Carlota.

Directora: Cledera Castro, María del Mar.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Se ha diseñado una bomba de agua de pequeñas dimensiones y un sistema para incorporar dicha bomba a un vehículo autónomo de superficie (ASV) con el objetivo de que sea capaz de tomar muestras de agua para hacer una monitorización ambiental. También se ha realizado un estudio bibliográfico de la toma de muestras y los microplásticos.

Palabras clave: Bomba de agua, muestreo, bomba pequeña, microplásticos, ASV, vehículo autónomo de superficie, toma de muestras, sistema de bombeo.

1. Introducción

Los cuerpos hídricos (ríos, mar, lagos...) son fundamentales para la vida y el desarrollo de los seres humanos. Actualmente hay plásticos y microplásticos en todas las aguas del mundo y no hay ninguna normativa que limite la cantidad máxima de microplásticos. Se necesita una normativa para poder remediar esta situación.

Se plantea el diseño de un sistema de bombeo que sea capaz de tomar muestras de agua para que puedan ser llevadas a un laboratorio y allí se analicen. Se llevará a cabo también un estudio bibliográfico del análisis de microplásticos en un laboratorio y de la normativa del muestreo ya que son factores claves para el proyecto.

2. Definición del proyecto

La bomba será de pequeñas dimensiones, estará alimentada por un motor en corriente continua de máximo 16 voltios. La bomba será capaz de tomar 3 litros de agua en menos de 5 minutos. El peso máximo del sistema será de 5 kilogramos, por tanto, para recoger 3 litros de agua, el sistema deberá pesar menos de 2 kilogramos. Se buscarán los elementos que constituirán el sistema completo de bombeo.

3. Descripción del sistema

La Ilustración 1 muestra el sistema completo de bombeo que se ha diseñado en este proyecto. El sistema de bombeo está formado por la bomba de agua de pequeñas dimensiones, un motor en corriente continua, una plataforma para la incorporación del sistema al ASV, un rodamiento para la sujeción del eje del rodete, mangueras, un recipiente para la muestra y una válvula antirretorno con filtro.

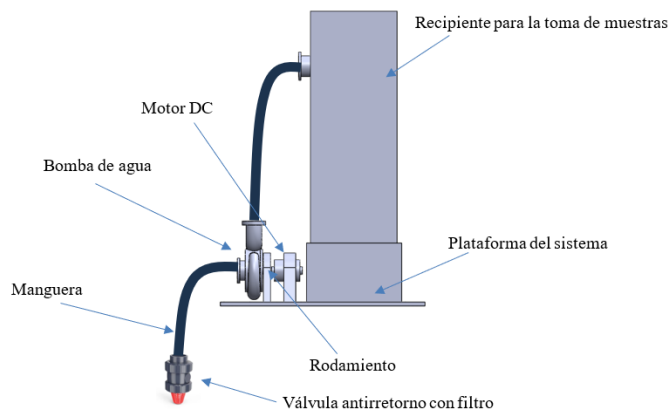


Ilustración 1. Sistema de bombeo completo diseñado

4. Resultados

- La bomba diseñada es capaz de vencer una altura de 1,3 metros de agua sumando la altura de aspiración (altura del barco y profundidad de la toma de muestra) y la de impulsión (altura del recipiente de la muestra). La bomba es capaz de recoger 3 litros de agua en 4,6 minutos. Esta alimentada por un motor en corriente continua que cumple con las especificaciones necesarias.

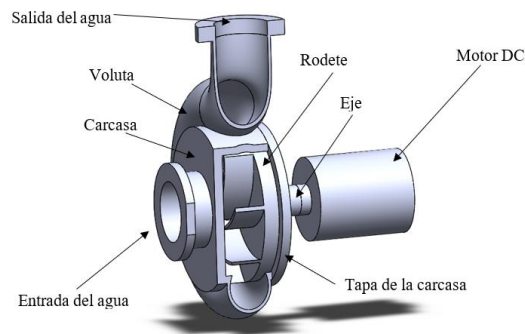


Ilustración 2. Esquema de la bomba de agua diseñada

- Todas las piezas diseñadas con SolidWorks se imprimirán en 3D con el plástico PETG, que es económico y resistirá muy bien las temperaturas a las que estará sometida la bomba y no contaminará la muestra. Al ser una bomba tan pequeña, se usará adhesivo de montaje “Sikasil Pool” para construirla.
- Tras realizar un análisis estático de la plataforma, se obtiene un factor de seguridad de 2,2 que es adecuado para esta situación. Asimismo, tras realizar el estudio de fuerzas en el eje, se ha seleccionado el rodamiento que mejor se ajusta a este proyecto.

- El rodete ha sido diseñado teniendo en cuenta los triángulos de velocidad a la salida y a la entrada y se ha obtenido el rodete que se muestra en la Ilustración 3.

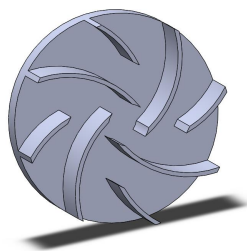


Ilustración 3. Rodete de la bomba

- Tras el estudio bibliográfico del muestreo, de la normativa y del análisis de microplásticos en un laboratorio se han sacado varias conclusiones. La normativa del muestreo explica cómo se han de tomar las muestras para que sean válidas (BOE- A-2015-9806: El Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre[1]). El análisis de microplásticos se llevará a cabo mediante varios filtros que irán separando los microplásticos (y otros organismos que pueda haber) por tamaños, y mediante el estudio y análisis (mediante estereomicroscopio o micro-FTIR) de esos filtros se conocerá la cantidad de microplásticos que hay por litro de agua.
- La válvula antirretorno con filtro permitirá cebar la bomba e impedirá la entrada de organismos o contaminantes de gran tamaño.
- El peso total del sistema es de 4,47 kilogramos. La bomba y el motor pesan 0,0903kg, el recipiente de la muestra pesa 0,98kg y la plataforma del sistema 0,40468 kg.

5. Conclusiones

Gracias a este proyecto, se llevarán a cabo muestreos en diferentes masas de agua de España y, gracias a los resultados que se obtendrán, se podrá llamar la atención para crear una normativa respecto a estos contaminantes.

Este proyecto supone una solución innovadora, económica y adaptable que no depende de la geometría de la embarcación ni de complejos sistemas electrónicos. Proporciona precisión y garantiza datos más fiables de la salud ambiental de los diferentes cuerpos de aguas.

6. Referencias

[1] «BOE-A-2015-9806.pdf». Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2015/09/11/817>

AUTONOMOUS VEHICLE PUMPING SYSTEM FOR WATER SAMPLING

Author: Granado Pou, Carlota.

Supervisor: Cledera Castro, María del Mar.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

A small water pump and a system to incorporate the pump into an autonomous surface vehicle (ASV) have been designed with the purpose of taking water samples for environmental monitoring. A bibliographic study of sampling and microplastics has also been conducted.

Keywords: Water pump, sampling, small pump, microplastics, ASV, autonomous surface vehicle, pumping system.

1. Introduction

Water bodies (rivers, sea, lakes...) are fundamental for the life and development of human beings. Currently there are plastics and microplastics in all the waters of the world and there are no regulations that limit the maximum amount of microplastics in each water body. Regulations are needed to remedy this situation.

It is proposed to design a pumping system that can take water samples to take them to a laboratory and analyzed them. Both the pump and the system for incorporating the pump into the ASV will be designed. A bibliographic study of the analysis of microplastics in a laboratory and the sampling regulations will also be carried out since they are key factors for the project.

2. Definition of the project

The pump will be small. It will be powered by a direct current motor of maximum 16 volts. The pump will be able to take 3 liters of water in less than 5 minutes. The maximum weight of the system will be 5 kilograms. Therefore, to collect 3 liters of water, the system must weigh less than 2 kilograms. The elements that will constitute the complete pumping system will be searched or designed.

3. System Description

The picture (Ilustración 1) shows the complete pumping system that has been designed in this project. The pumping system is made up of a small water pump, a direct current motor, a platform for incorporating the system into the ASV, a bearing for holding the impeller shaft, hoses, a container for the sample and a non-return valve with filter.

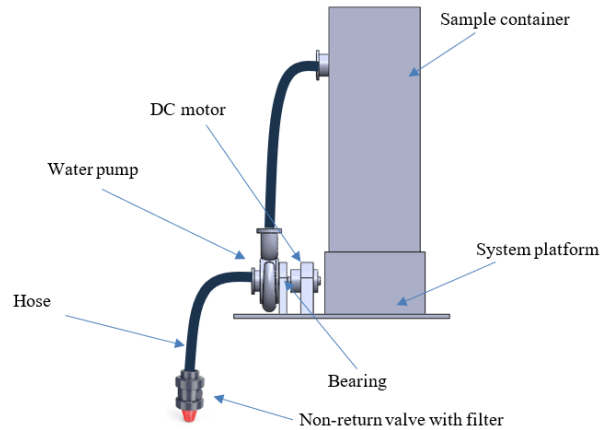


Ilustración 4. Complete pumping system designed.

4. Results

- The designed pump can overcome a height of 1.3 meters. The pump can collect 3 liters of water in 4.6 minutes. It is powered by a direct current motor that meets the necessary specifications.

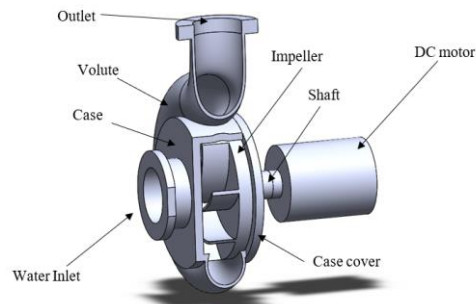


Ilustración 5. Water pump designed.

- All parts designed with SolidWorks will be 3D printed with PETG plastic, which is economical and will resist very well the temperatures to which the pump will be subjected and will not contaminate the sample. Because it is a small pump, it will be built with “Sikasil Pool” mounting adhesive.
- After performing a static analysis of the platform, it is obtained a safety factor of 2.2. It is a reasonable safety factor for this situation. Likewise, after doing the force analysis in the shaft, it has been selected the bearing that best suits this project.
- The impeller has been designed with the speed triangles at the exit and at the entrance. The impeller is shown in the illustration below (Ilustración 6).

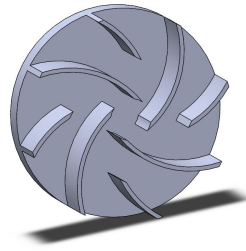


Ilustración 6. Impeller of the water pump.

- After the bibliographic study of sampling, regulations and analysis of microplastics in a laboratory, several conclusions have been drawn. The sampling regulations explain how samples must be taken for them to be valid (BOE-A-2015-9806: Royal Decree 817/2015, of September 11 [1]). The analysis of microplastics will be carried out using several filters that will separate the microplastics (and other organisms that may be present) by size, and through the study and analysis (using a stereomicroscope or micro-FTIR) of these filters the amount of microplastics will be known.
- The non-return valve with filter will allow the pump to be primed. It will prevent the entry of large organisms or contaminants.
- The total weight of the system is 4.47 kilograms. The pump and motor weigh 0.0903kg. The sample container weighs 0.98kg and the system platform 0.40468kg.

5. Conclusions

Thanks to this project, sampling will be carried out in different bodies of water in Spain and, thanks to the results that will be obtained, attention will be drawn to create regulations regarding these contaminants.

This project represents an innovative, economical and adaptable solution that does not depend on the geometry of the boat or complex electronic systems. It provides precision and guarantees more reliable data on the environmental health of different bodies of water.

6. References

- [1] «BOE-A-2015-9806.pdf». Available in: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2015/09/11/817>

Índice de la memoria

1. Introducción	8
1.1 Introducción del proyecto.....	8
1.2 Motivación del proyecto.....	9
2. Estado de la Cuestión	12
2.1 Proyectos antecedentes.....	12
2.2 Vehículo autónomo de la universidad de Sevilla	14
2.2.1 Reinforced [3]	14
2.2.2 Participantes.....	15
2.2.3 Datos del Vehículo Autónomo	16
2.3 Normativa del muestreo en España	17
2.3.1 Muestreo y procedimiento para la toma de muestras en vertidos de aguas residuales industriales	17
2.3.2 Normativa española sobre el muestreo	19
2.4 Análisis de contaminación por microplásticos en agua fluvial	22
2.4.1 Métodos de recolección de muestras de agua	24
2.4.2 Análisis de microplásticos en el laboratorio	27
2.4.3 Situación actual de legislación de los microplásticos.....	29
2.4.4 Conclusiones muestreo	30
2.5 Bombas de Agua	32
2.5.1 Las Primeras Bombas de Agua	32
2.5.2 Bombas	33
2.5.3 Bombas Centrífugas	34
2.5.4 Bomba centrífuga para pequeños caudales.....	35
3. Definición del Trabajo	37
3.1 Justificación.....	37
3.2 Objetivos	38
3.3 Metodología.....	39
4. Diseño de la bomba	41
4.1 Análisis del Sistema	41
4.1.1 Esquema de la Bomba	41

4.1.2 Especificaciones	42
4.2 Diseño.....	43
4.2.1 Dimensionamiento General de la Bomba.....	43
4.2.2 Diseño del Rodete.....	48
4.2.3 Diseño de la Carcasa	58
4.3 Elección del motor DC	65
4.4 Conjunto de la Bomba.....	67
4.5 Caracterización de la Bomba.....	71
4.5.1 Rendimientos y potencias	71
4.5.2 Ecuación Característica de la Bomba.....	73
5. Otros Elementos del Sistema.....	76
5.1 Análisis del Sistema	76
5.2 Plataforma para la incorporación de la bomba al ASV	77
5.2.1 Cálculo para el dimensionamiento del rodamiento.....	80
5.3 Recipiente para la toma de muestras	81
5.4 Manguera.....	83
5.5 Válvula Antirretorno con Filtro.....	85
5.6 Material para la Impresión 3D.....	88
5.7 Adhesivo de montaje	91
6. Estimación económica.....	93
7. Análisis de Resultados.....	95
8. Conclusiones y Trabajos Futuros	99
9. Bibliografía	100
ANEXO I: Objetivos ODS	103
ANEXO 2: Dimensionamiento de la Bomba	107
ANEXO 3: Hoja característica Motor DC.....	110
ANEXO 4: Hoja característica Rodamiento.....	114

<i>ANEXO 5: Planos de la Bomba CAD.....</i>	<i>119</i>
--	-------------------

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Sistema de bombeo completo diseñado.....	10
Ilustración 2. Esquema de la bomba de agua diseñada.....	10
Ilustración 3. Rodete de la bomba	11
Ilustración 4. Complete pumping system designed.	13
Ilustración 5. Water pump designed.	13
Ilustración 6. Impeller of the water pump.	14
Ilustración 7. Vehículo autónomo de superficie de la UBA[12]	14
Ilustración 8. Vehículo Autónomo para monitorización ambiental de REINFORCED [3]	16
Ilustración 9. Medidas de la embarcación [3].....	17
Ilustración 10. Muestreador Rosetta [Foto de Wikipedia]	25
Ilustración 11. Muestreo manual con balde y red manual.	25
Ilustración 12. Sistema PLEX para la toma de muestras de agua [20].....	26
Ilustración 13. Número de publicaciones por año (1970-2014), usando el término de búsqueda “plastic pellets” y “microplásticos”.....	29
Ilustración 14. Válvula antirretorno con filtro. Fuente: Captura video EFE UNO JOAQUIN[22]	31
Ilustración 15. Filtro para válvula antirretorno Leroy Merlin	31
Ilustración 16. Tornillo de Arquímedes. [23]	32
Ilustración 17. Bomba Shadoof, 2000 a.C.....	33
Ilustración 18. Elementos constitutivos de una bomba. Fuente: transparencias ICAI	35
Ilustración 19. Esquema de la bomba	41
Ilustración 20. Sistema de bombeo con bomba y motor.....	44
Ilustración 21. Bomba y motor, vista de la parte frontal y trasera	45
Ilustración 22. Esquema de las alturas que tiene que vencer la bomba para trasportar el fluido.	46
Ilustración 23. Boceto en SolidWorks del triángulo de velocidad a la entrada del rodete ..	50
Ilustración 24. Boceto en SolidWorks del triángulo de velocidad a la salida del rodete	51
Ilustración 25. Perfil del rodete con los espesores indicados	52

Ilustración 26. Primer álabe extruido con SW mediante relaciones con el boceto (rojo) ...	53
Ilustración 27. Dimensiones del álabe	54
Ilustración 28. Alzado rodete con ocho álaves	54
Ilustración 29. Rodete en 3D de ocho álaves sin cortar.....	55
Ilustración 30. Rodete final, vista alzado	56
Ilustración 31. Rodete final, vista dimétrica.....	56
Ilustración 32. Rodete final, vista perfil	57
Ilustración 33. Rodete final, parte de atrás	57
Ilustración 34. Diámetros de partida para el diseño de la voluta.....	59
Ilustración 35. Voluta con bocetos incluidos, vista de frente	60
Ilustración 36. Voluta con sistema difusor, vista 1.....	61
Ilustración 37. Voluta con sistema difusor, vista 2.....	61
Ilustración 38. Carcasa de la bomba, vista de frente	62
Ilustración 39. Carcasa de la bomba, vista dimétrica	63
Ilustración 40. Carcasa de la bomba, vista de perfil.....	63
Ilustración 41. Carcasa de la bomba, vista desde atrás.....	64
Ilustración 42. Tapa de la carcasa.....	65
Ilustración 43. Motor DC de alimentación de la bomba.....	65
Ilustración 44. Dimensiones del motor de corriente continua	66
Ilustración 45. Conjunto de la bomba, vista de frente	67
Ilustración 46. Conjunto de la bomba, vista de perfil.....	68
Ilustración 47. Conjunto de la bomba, vista dimétrica	68
Ilustración 48. Conjunto de la bomba, vista de atrás.....	69
Ilustración 49. Conjunto de la bomba con la carcasa transparente.....	70
Ilustración 50. Rodete y voluta con corte frontal para ver el interior.....	70
Ilustración 51. Acoplamiento motor y rodete con la carcasa oculta.....	71
Ilustración 52. Esquema del sistema de bombeo completo con todos sus elementos	76
Ilustración 53. Plataforma para la incorporación de la bomba al ASV	77
Ilustración 54. Cálculo del factor de seguridad en la plataforma del sistema de bombeo...	78
Ilustración 55. Vista de frente análisis estático de la plataforma	78

Ilustración 56. Rodamiento rígido de bolas de acero inoxidable W61700 de SKF. [25]....	79
Ilustración 57. Rodamiento dentro del sistema de bombeo.....	80
Ilustración 58. Diagrama de cuerpo libre del eje.....	81
Ilustración 59. Esquema recipiente para la toma de muestras.....	82
Ilustración 60. Recipiente para la muestra de base cuadrada	82
Ilustración 61. Recipiente para la muestra de base redonda.....	83
Ilustración 62. Mangueras de plástico para el sistema de bombeo.....	84
Ilustración 63. Filtro de succión de latón: válvula de pie con válvula de retención, cesta de succión, boquilla y abrazadera de manguera [Amazon].....	85
Ilustración 64. Medidas válvula antirretorno con filtro de latón, Amazon.....	86
Ilustración 65. Válvula antirretorno con filtro encolar PVC Hidroten [Natur Clara].....	86
Ilustración 66. Medidas de la válvula antirretorno con filtro encolar PVC Hidroten	87
Ilustración 67. Válvula de retención inferior de pistón, bomba de agua, salida de entrada de agua, filtro UPVC, accesorios de tubo de riego para acuario, jardín y hogar, 20 ~ 63mm. 87	87
Ilustración 68. Esquemas termoplásticos básicos.....	89
Ilustración 69. Esquemas termoplásticos de nicho.....	89
Ilustración 70. Esquema superplásticos.....	90
Ilustración 71. Sikasil Pool, Transparente, Sellador de silicona neutra para juntas en piscinas, Alta resistencia al cloro y antifongicida, 300ml [Amazon].....	92
Ilustración 72. Resultado completo del proyecto	95
Ilustración 73. Plano del conjunto de la bomba	96

Índice de tablas

Tabla 1. Flotabilidad de diferentes polímeros (adaptado de BASEMAN, 2019).....	24
Tabla 2. Especificaciones iniciales sistema de bombeo	42
Tabla 3. Altura geodésica total y altura útil (metros)	47
Tabla 4. Dimensiones de la entrada del rodete	48
Tabla 5. Dimensiones de la salida del rodete	48
Tabla 6. Triángulos de velocidad a la entrada del rodete	49
Tabla 7. Triángulo de velocidad a la salida del rodete	49
Tabla 8. Cálculo del número de álabes.....	52
Tabla 9. Dimensiones del motor de corriente continua	66
Tabla 10. Especificaciones del motor en corriente continua	66
Tabla 11. Precio de la manguera de PVC por metro	84
Tabla 12. Fibras de materiales para la impresión 3D [26].....	88
Tabla 13. Precios de las diferentes opciones para el material de impresión 3D.....	90
Tabla 14. Estimación económica del proyecto	93
Tabla 15. Peso total del sistema.....	94

1. INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN DEL PROYECTO

Los recursos hídricos (lagos, ríos, mares, ...) o instalaciones marítimas (puertos, canales, ...) juegan un papel muy importante para el desarrollo, para el bienestar y para la industria de las ciudades. Asimismo, teniendo en cuenta que el 70% de la Tierra está cubierta de agua, es necesario llevar a cabo estudios ambientales que ayuden a la conservación de dichos ecosistemas. Por ello, la toma de muestras de agua es necesaria para conocer la calidad del agua y sus características físicas, químicas y biológicas. Actualmente, las muestras son tomadas de forma manual, por personas que las toman desde la orilla o desde embarcaciones.

El objetivo de este proyecto es dotar a un vehículo autónomo de superficie (ASV) de un sistema de bombeo que tome muestras de agua para la monitorización ambiental. Se busca tanto optimizar el tiempo y recursos empleados en la toma de muestras; como reducir los riesgos que pueden surgir al tomar muestras en cuerpos de agua donde es posible encontrar microorganismos patógenos[2]. Esto también permitirá tomar muestras de agua en sitios de difícil acceso. Asimismo, tomar las muestras de forma manual puede llevar a la contaminación de estas.

Por otra parte, las propiedades del agua cambian con la profundidad. Al tomar las muestras de forma manual no hay precisión respecto a la profundidad. Incluso, la mayoría de las veces solo se tiene en cuenta la superficie del cuerpo acuático para el muestreo. El sistema de bombeo que se explica en este trabajo tiene también como objetivo que las muestras tomadas del medio acuático sean una buena representación de la realidad. Se intentará que el vehículo autónomo tome muestras a una profundidad especificada por el usuario.

El vehículo autónomo (ASV) es una embarcación pequeña tipo catamarán. Tiene dos motores que permiten el manejo en una configuración diferencial. Tiene un tamaño de 1.38 m de eslora y 0.92 m de manga. El vehículo autónomo debe ser ligero, manejable y eficiente.

Estará equipado con actuadores y sensores que permitan su manejo y caracterización del entorno acuático. Dicho vehículo autónomo está siendo diseñado y desarrollado por REINFORCED[3].

Se estudiarán los procedimientos y la normativa, si procede, del muestreo de aguas en territorio español. En el caso de que haya diferencias según la comunidad autónoma, se llevará el proyecto a un caso y lugar más específico. Se elegirán los materiales y procedimientos que mejor se ajusten a las necesidades, y que, a la vez, cumplan la normativa.

1.2 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

La calidad del agua es un factor fundamental para nuestra salud y para nuestra forma de vida. Es importante estudiar y caracterizar los diferentes cuerpos acuáticos que nos rodean, ya sea porque va a acabar en nuestro organismo o por motivos medioambientales. Automatizar el proceso de muestreo permite reducir la posibilidad de cometer errores y a la vez optimizar recursos.

La motivación principal de este proyecto es la salud ambiental, puesto que, la mayoría de las muestras de agua que se toman para caracterizar un cuerpo hídrico tienen como objetivo hacer un estudio de la calidad del agua con fines de cuidar y proteger el medioambiente. El objetivo es hacer una monitorización ambiental. No hay una normativa que establezca la cantidad máxima de microplásticos que se pueden verter en el medio ambiente o en cuerpos hídricos. Se busca realizar un estudio respecto a la cantidad de microplásticos que hay en nuestras aguas y así establecer un límite y con ello, una normativa.

Por otra parte, se busca innovar en el tipo de solución tomada. En vez de desarrollar un prototipo eléctrico, con sensores o mecatrónico, se busca darle una solución más mecánica mediante una bomba que tome muestras de agua.

Es necesario que el sistema para obtener las muestras de agua sea mediante un sistema de bombeo, puesto que, nuestro objetivo es llevar esas muestras a un laboratorio para analizarlas

más en detalle. Se busca conocer información que no se puede obtener mediante sensores. Entre otras cosas, se busca medir la cantidad de microplástico que hay en dichas muestras de agua.

Este sistema ayudaría a prevenir desastres como el que ocurrió en Galicia hace unos meses: aparecieron bolas muy pequeñas de plástico en muchas playas de la costa gallega[4]. Ahora mismo no hay una normativa aplicada sobre la contaminación de los medios acuáticos. Mediante este proyecto, se pretende alertar sobre la cantidad de contaminación y la normativa a aplicar. Se busca conocer y estudiar la cantidad de contaminación que hay, para así, establecer una normativa. El caso de Galicia no fue un caso aislado. Este sistema ayudaría a regular todas estas situaciones en las que se vierten contenedores de productos contaminantes al mar.

La contaminación por plásticos está presente en todas partes, desde las playas de Indonesia hasta en el fondo del océano del Polo Norte. Se calcula que, si la contaminación por plásticos sigue la tendencia actual, los océanos tendrán más plástico que peces para 2050.[5]

Más de un tercio de la población mundial vive en países con escasez de agua. Además, la contaminación del agua va en aumento debido a las aguas residuales industriales, a los contaminantes emergentes como los plásticos o microplásticos, las prácticas agrícolas y otros desechos humanos de difícil eliminación. Según el Banco Mundial, el mundo se enfrenta a una disminución de la calidad del agua y a una gran contaminación que pone en peligro el bienestar humano y ambiental.

Este proyecto también busca tomar muestras en masas de agua que después serán empleadas para el consumo. Gracias a este sistema de bombeo se mejorará la calidad del agua. Se implementará la gestión integrada de los recursos hídricos. Se protegerá y restaurará los ecosistemas asociados al agua. Asimismo, como será un diseño muy cómodo de usar, se promoverá y potenciará la participación de comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y saneamiento. Ayudará a ampliar el acceso universal y equitativo al agua potable. Y ayudará a realizar una gestión sostenible del agua implantando sistemas de gestión

ambiental certificados. Este proyecto, podrá ser implementado en países en desarrollo para llevar un control de sanidad del agua que consumen y así evitar las miles de muertes diarias causadas por beber agua en malas condiciones y por falta de higiene [6]. Este proyecto también ayudará a la salud y al bienestar de las personas puesto que la deficiencia en la salud ambiental contribuye a que haya más enfermedades y a la muerte de miles de personas. Tomar muestras de agua para después analizar su calidad, ayudará a controlar tanto el agua que bebemos como el agua donde viven animales que después ingerimos.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1 PROYECTOS ANTECEDENTES

La mayoría de las muestras de agua son tomadas de manera manual. Sin embargo, se han realizado diferentes proyectos que intentan automatizar el proyecto.

En 2012 se publicó una patente de un aparato para la toma de muestras de líquido y el procedimiento para su control[7]. Dicho aparato es capaz de tomar muestras a una profundidad deseada. Está compuesto por tres partes, una parte superior, una parte inferior y un elemento de transición cinemática que conecta ambas partes. Consta de un mecanismo de regulación. El procedimiento consiste en colocar el aparato en el líquido, esperar al momento en que se produzca el contacto de la parte inferior del cuerpo con el fondo, y después, esperar a que se regule la longitud a la profundidad deseada. Este proyecto permite la toma de muestras a una determinada profundidad con gran precisión, así como también, la toma de varias muestras simultaneas.

En un estudio y trabajo de investigación de INGEMMET (Perú) se explica el procedimiento para la toma de muestras de agua[8]. En él se describen las cosas que se han de hacer para tomar una muestra. Dicho procedimiento se deberá tener en cuenta a la hora de automatizar el proceso.

En 2022 se publicó una tesis en México sobre un robot acuático para la toma de muestras de agua en lagunas de baja profundidad[9]. Este proyecto es el que más se parece a la cuestión estudiada aquí. Se realiza el diseño y construcción de un robot acuático de superficie capaz de navegar en cuerpos de agua poco profundos y que tome muestras de agua a una profundidad especificada por el usuario. Sin embargo, el mecanismo de la toma de muestras no consiste en una bomba que tome muestras de agua, sino de una capsula que es sumergida

para obtener la información deseada. El volumen máximo de la toma de agua es de 100mL y la capsula sumergible puede llegar hasta una profundidad de 2 metros.

En 2019, alumnos de la Universidad El Bosque, en Bogotá, desarrollaron un prototipo modular sumergible para la medición y toma de muestras de agua[10]. Dicho prototipo permite tomar 5 muestras y estudiar 6 variables fisicoquímicas del agua mediante el uso de sensores, tarjetas de adquisición de señales y actuadores. En este proyecto también se realizaron pruebas para cada uno de los sensores concluyendo que el prototipo obtenido era una herramienta que facilitaba el proceso de estudio de calidad del agua.

En 2014 se publicó una tesis de alumnas de la Pontificia Universidad Católica de Ecuador que consistía en el desarrollo de un método de toma automática de muestras de aguas residuales utilizando un muestreador robótico portátil[11].

También se han desarrollado robots autónomos para el monitoreo ambiental en medios acuáticos. [12] Entre sus objetivos destaca la creación de mapas de los márgenes de arroyos y ríos para estudiar la degradación de costas o la medición de los niveles de contaminación de agua. Dicha monitorización se llevaba a cabo mediante sensores colocados en la embarcación, esto permitía una cobertura mucho mayor y a un menor costo, haciendo que la repetitividad fuese mucho más fácil. La idea era usar no uno, sino un grupo de estos vehículos autónomos con el objetivo de convertir el sistema en una red dinámica de sensores para cubrir distintas áreas dependiendo de diferentes fenómenos como puede ser la contaminación. De hecho, se destaca usar dichos vehículos marinos junto vehículos aéreos, para que, de manera autónoma, se puedan sumar sus características y así se puedan generar sistemas más complejos. La Ilustración 7. Vehículo autónomo de superficie de la UBA[12] muestra este vehículo autónomo de superficie.



Ilustración 7. Vehículo autónomo de superficie de la UBA[12]

Se puede concluir que a pesar de que ya se ha intentado automatizar el proceso de muestreo, no se ha tenido en cuenta la posibilidad de desarrollar un sistema de bombeo para obtener dichas muestras de agua. Todos los ejemplos mostrados arriba consistían en un prototipo que mediante sensores tomaba la información necesaria. Nuestro objetivo es tomar esas muestras de agua y llevarlas a un laboratorio para analizarlas. Por eso se usará una bomba.

2.2 VEHÍCULO AUTÓNOMO DE LA UNIVERSIDAD DE SEVILLA

2.2.1 REINFORCED [3]

El sistema de bombeo diseñado en este proyecto este acoplado a una embarcación autónoma de pequeñas dimensiones que ha sido diseñada por la Universidad de Sevilla. Dicho proyecto es llevado a cabo por REINFORCED: Red de Investigación sobre Vehículos autónomos e Inteligencia Artificial para la Monitorización de Recursos Hídricos (Tecnología en Acción).

La red temática REINFORCED pretende congrega diferentes sectores que estén interesados o que estén trabajando en los distintos aspectos que contribuyen a la monitorización de

recursos hídricos mediante vehículos autónomos. Entre los participantes se incluyen universidades, empresas interesadas y fundaciones. La monitorización de recursos hídricos mediante vehículos autónomos requiere de conocimiento tales como la robótica, inteligencia artificial, electrónica, control, instrumentación, tratamiento de agua y medio ambiente, entre otras. Los tres pilares claves de REINFORCED para conseguir sus objetivos son, el primero, la robótica y control de vehículos autónomos. El segundo pilar son los sensores, la gestión de datos y la inteligencia artificial. El tercer pilar es la gestión del agua y la monitorización.

Los cuerpos hídricos que se quieren monitorizar incluyen, pero no se limitan a: aguas superficiales continentales (lagos, embalses...), aguas de transición y costera (ríos, lagunas, estuarios, deltas y litoral) y puertos y marinas.

El análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades) realizado por el equipo proponente de la red menciona las debilidades del proyecto como la escasez de datos y proyectos, la gran escala de los recursos hídricos, respuesta lenta de las administraciones públicas... Las amenazas que menciona son el cambio climático, la escasez de agua, el degradado de los recursos hídricos y los ecosistemas marinos... Las fortalezas de la investigación mencionadas son avances en algoritmos basados en ingeniería artificial, gestión y análisis de grandes cantidades de datos, progresos en robótica, grupos de investigación... Las oportunidades del proyecto son la financiación: plan de resiliencia y Horizonte Europeo, objetivos de desarrollo sostenible, posicionamiento en un sector emergente, construcción de una red a nivel nacional (ministerio) o internacional (fondos europeos).

2.2.2 PARTICIPANTES

Entre los participantes se encuentran la Universidad de Sevilla, la Universidad Loyola, la Universidad de Huelva, la Universidad de Málaga, la Universidad de Cádiz, Universidad de Córdoba... y empresas como Libelilum, Agroair, Tumirobotics, Andalu-sea...

Este proyecto forma parte del grupo de investigación del nodo 5: Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Pontificia Comillas, del que forma parte la directora de este

proyecto; María del Mar Cledera Castro y Carlos Morales. Es el departamento encargado de la toma de muestras de agua y análisis de microplásticos. Este proyecto se centra en diseñar el sistema de bombeo para el vehículo autónomo, con el objetivo de examinar las muestras de agua en un laboratorio.

2.2.3 DATOS DEL VEHÍCULO AUTÓNOMO

Como se ha mencionado en la introducción, el vehículo autónomo (ASV) es una embarcación pequeña tipo catamarán. Tiene dos motores que permiten el manejo en una configuración diferencial. Tiene un tamaño de 1.38 m de eslora y 0.92 m de manga. El vehículo autónomo debe ser ligero, manejable y eficiente. Estará equipado con actuadores y sensores que permitan su manejo y caracterización del entorno acuático. A continuación, se muestra en la Ilustración 8 el vehículo autónomo y en la Ilustración 9 las medidas de dicho vehículo autónomo.



Ilustración 8. Vehículo Autónomo para monitorización ambiental de REINFORCED [3]

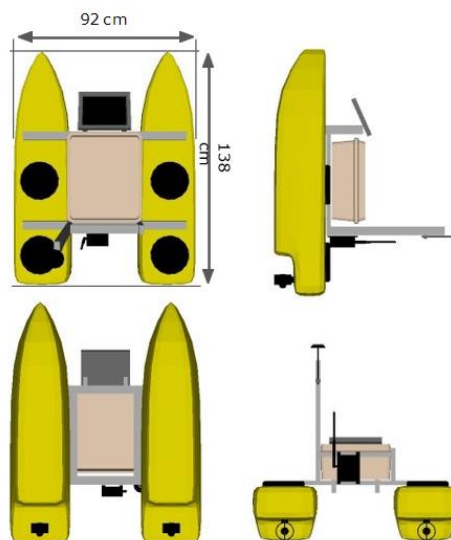


Ilustración 9. Medidas de la embarcación [3]

2.3 **NORMATIVA DEL MUESTREO EN ESPAÑA**

2.3.1 **MUESTREO Y PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE MUESTRAS EN VERTIDOS DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES**

La toma de muestras consiste en la obtención de una porción del vertido de volumen suficientemente pequeño para que pueda ser transportado y manipulado con facilidad, pero a la vez, represente con exactitud las características del vertido del que proceden. [13]

Es muy importante que las diferentes administraciones y entidades responsables dispongan de un servicio especializado para las tareas de control, seguimiento e inspección de las posibles masas de agua contaminadas, debido al continuo desarrollo legislativo. Las normas medioambientales, incluidas las normas que se aplican a los cuerpos de agua, definen los objetivos de calidad, límites de emisión... Por ello es muy importante la realización de un control rutinario, la identificación de los focos contaminantes y la realización de un muestreo sobre las aguas residuales industriales, sobre los puntos de la red de saneamiento o cauces.

Para comenzar un muestreo es necesario comunicar al sujeto inspeccionado de la llegada y objeto de la actuación. El técnico encargado deberá estar acreditado para la realización de dicha inspección. En el caso de que el punto de muestreo sea externo a las instalaciones objeto de inspección, se contará con la presencia de un agente de la autoridad. [14]

El muestreo se realizará en uno o varios puntos del vertido a criterio del inspector. La muestra se tomará en un punto representativo de la calidad de dicho cuerpo hídrico o vertido. Dicha muestra se realizará con un caza-muestras o botella toma-muestras. Debe ser enjuagada previamente con la misma agua a muestrear y dicha agua no debe ser devuelta al mismo punto de muestreo, a menos que la corriente garantice que no vaya a afectar sobre la muestra. Es muy importante evitar en lo posible la acumulación de oxígeno en el interior del envase.

El material del envase será escogido en función a los parámetros a analizar, respetando la normativa o legislativa que corresponda. Con carácter general se empleará una botella de vidrio de 1000 ml para muestreos orgánicos y una botella de plástico de 2 litros para el resto de las determinaciones analíticas. Se recomienda el precintado de las muestras introduciendo el recipiente en una bolsa cerrada mediante precinto numerado inviolable y que será serigrafiada mediante escritura indeleble. Los datos deberán coincidir con los de la etiqueta significativa de la muestra.

Para la identificación de la muestra deberá haber una etiqueta que garantice su fácil identificación pero que, sin embargo, su origen no sea público, para que así, los laboratorios trabajen sobre muestras ciegas. La etiqueta debe incluir código de referencia, fecha de muestreo y hora. La conservación de la muestra debe ser tal que no haga modificar significativamente los resultados del análisis.

Puede ser que se necesite la medición o estimación del caudal vertido. Para cada tipo de caudal se procederá de forma específica, siendo los tipos: caudal estimado, caudal medido, caudal declarado.

Se cumplimentará un documento denominado “diligencia de inspección” que contendrá, entre otros, los datos relativos a la inspección y el muestreo. A la hora de entregar las muestras en el laboratorio, se pueden dar dos situaciones. Cuando los inspectores son acompañados por el propio personal del laboratorio, las muestras serán tomadas, conservadas y transportadas por este. Cuando son los inspectores los que realizan el muestreo, deberán rellenar una hoja de solicitud donde se expondrán los datos generales de la muestra.

2.3.2 NORMATIVA ESPAÑOLA SOBRE EL MUESTREO

Como se ha hablado en puntos anteriores, el muestreo de agua es fundamental para conocer las propiedades de cuerpos hídricos de manera objetiva. Para ello es necesario la creación y aplicación de una normativa.

El gobierno de España[15] defiende que la evaluación del estado del agua es fundamental para la gestión y planificación de las aguas. Esta evaluación permite fijar las condiciones para el uso del agua, los límites de las autorizaciones de vertidos, las sanciones, las actuaciones de recuperación... Se busca disponer de procedimientos de evaluación de las masas de agua que sean objetivos y precisos. Con un buen diagnóstico se mejora la efectividad de las medidas de recuperación. Así mismo, este procedimiento debe ser lo más homogéneo posible con el objetivo de que el nivel de exigencia sea comparable en todo el territorio. Por último, debe ser transparente y conocido por todos los ciudadanos.

El proceso de evaluar las aguas es muy complejo y dinámico, por tanto, con el objetivo normalizar el muestreo de aguas, se establece en la Directiva Marco del Agua, en el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas, y en los Reales Decretos 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental, el Real Decreto 1514/2009, de 2 de octubre, por el que se regula la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro, así como en el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación

Hidrológica y la Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica, se están desarrollando instrucciones técnicas, guías, y protocolos de medida y toma de muestras entre los que se incluye: “Guía para la evaluación del estado de las aguas superficiales y subterráneas”[16] En dicho documento se describe el marco de la normativa española y el marco de la normativa europea.

De todos los decretos y normativa mencionada, la que se aplica en este caso es el Real Decreto de seguimiento y evaluación del estado (RDSE): El Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre. Fue publicado en el BOE-A-2015-9806.

2.3.2.1 BOE- A-2015-9806: El Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre

Las partes del decreto que afectan a la realización de este proyecto se encuentran en los anexos. Como se menciona en el artículo 3: “se entiende por estación de muestreo al conjunto de puntos utilizados para la evaluación del estado de la masa de agua, siendo un punto de muestreo el lugar geográfico de toma de la muestra.” [1]

Por tanto, cada masa de agua deberá tener exclusivamente una estación que podrá contener varios puntos de muestreo.

La normativa que útil para este proyecto se encuentra en el Anexo I: Criterios básicos de diseño e implantación de los programas de seguimiento.

En el apartado A se explican tres subprogramas de control de vigilancia. El primero es un subprograma de seguimiento del estado general de las aguas (A.1), el segundo, es un subprograma de referencia (A.2) y el tercero es un subprograma de control de emisiones al mar y transfronterizas (A.3). De estos tres subprogramas solo se aplican en este proyecto el A.1 y el A.2.

Las estaciones de muestreo deberán ubicarse en masas de agua que reflejen la heterogeneidad de la demarcación y el número de estaciones dependerá de dicha homogeneidad. Asimismo, se garantizará que el muestreo se realice en puntos donde el nivel del flujo de agua sea significativo dentro del conjunto de la demarcación hidrográfica,

incluidos aquellos puntos en grandes ríos cuya cuenca sea superior a 2.500 km²; el volumen de agua sea significativo dentro del conjunto de la demarcación hidrográfica, incluidos los grandes lagos y embalses; las condiciones del medio acuático circundante no estén bajo la influencia directa e inmediata de un foco de contaminación ni sometidas a las mareas.

Los contaminantes vertidos en cantidades significativas son conocidos como contaminantes específicos. Los elementos de calidad fisicoquímicos generales y contaminantes específicos se controlarán al menos cada tres meses, aunque se recomienda un control mensual. Sin embargo, para más información y para casos más específicos, consultar las tablas del Anexo I que hacen referencia a la frecuencia del muestreo.

La diferencia entre el apartado A.1 y el A.2 son que los resultados del subprograma A.1 permiten extrapolar la evaluación del estado de una masa de agua a otras del mismo tipo que no han sido muestreadas, siempre y cuando estén sometidas a las mismas presiones que la masa de agua muestreada; mientras que el subprograma A.2 tiene como objetivo evaluar las tendencias a largo plazo mediante cambios en las condiciones naturales. Se lleva a cabo de tal manera, que se muestrean todas las condiciones de calidad durante al menos un año.

El apartado B consiste en un programa de control operativo. Como establece el artículo 6, el programa de control operativo tiene por objeto determinar el estado de las masas de agua en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales, así como evaluar los cambios que se produzcan en el estado de dichas masas como resultado de los programas de medidas.

Si la zona a evaluar se trata de una zona protegida, consultar el apartado C que expone los requisitos adicionales para el seguimiento de zonas protegidas. El apartado D habla sobre los requisitos específicos para el seguimiento de las sustancias prioritarias y contaminantes. Dicho apartado sirve para complementar el apartado A y en nuestro caso de estudio no nos aporta nueva información.

El Anexo III consiste en criterios y especificaciones técnicas para el seguimiento y clasificación del estado de las aguas, en el que se explican los protocolos de muestreo para

aguas superficiales continentales. Sin embargo, no aplica en este proyecto, pues todos los protocolos hacen referencia al muestreo de seres vivos.

El Anexo IV consiste en las normas de calidad ambiental para las sustancias prioritarias y otros contaminantes. En el apartado A se explican las Normas de Calidad Ambiental (NCA) y se define los términos media anual (MA) y concentración máxima admisible (CMA). Para más información consultar dicho apartado.

2.4 ANÁLISIS DE CONTAMINACIÓN POR MICROPLÁSTICOS EN AGUA FLUVIAL

A pesar de toda la normativa y legislación existente para el muestreo, no hay una norma específica que hable de los microplásticos, que explique su protocolo para el muestreo, la frecuencia de muestreo, o la máxima cantidad de microplásticos aceptados. Los microplásticos son un contaminante emergente, pues no tienen una normativa, sin embargo, los podemos encontrar a diario, tanto en el aire como en el agua.

Todo lo anterior hace referencia a muestreo de contaminantes específicos y otras sustancias, pero entre esos contaminantes no se incluyen los microplásticos. Sin embargo, el objetivo de este apartado es profundizar más sobre el análisis de contaminación por microplásticos, empleando la normativa actual. Es necesario extrapolar la normativa e información obtenida en los apartados anteriores al campo de los microplásticos.

Para ello, es necesario definir lo que se considerará microplásticos. En el contexto de este trabajo se va a considerar la definición generalmente aceptada de microplásticos como aquellos comprendidos entre 100 nm y 5 mm. Los microplásticos primarios se fabrican directamente. Los microplásticos secundarios se definen como partículas o desechos de plástico originados por la degradación o fragmentación de plásticos de gran tamaño mediante diversos procesos físicos, químicos o biológicos.[17] Se encuentran en diversos medios, entre ellos ríos, lagos, agua de mar, sedimentos, biota, sal marina, aguas residuales, suelo,

aire... Geográficamente se han encontrado en aguas costeras, océanos abiertos y regiones polares. Una vez estos son liberados o formados, es muy difícil eliminarlos.

La abundancia media reportada de microplásticos en el agua de mar en todo el mundo osciló entre $4,8 \times 10^{-6}$ artículos/ m^3 en el Pacífico ecuatorial oriental a 10^{2-3} artículos/L en el Pacífico nororiental, mostrando una diferencia máxima de 12 órdenes de magnitud. De hecho, la abundancia de microplásticos tiende a aumentar significativamente cuando se reduce a tamaños más pequeños. El resumen de los datos publicados muestra que las abundancias medias de microplásticos en muestras de agua son 0,00028, 0,22, 0,96, 93 y 2444 elementos/ m^3 con tamaños de malla de 900–1000, 450–505, 280–350, 120–250 y 10–80 μm , respectivamente. Estas diferencias de magnitud se deben, sobre todo, a diferentes métodos de muestreo y diferentes volúmenes de agua muestreados.

Ha habido varios métodos para medir o intentar recolectar estos microplásticos. Se recomienda utilizar al menos 8 m^3 de muestras de agua. Sin embargo, este volumen puede resultar muy difícil de conseguir en muchas condiciones. Por eso, es importante contar con métodos que sean comparables. La mayoría de los estudios usan redes de arrastre Neuston o Manta con tamaños de malla de 20 a 1000 μm para recolectar microplásticos en las aguas superficiales. También se han utilizado otros métodos de recogida de agua a granel con membranas de diferentes tamaños de poros. Las aguas subterráneas se recolectan mediante bombas durante el cruce de los barcos (Desforges et al., 2014) o mediante bombas sumergibles colocadas a diferentes profundidades (Zobkov, Esiukova, Zyubin y Samusev, 2018).

Se ha utilizado la clasificación visual a simple vista o con un estereomicroscopio para identificar microplásticos grandes en el rango de tamaño de 1 a 5 mm. Sin embargo, este método no se puede aplicar a plásticos pequeños de tamaño micro o nano. Limitado por la instrumentación, la complejidad de los microplásticos en tamaño, forma y color, y los métodos analíticos, el método más aceptable y práctico hasta ahora es el micro-FTIR.

Los fragmentos plásticos pueden comportarse de maneras muy diferentes dependiendo de su tamaño, estado y composición. La base de muchos métodos de muestreo se basa en la columna del agua en flotabilidad positiva o neutra, en los primeros centímetros de la masa de agua: según sea su composición, una parte de los polímeros flotan más o menos en el agua. Otro grupo tienen una densidad mucho mayor que el agua y decantan de forma inmediata. Dicha información queda resumida en la Tabla 1. Flotabilidad de diferentes polímeros (adaptado de BASEMAN, 2019).[18].

Tabla 1. Flotabilidad de diferentes polímeros (adaptado de BASEMAN, 2019).

Abreviatura	Polímero	Densidad* (g cm ⁻³)	Flotabilidad**	
PS	Poliestireno	0.01 – 1.06	▲	Positiva
PP	Polipropileno	0.85 – 0.92	▲	Positiva
LDPE	Polietileno de baja densidad	0.89 – 0.93	▲	Positiva
EVA	Etilvinilacetato	0.93 – 0.95	▲	Positiva
HDPE	Polietileno de alta densidad	0.94 – 0.98	▲	Positiva
PU	Poliuretano	1.00 – 1.03	▲	Positiva
PA 6,6	Nylon 6,6	1.13 – 1.15	▼	Negativa
PMMA	(Polimetil) metacrilato	1.16 – 1.20	▼	Negativa
PC	Polycarbonato	1.20 – 1.22	▼	Negativa
PA	Poliamida	1.12 – 1.15	▼	Negativa
PET	Tereftalato de polietileno	1.38 – 1.41	▼	Negativa
PVC	Policloruro de vinilo	1.38 – 1.41	▼	Negativa
PTFE	Politetrafluoretileno (teflón)	2.10 – 2.30	▼	Negativa

*La densidad de los diferentes materiales puede variar dependiendo de los aditivos añadidos en la producción. **Densidad del agua dulce 1; densidad del agua del mar 1.025.

2.4.1 MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA

Los métodos más comunes para la recolección de agua para muestrear incluyen el remolque, que puede ser tanto a baja como a alta velocidad. Así como también, el muestreo a diferentes profundidades gracias a una bomba sumergible o el muestreador Rosetta. Este último es un

dispositivo utilizado para tomar muestras de agua en aguas profundas y se muestra en la Ilustración 10.



Ilustración 10. Muestreador Rosetta [Foto de Wikipedia]

Otras formas de recolección de agua serían, por ejemplo, el muestreo manual con balde y red manual. Dichos ejemplos se muestran en la Ilustración 11.



Ilustración 11. Muestreo manual con balde y red manual.[SEGEA, direct industry]

Por otra parte, otros métodos más modernos son descritos a continuación. El primero de ellos se trata de la incorporación de unas bombas en cruceros y el segundo método consiste en

usar bombas sumergibles colocadas a diferentes profundidades. Este último usa un sistema llamado Plex que consta de una bomba y un sistema de filtros y tubos.

En el primer método, que consiste en bombas en cruceros, la toma de muestras era llevada a cabo durante travesías normales en cruceros. El objetivo de dicho proyecto era conocer la distribución de microplásticos en el océano Pacífico. El agua de mar se recogía a 4,5 m por debajo de la superficie utilizando el sistema de toma de agua salada del buque. Un caudalímetro medía el volumen de agua bombeada desde la toma de agua salada en cada sitio y las lecturas se convirtieron en metros cúbicos de agua filtrada. Por lo general, el agua se bombeaba durante 10 a 20 minutos en cada estación. [19] Se pasó el agua primero por un filtro de 5mm para eliminar desechos y organismos grandes y luego a través de una serie de tamices de cobre de tamaño de poro decreciente: 250 μm , 125 μm y 62,5 μm .

El método de toma de muestras de agua mediante el sistema Plex está formado por bombas a diferentes profundidades y un sistema de filtros y tubos como se muestra en la Ilustración 12. Sistema PLEX para la toma de muestras de agua [20].

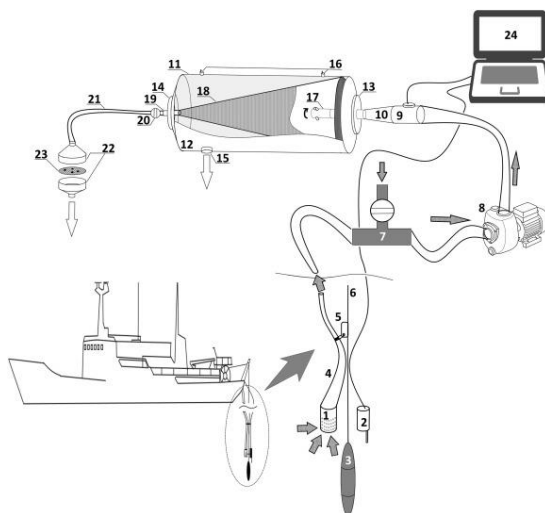


Ilustración 12. Sistema PLEX para la toma de muestras de agua [20]

PLEX consta de una gasa primaria (1) con una abertura de 5 mm para eliminar residuos más grandes, una manguera flexible de entrada de 2 " (4) con conexiones de abrazadera para

llevar el agua al dispositivo de filtrado, una bomba rotativa autocebante Saer AP/97A (8) para suministro de agua de mar y una unidad de filtración (11) de alta eficiencia para concentración de materia en suspensión sin contaminación aérea. Asimismo, un soporte de filtro de muestreo (22) con un filtro de muestreo (23) está montado en el colector de salida (21) para un mayor control de laboratorio. El sensor de temperatura/presión (2) está montado cerca de la gasa primaria (1) para controlar la profundidad del muestreo y la temperatura del agua. Un medidor de flujo (9) está montado entre la bomba y la unidad de filtración. El medidor de flujo y el sensor de temperatura/presión están conectados a una computadora portátil para controlar los parámetros de muestreo. La unidad de filtración (11) consta de una carcasa de acero inoxidable (12), una red filtrante con un tamaño de malla de 174 μm (18), salidas de aguas residuales (15), una boquilla rociadora giratoria (17) y válvulas de ventilación (16) para la eliminación de aire.

2.4.2 ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS EN EL LABORATORIO

2.4.2.1 Pretratamiento de la muestra antes de la identificación.

El pretratamiento de la muestra antes de la identificación depende de la cantidad de material orgánico que haya en la muestra. Si hay poca o ninguna interferencia se pueden cargar las muestras directamente en el FT-IR, μ -FT-IR o Raman para su identificación. Ese es el caso de algunas piezas de microplásticos no erosionadas de más de 1 mm y membranas con pocos residuos. Sin embargo, en la mayoría de los casos, las muestras necesitan una limpieza para minimizar la interferencia del material orgánico. [17]

El método micro-FTIR se usa normalmente para determinar la estructura funcional de sustancias químicas orgánicas. Las muestras se analizan con un amplio espectro de frecuencias de luz infrarroja. Este haz abarca las energías de la mayoría de las vibraciones que ocurren en las moléculas orgánicas. La información estructural sobre los enlaces químicos se deriva del análisis de los patrones de longitudes de onda absorbidas por la muestra. [21]

2.4.2.2 Análisis e inspección visual con un estereomicroscopio

Mediante un análisis visual se pueden identificar las piezas grandes de más de 1mm, sin embargo, para confirmar de que tipo de polímero se trata, es necesario la identificación espectroscópica. El tamaño de los microplástico generalmente se mide con un microscopio estereoscópico. Para microplásticos de menor tamaño o sospechosos de ser microplásticos, se recomienda mantenerlos en la membrana y marcar sus posiciones debajo de la membrana. [17]

Se quieren analizar las muestras con un estereomicroscopio para poder ver los microplásticos en tridimensional y poder diseccionarlos en caso de que se quieran ver las partículas pequeñas que lo componen.

2.4.2.3 Informes de datos [17]

El volumen total del agua muestreada se puede calcular tal como muestra la Ecuación 1.

$$V = R \cdot S \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde V es el volumen total de la muestra, R es la lectura del caudalímetro y S es el área de entrada del flujo.

Para saber la cantidad de microplásticos por metro cúbico, se divide el número total de piezas de microplásticos o el peso total de los microplásticos entre el volumen total de la muestra. [17]

2.4.2.4 Control de blanco y contaminación

Se han de tomar precauciones generales, como por ejemplo, llevar bata de laboratorio de algodón, usar recipientes o herramientas que no sean de plástico, usar soluciones filtradas, minimizar los contaminantes del aire... [17]

2.4.3 SITUACIÓN ACTUAL DE LEGISLACIÓN DE LOS MICROPLÁSTICOS

La falta de protocolos de muestreo y análisis estándar y comparables dificulta la representación de la distribución de microplásticos. Durante las últimas décadas, los microplásticos han ido apareciendo cada vez más en estudios y trabajos. En la Ilustración 13. Número de publicaciones por año (1970-2014), usando el término de búsqueda “plastic pellets” y “microplásticos”. se muestra una gráfica recopilada por Sarah Gall (Universidad de Plymouth, Reino Unido) que muestra como el número de trabajos y estudios sobre microplásticos ha ido aumentando en las últimas décadas.

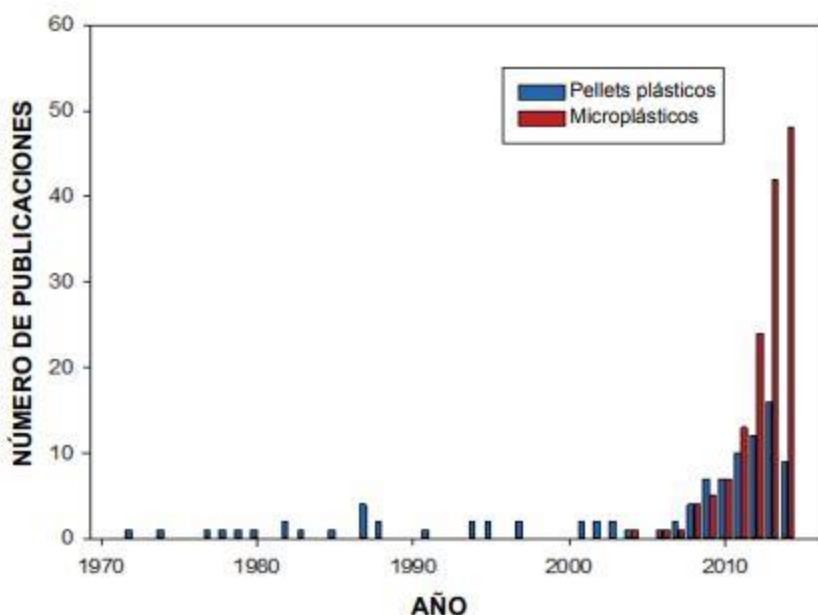


Ilustración 13. Número de publicaciones por año (1970-2014), usando el término de búsqueda “plastic pellets” y “microplásticos”. [Universidad de Plymouth]

Sin embargo, todavía queda mucho por hacer. Como se explica en otros capítulos, este trabajo tiene el objetivo de que se revise la legislación y las recomendaciones internacionales, así como también, que se empiece a regular la presencia de estos microplásticos en las diferentes masas de agua, tanto en agua salada como en aguas potables, pues los estos suponen un riesgo para la salud pública independientemente del medio en el que se encuentren.

2.4.4 CONCLUSIONES MUESTREO

A partir de la investigación realizada en los apartados anteriores se extraen las siguientes conclusiones y se proponen las siguientes características para llevar a cabo el muestreo de agua mediante un sistema de bombeo. Las conclusiones se exponen en los siguientes puntos:

- Los frascos para conservar las muestras serán de cristal si es posible. En el caso de que esto no sea posible, serán de un plástico que no contamine la muestra de agua. Se debe tener en cuenta que el recipiente estará expuesto a muchas horas de sol y a altas temperaturas. El material seleccionado debe ser adecuado a dicha situación.
- Se pueden incorporar 5kg al barco sin ningún problema. Por tanto, el recipiente de la muestra tendrá un volumen de 3L. Eso nos permitirá tener una bomba que pese entre 1-1,5kg. Como máximo el sistema será de 2kg.
- El tamaño máximo para que se pueda considerar microplástico es aquel que no supere los 5mm. La manguera de absorción ha de ser mayor a 5mm. Se propone un diámetro mínimo de 16mm.
- Se añadirá un filtro a la entrada de la manguera de absorción para impedir el paso de material orgánico de gran tamaño. El filtro dejará pasar elementos de hasta 5mm. Es posible que dicho filtro se atasque y sea necesario encontrar otra solución. En la Ilustración 14 se muestra un ejemplo de una válvula antirretorno que cuenta con un filtro para evitar la entrada de elementos mayores a 5mm. Y la Ilustración 15 muestra un filtro para una válvula de retorno del corte inglés.



Ilustración 14. Válvula antirretorno con filtro. Fuente: Captura video EFE UNO JOAQUIN[22]



Ilustración 15. Filtro para válvula antirretorno Leroy Merlin

Independiente de si hay filtro o no, se realizará un pretratamiento a la muestra antes de analizarla con el objetivo de retirar toda la materia orgánica que sea posible sin intervenir o contaminar la muestra que se quiere obtener, como se hace referencia en el apartado 2.4.2.1: “Pretratamiento de la muestra antes de la identificación.

- Se colocarán filtros en la entrada de la manguera como se menciona en el punto anterior y dichos filtros también se analizarán en un laboratorio en busca de posibles contaminantes.
- Se enjugará varias veces el recipiente de la muestra en el agua a muestrear previo a la toma de muestras.

2.5 BOMBAS DE AGUA

2.5.1 LAS PRIMERAS BOMBAS DE AGUA

La primera bomba de agua se le atribuye al famoso físico e ingeniero Arquímedes, en el siglo III a.C. Dicho invento es conocido como “tornillo de Arquímedes” o “bomba de caracol de Arquímedes”. El invento se basaba en elevar un fluido de una cota a otra mediante un tubo que formaba una espiral alrededor de un eje inclinado. Esta bomba era accionada por la acción humana o por la acción animal[23]. En la Ilustración 16 se muestra la primera bomba conocida como “Tornillo de Arquímedes”.



Ilustración 16. Tornillo de Arquímedes. [23]

Antes de esta bomba ya se buscaban métodos para extraer agua a varias profundidades de la manera que más fácil resultase. Por tanto, se podría decir, que antes de Arquímedes, la

primera “bomba” inventada fue la Shadoof. Los egipcios son los que usaban este invento que consistía en un cubo atado a una varilla y que, mediante un peso en el otro extremo, se conseguía elevar el agua, de una cota a otra. Se muestra en la Ilustración 17.



Ilustración 17. Bomba Shadoof, 2000 a.C. [23]

Tras la caída del Imperio Romano, la tecnología de bombas se estancó durante casi un milenio y medio hasta el periodo de la Ilustración, en el cual, la ciencia hidráulica empezó nuevamente a ganar importancia. En 1593 se inventó la bomba de engranajes. La bomba centrífuga, que es la que trata este proyecto, se inventó en el siglo 17 por Denis Papin. La bomba centrífuga es una bomba accionada por motor que extrae agua creando una fuerza de succión. En 1940 se creó la bomba de flujo axial y luego se fueron creando la bomba de chorro, las bombas electromagnéticas y las bombas sumergibles.

2.5.2 BOMBAS

Una bomba es una maquina capaz de transformar energía mecánica en energía hidráulica[24]. Hay dos tipos básicos de bombas: Bombas de desplazamiento positivo o volumétricas y las bombas centrífugas. Las bombas de desplazamiento positivo son útiles para bombear pequeños caudales de pozos muy profundos, es decir, cuando tenemos una altura de aspiración elevada. Estas tienen un contorno móvil que, por cambios de volumen, obliga al fluido a avanzar a través de la máquina[24]. Las bombas centrífugas están son útiles

para alturas manométricas fijas y normalmente proporcionan mayor caudal que las bombas de desplazamiento positivo. Por tanto, las bombas de desplazamiento positivo son recomendadas para altos incrementos de presión y bajos caudales, a diferencia de las bombas centrífugas que proporcionan elevados caudales con altura manométricos bajas. Este último tipo de bomba no es recomendable para profundidades de aspiración mayores a 5-6 metros.

En este proyecto se tiene una altura de aspiración de máximo 1 o 2 metros y bajos caudales. Por tanto, ambos tipos de bombas serían adecuados ya que se tiene una altura de aspiración baja y un caudal bajo. Como se tendrá una altura fija y, también, se busca que el fluido sea impulsado hasta el recipiente de la muestra, se ha elegido que se diseñará una bomba centrífuga radial de pequeñas dimensiones y para bajos caudales.

2.5.3 BOMBAS CENTRÍFUGAS

Las bombas centrífugas o rotodinámicas son aquellas que transforman la energía en velocidad y, posteriormente, la convierten en energía de presión. Se emplea para hacer circular o mover líquidos tanto en aspiración para unos pocos metros como para impulsión.

Las partes que componen una bomba son:

- Rodete: órgano intercambiador de energía. Es la parte móvil que gira gracias a un motor. En él, se transforma la energía mecánica que llega del motor en energía cinética o de velocidad. Al girar, en el centro del rodete, se crea una zona de baja presión por donde entra el agua, y luego, esta agua, es impulsada de forma radial por el rodete hacia el sistema difusor.
- Sistema difusor: colector del fluido a la salida del rodete, conduce al fluido desde la salida del rodete hasta la salida de la bomba. Transforma la energía cinética en energía de presión mediante una diferencia de diámetros. A la salida del sistema difusor, el fluido tiene menor velocidad y mayor presión.
- Carcasa: soporte estructural de la máquina y barrera de presión.
- Sistema de estanqueidad (retenes, cierres laberínticos, cierres mecánicos, empaquetadura)

- Eje, Cojinetes y Brida de entrada y salida.

En la Ilustración 18 se muestra un plano de una bomba centrífuga con sus elementos constitutivos.

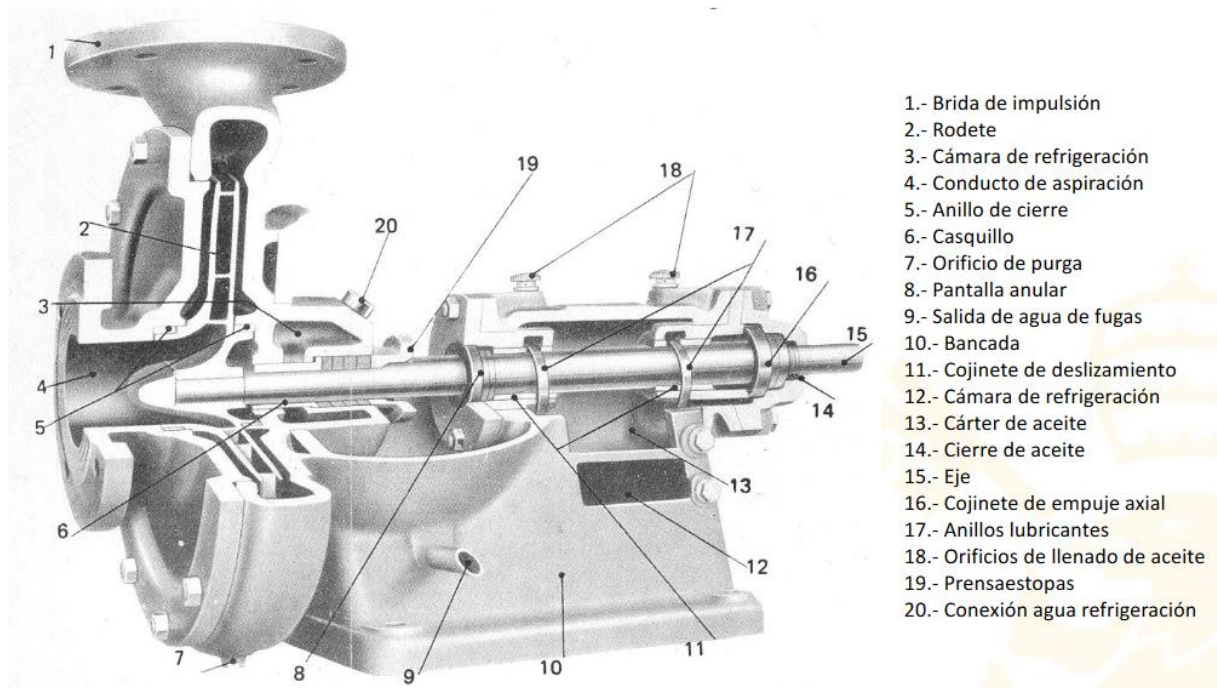


Ilustración 18. Elementos constitutivos de una bomba. Fuente: transparencias ICAI

2.5.4 BOMBA CENTRÍFUGA PARA PEQUEÑOS CAUDALES

En este proyecto se diseñará una bomba que sea capaz de llenar un recipiente de 3L en un tiempo razonable, con una altura de 1 metro a 1,5 metros de aspiración y aproximadamente 0,5 metros de impulsión.

El rodete será de entrada simple, de movimiento de flujo radia. Se diseñará un rodete semicerrado con entrada de álabes radial ($\alpha_1 = 90^\circ$) y con álabes curvados hacia atrás ($\beta_1 < 90^\circ$).

El sistema difusor consistirá en una caja espiral. Al ser una bomba pequeña, no se diseñará una corona directriz. Se estudiará la posibilidad de añadir un cono difusor a la salida. El

sistema difusor será construido junto a la carcasa, formando dos piezas. Una pieza será el sistema difusor, la carcasa, bridas y una base para que pueda ser incorporada al vehículo autónomo de superficie. La otra pieza consistirá en una tapa redonda que irá en la parte de atrás. Esta tapa será la que permita introducir el rodete dentro de la carcasa.

El motor será de corriente continua de máximo 16V. Este será también de pequeñas dimensiones y de poco peso, puesto que el peso máximo que permite la embarcación para el sistema de bombeo es de 5kg. Por tanto, para obtener 3L de agua, eso nos deja un peso máximo de 2kg para la bomba y el motor.

3. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

3.1 JUSTIFICACIÓN

El sistema de bombeo propuesto destaca por su diseño compacto y de pequeñas dimensiones. Esto reduce significativamente los costes de fabricación y mantenimiento, facilita su instalación y permite su operación en una gran variedad de entornos. Por tanto, la inversión inicial es menor en comparación con sistemas más complejos, brindando una gran oportunidad a esta tecnología innovadora. Esta solución para la toma de muestras automática mediante una bomba representa una innovación en el campo del muestreo, puesto que nunca se había buscado automatizar el proceso mediante un sistema mecánico. A diferencia de los otros métodos ya empleados para el muestreo automático, que dependen la mayoría de los sistemas electrónicos, este sistema mecánico simplifica el proceso, lo hace más robusto y menos susceptible a fallos técnicos. Este método también nos ofrece repetibilidad, un factor muy importante ya que muchas veces se requiere tomar varias muestras de manera uniforme y homogénea. Por otra parte, permite tomar muestras a diferentes profundidades, es un sistema rápido y sencillo de operar, e incluso, durará más tiempo y necesitará menos mantenimiento que otros métodos.

Una de las ventajas más significativas de este sistema es su escalabilidad. Este sistema permite diseñar una bomba de mayor tamaño para embarcaciones más grandes, y llevar a cabo tomas de muestra de mayor volumen. Esta adaptabilidad permite ser utilizado en una amplia gama de embarcaciones, desde pequeñas lanchas o veleros hasta grandes barcos de investigación, ofreciendo una solución versátil y flexible. Esto implicará que este sistema de muestreo será accesible para cualquier tipo de embarcación y que no dependerá del tipo de barco o de su geometría.

Esta automatización del proceso puede llegar a reducir significativamente el fallo que un humano podría cometer y la posibilidad de que contaminase las muestras. Al eliminar la

intervención directa de personas en el proceso, se garantiza que las muestras recogidas sean una representación más precisa de la población a la que pertenecen. También, el sistema sellado de la bomba permitirá que la muestra no sea expuesta a contaminantes externos. Esto es esencial para obtener datos fiables y de alta calidad en estudios ambientales y científicos.

En pocas palabras, este sistema de bombeo para la toma de muestras de agua ofrece múltiples beneficios. Es una solución innovadora, económica y adaptable que no depende de la geometría de la embarcación ni de complejos sistemas electrónicos. Además, proporciona una mayor precisión y reduce la contaminación de las muestras, garantizando datos más fiables. La combinación de todos estos factores hace que este proyecto sea una inversión atractiva y valiosa para la investigación y monitoreo ambiental.

3.2 OBJETIVOS

- El objetivo principal consiste en motivar, proponer y fomentar la creación de una normativa que limite la cantidad máxima de microplásticos que puede haber en un determinado cuerpo hídrico. Actualmente no hay ninguna normativa respecto a la cantidad de microplásticos que puede haber por litro de agua. Esto se va a conseguir mediante los objetivos que se nombran a continuación.
- Automatizar la toma de muestras. Dotar a un vehículo autónomo de superficie de un sistema de bombeo de pequeñas dimensiones que sea capaz de tomar muestras de agua para llevar a cabo una monitorización ambiental en sistemas acuáticos. Diseñar los depósitos de agua. Estudiar el tipo de bomba que se usará, diseñarla y caracterizarla. Dicha bomba se incorporará al vehículo autónomo de superficie de pequeñas dimensiones que ha sido diseñado y construido por el grupo de investigación REINFORCED. Se diseñará con SolidWorks para que luego pueda ser impreso con una máquina de impresión 3D.
- Estudio e investigación de la normativa vigente de la toma de muestras de agua tradicional. Se buscarán restricciones o sugerencias que se puedan aplicar en este proyecto. Se estudiará la normativa española, y en caso de diferencias según la

comunidad autónoma, se estudiará la normativa de Andalucía, puesto que el proyecto se desarrolla ahí.

- Revisión bibliográfica del “estado del arte” de los métodos de toma de muestras de agua. Se estudiarán los métodos que se han usado tradicionalmente y los nuevos métodos propuestos gracias a los avances tecnológicos y científicos.
- Estudio de los microplásticos y de las pruebas que se necesitarían realizar en un laboratorio para su caracterización y estudio del procedimiento que se tiene que llevar a cabo para no contaminar las muestras. Entender, gracias a los estudios anteriores, porque sería tan útil automatizar el proceso de la toma de muestras, y porque se realizaría con una bomba.
- Profundizar en los conceptos clave de las bombas de agua, así como también, decidir qué tipo de bomba sería de mayor utilidad y eficiencia para esta situación.
- Realizar un análisis económico de la construcción de la bomba diseñada y de todos los complementos y partes que correspondan para que el sistema funcione, y así, poder hacer una estimación económica.

3.3 METODOLOGÍA

Los objetivos anteriores se conseguirán siguiendo esta metodología:

- Se caracterizará el proyecto y su entorno. Se describirán y se entenderán los conceptos necesarios para realizar este proyecto. Se aclararán los conceptos de muestreo, toma de muestras y su diferencia. Se investigará sobre bombas, vehículos autónomos de superficie (ASV) y sobre el muestreo mediante una bomba. Se definirá los microplásticos: lo que son y lo que se considerarán en el margen de este proyecto. Se investigará sobre estos contaminantes emergentes.
- Investigar sobre el vehículo autónomo de REINFORCED, conocer las dimensiones y saber cuáles son las condiciones de operación y cuanto peso y espacio podemos diseñar el sistema de bombeo.

- Elaborar un “estado del arte” que nos permita conocer los métodos más punteros de la toma de muestras automatizada.
- Estudiar la normativa actual sobre el muestreo y ver que normativa se aplica para este proyecto.
- Investigar sobre cómo se lleva a cabo un análisis de microplásticos en un laboratorio.
- Sacar conclusiones para el diseño del sistema de bombeo gracias a toda la investigación realizada y al “estado del arte”.
- Estudiar los diferentes tipos de bombas en profundidad y decidir qué tipo de bomba se diseñará y por qué. Se hará un breve repaso de la historia de las bombas y de la primera bomba que se inventó para entender bien el funcionamiento y la evolución de las bombas.
- Se dimensionará la bomba con el objetivo de que sea de pequeñas dimensiones, poco peso y vaya sobre el ASV.
- Se dimensionará el rodete mediante los triángulos de velocidades y las ecuaciones correspondientes. Se diseñará en SolidWorks y se mostraran los resultados en 3D y los planos.
- Se dimensionará la carcasa, que contará con un sistema difusor, una entrada de agua, salida de agua y una tapa para poder introducir el rodete. Se diseñará en SolidWorks y se obtendrán los planos.
- Se diseñará el conjunto de la bomba en SolidWorks para extraer planos de la bomba al completo para que pueda ser desarrollada.
- Se seleccionarán o diseñarán el resto de los elementos que constituyen el sistema de bombeo como el recipiente de la muestra, las mangueras y los elementos de unión.
- Se diseñará el sistema de incorporación de la bomba al vehículo autónomo: una plataforma para la incorporación del sistema de bombeo al ASV, y se realizará un análisis estático de dicho sistema.
- Se caracterizará la bomba diseñada mediante las ecuaciones características de una bomba y del sistema.
- Se llevará a cabo un análisis o estimación económicos de todo el sistema al completo.

4. DISEÑO DE LA BOMBA

4.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA

4.1.1 ESQUEMA DE LA BOMBA

La Ilustración 19 muestra el esquema de la bomba con sus elementos. La bomba está formada principalmente por una carcasa: que consta de una caja cilíndrica y de una voluta, la cual hace de difusor. En la caja cilíndrica está el rodete, que, mediante un eje, se acopla al motor en corriente continua, que es la alimentación de la bomba. Por último, se tiene la tapa, que tiene un agujero para que el eje pueda tener un giro libre e impide la salida del agua por ese lado.

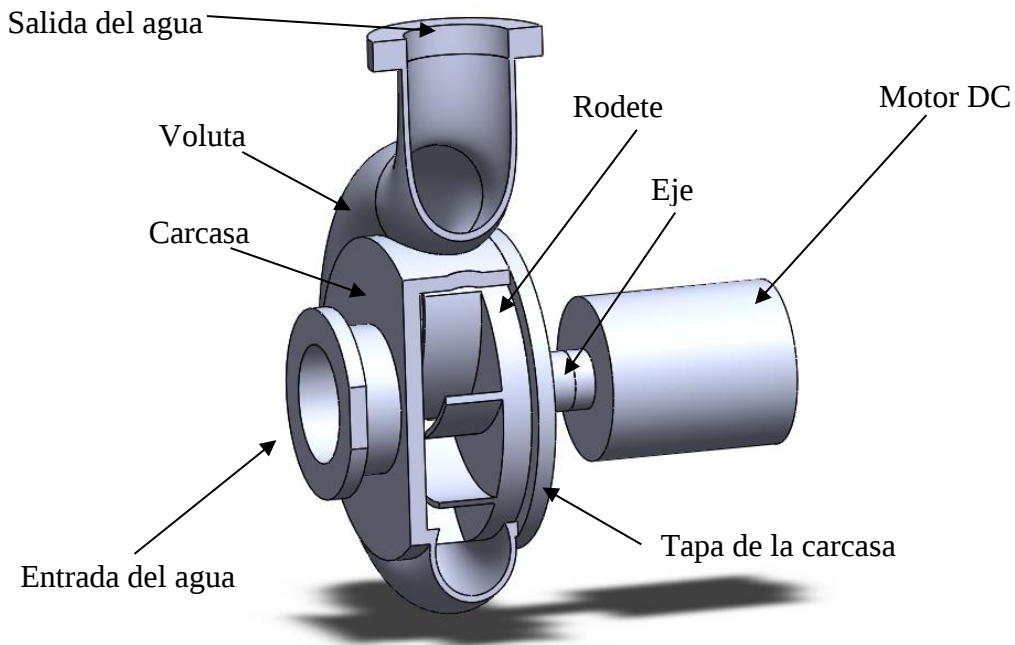


Ilustración 19. Esquema de la bomba

4.1.2 ESPECIFICACIONES

Para diseñar y dimensionar la bomba se ha partido de una serie de especificaciones que han sido fijadas. Dichas especificaciones son las siguientes:

- La bomba será alimentada por un motor DC de máximo 16V.
- La bomba tiene que aspirar a una profundidad de 0,5m e impulsar la altura suficiente para que el fluido sea capaz de llegar al recipiente de muestras.
- Peso máximo de todo el sistema ha de ser de 5kg.
- Se ha de tomar 3L de agua en un tiempo razonable.
- El punto anterior hace que el peso máximo de la bomba y el motor sea de 2kg.
- Se usarán mangueras de diámetros normalizados para aspirar e impulsar el agua a la salida y entrada de la bomba. Algunos de estos diámetros son 16 mm, 18 mm, 20mm.
- La bomba operará a 1500 rpm.

La información se muestra de forma esquemática en la Tabla 2. Esta tabla forma parte del Excel de dimensionamiento (ANEXO 2: Dimensionamiento de la Bomba) y son los valores fijos que se han empleado en las fórmulas. En otras palabras, ha sido la base para calcular el resto de los parámetros.

Tabla 2. Especificaciones iniciales sistema de bombeo

Datos		Unidades
Profundidad toma de muestras	0,5	m
Volumen de la muestra de agua	3	L
Tiempo máximo de toma de muestra	5	minutos
Diámetro tubo toma de muestras (interior)	16, 18, 20	mm
Área tubo toma muestras	201,06	mm ³

Tensión máxima alimentación motor	16	V (DC)
Peso máximo todo el sistema	5	Kg
Revoluciones de operación de la bomba	1500	rpm
Densidad del agua	1000	Kg/m ³
Gravedad	9,81	m/s

Estas especificaciones son las más generales. En el siguiente apartado se expone el dimensionamiento de la bomba, y posteriormente, el dimensionamiento de cada componente.

4.2 DISEÑO

4.2.1 DIMENSIONAMIENTO GENERAL DE LA BOMBA

En la Ilustración 20 y en la Ilustración 21 se muestran las dimensiones de la bomba junto con el motor. La Ilustración 20 corresponde con el perfil del conjunto y la Ilustración 21 corresponde con la parte de delante y la parte de atrás del conjunto de la bomba y el motor.

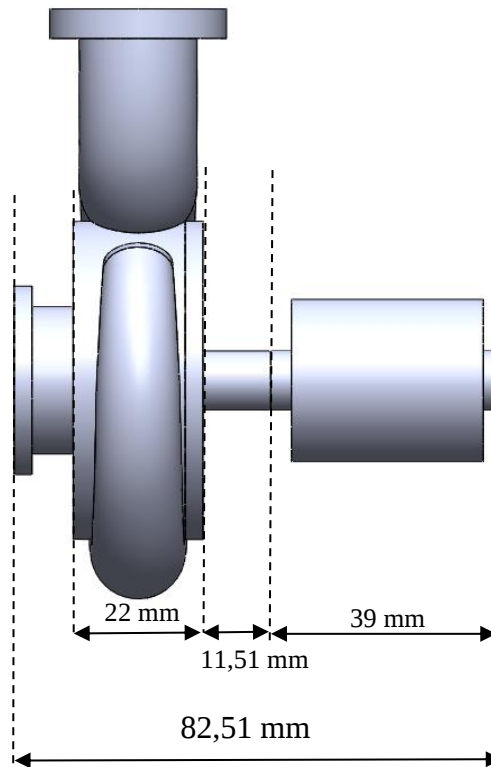


Ilustración 20. Sistema de bombeo con bomba y motor

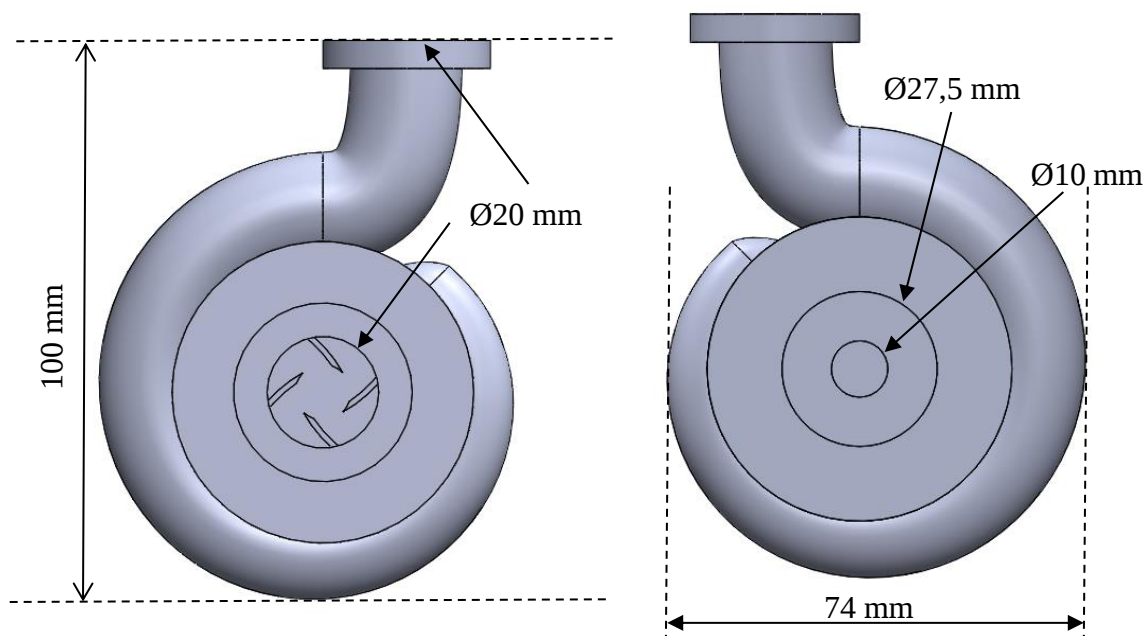


Ilustración 21. Bomba y motor, vista de la parte frontal y trasera

Para dimensionar la bomba se ha usado un Excel, en el que se definieron unas formulas y ecuaciones y luego se fueron probando diferentes valores hasta que se consiguieron unos razonables. Se alcanzó la altura que necesitábamos y se consiguió un rendimiento hidráulico razonable. Los datos de los que se han partido para calcular el resto de los parámetros se encuentran en la Tabla 2 del apartado 4.1.2 en el que se explican las especificaciones generales de la bomba.

La Ilustración 22 es un esquema del sistema de bombeo donde se muestra la altura H que la bomba tiene que vencer para conseguir aspirar agua y transportarla hasta el recipiente de muestreo.

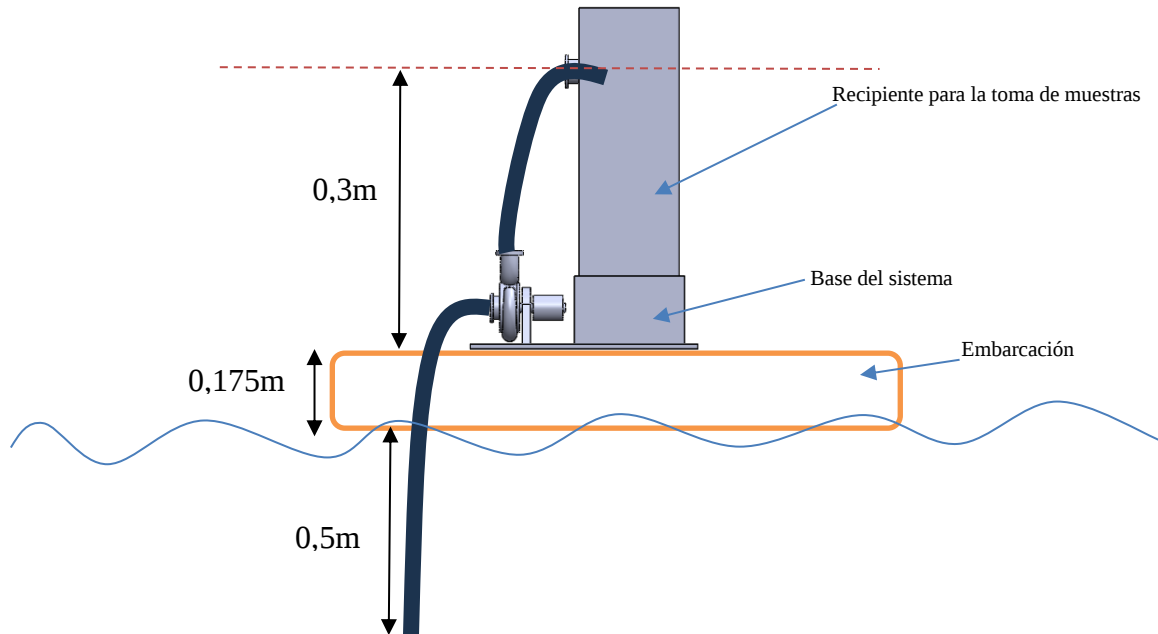


Ilustración 22. Esquema de las alturas que tiene que vencer la bomba para transportar el fluido.

Teniendo en cuenta que el recipiente dónde irá la muestra es de $3L=0,003\text{m}^3$, y que la base del recipiente será de 0,1 metros de ancho por 0,1 metros de largo, se obtiene que la altura del recipiente será de 0,3 metros. Por otra parte, se asumirá que la superficie del barco está a 0,15 metros del nivel del mar, y como la bomba tiene un diámetro de 0,05 metros, la distancia entre la superficie del mar y la entrada a la bomba es de 0,175 metros. Asimismo, se supondrán 0,3 metros de pérdidas. En la Tabla 3 se muestran todas estas alturas, gracias a ellas se obtiene la altura geodésica y la altura útil. La altura geodésica es la distancia entre el punto de toma de la muestra y el recipiente en el que se almacena la muestra, pero solo medida de forma vertical. La altura útil es la suma de la altura geodésica y la altura de las pérdidas.

Tabla 3. Altura geodésica total y altura útil (metros)

Profundidad toma de muestras	0,5
Distancia entre la superficie del agua y la entrada a la bomba	0,175
Altura de impulsión	0,3
Altura geodésica total	0,975
Altura de pérdidas	0,3
Altura útil	1,275≈1,3

Por otra parte, a partir de la ecuación de Bernoulli (Ecuación 2), sustituyendo los valores correspondientes, se obtiene la Ecuación 3.

$$\frac{p_E}{\rho \cdot g} + z_E + \frac{c_E^2}{2 \cdot g} - H_{r,ext} + H = \frac{p_s}{\rho \cdot g} + z_s + \frac{c_s^2}{2 \cdot g} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$H = \frac{p_s - p_E}{\rho \cdot g} + (z_s - z_E) + \frac{c_s^2 - c_E^2}{2 \cdot g} + H_{r,ext}$$

$$H = \frac{4905}{\rho \cdot g} + (0,5 + 0,3) + \frac{0 - 0}{2 \cdot g} + H_{r,ext} = 1,3 + H_{r,ext} \quad \text{Ecuación 3}$$

4.2.2 DISEÑO DEL RODETE

4.2.2.1 Dimensionamiento del rodete

Las dimensiones a la entrada del rodete se muestran en la Tabla 4 y las dimensiones a la salida del rodete se muestran en la Tabla 5.

Tabla 4. Dimensiones de la entrada del rodete

Entrada del rodete		Unidades
D_1 , diámetro entrada rodete	0,01	m
b_1 , ancho entrada	0,01	m
ángulo entrada w-u, δ_1	16	°
ángulo álabes, α_1	90	°
espesor, s_1	0,001	m
paso circunferencial, t_1	0,004	m
Coeficiente de obstrucción, τ_1	0,15313	-

Tabla 5. Dimensiones de la salida del rodete

Salida del rodete		Unidades
D_2 , diámetro salida rodete	0,05	m
b_2 , ancho salida	0,01	m
ángulo salida w-u, β_2	22	°
ángulo álabes, α_2	68	°
espesor, s_2	0,001	m
paso circunferencial, t_2	0,021	m
Coeficiente de obstrucción, τ_2	0,87537	-

De los valores anteriores, los diámetros a la entrada y salida, el ancho, el espesor y la mayoría de los ángulos han sido elegidos basándose en criterios de diseño. La entrada es radial, por tanto, la corriente entra sin circulación ($c_{1u}=0$) y $\alpha_1=90^\circ$. Los valores más frecuentes de δ_1 son entre 15° y 20° , por tanto, se ha elegido un $\delta_1=16^\circ$. Para el ángulo δ_2 se recomiendan valores entre 22° - 23° . En este caso se ha elegido $\delta_2=22^\circ$. El ángulo δ_2 es el parámetro de

diseño más importante, porque si se aumenta, aumenta también $H_{u\infty}$ pero disminuye el rendimiento.

Por otra parte, el paso circunferencial se ha calculado con la Ecuación 4 y el coeficiente de obstrucción se ha calculado con la Ecuación 5.

$$t = \frac{\pi \cdot d}{z} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\tau = \left(1 - \frac{s}{t \cdot \sin(\beta)}\right) \quad \text{Ecuación 5}$$

Para dimensionar los álabes del rodete se necesitan calcular los triángulos de velocidad. En la Tabla 6 se muestran los valores de las componentes del triángulo de velocidad a la entrada del rodete y en la Tabla 7 se muestran las componentes del triángulo de velocidad a la salida del rodete.

Tabla 6. Triángulos de velocidad a la entrada del rodete

Triángulo de velocidad a la entrada del rodete	Módulo	Componente radial, m	Componente periférica, u	Unidades
Velocidad absoluta fluido, c1	0,225209	0,225209	0	m/s
Velocidad relativa el rodete respecto al fluido, w1	0,817049	0,225209	0,7854	m/s
Velocidad lineal del rotor, u1	0,785398	-	-	m/s
$\beta 1$	16	-	-	°
$\alpha 1$	90	-	-	°

Tabla 7. Triangulo de velocidad a la salida del rodete

Triangulo de velocidad a la salida del rodete	Módulo	Componente radial, m	Componente periférica, u	Unidades
c2	3,907496	0,00788	3,90749	m/s
w2	0,021034	0,00788	0,0195	m/s
u2	3,926991	-	-	m/s
$\beta 2$	22	-	-	°
$\alpha 2$	68	-	-	°

En la Ilustración 23 y en la Ilustración 24 se muestran los triángulos de velocidades con las dimensiones reales que han sido usados para diseñar los álabes en SolidWorks. Las dimensiones de ambos triángulos coinciden con los valores obtenidos en las tablas anteriores (Tabla 6 y Tabla 7).

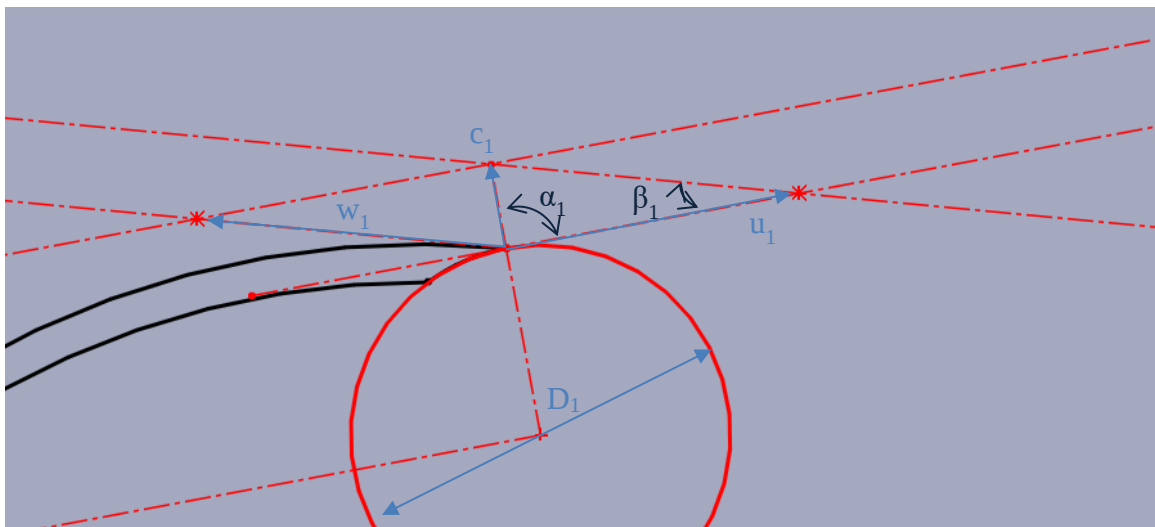


Ilustración 23. Boceto en SolidWorks del triángulo de velocidad a la entrada del rodete

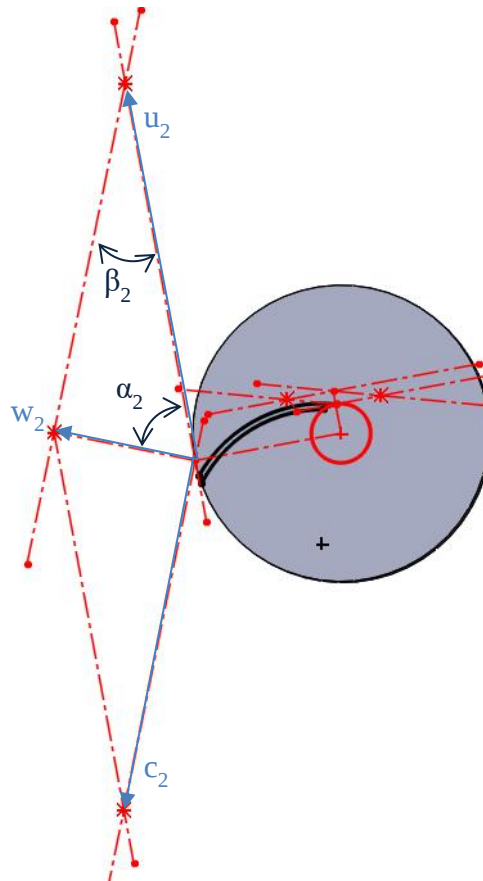


Ilustración 24. Boceto en SolidWorks del triángulo de velocidad a la salida del rodete

Por otra parte, en la Ilustración 25 se indica el espesor del disco del rodete (5mm) y el espesor de los álabes que coincide con las dimensiones s1 y s2 de las tablas anteriores.

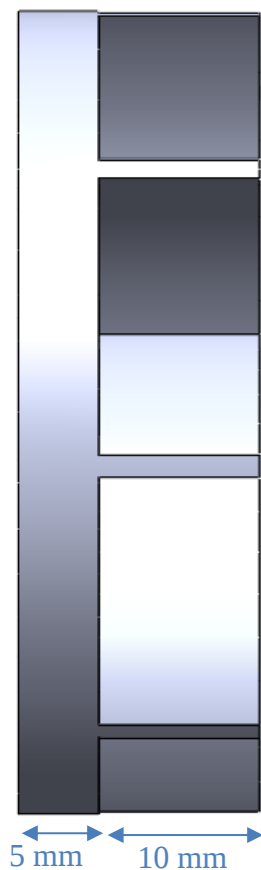


Ilustración 25. Perfil del rodete con los espesores indicados

Mediante las fórmulas de Stepanoff y Pleiderer se obtiene el número de álabes por dos métodos diferentes, las fórmulas y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Cálculo del número de álabes

Nombre:	Ecuación	Resultado:
Stepanoff	$Z = \frac{\beta_2}{3}$	$Z = 7,333$
Pleiderer	$Z = k \cdot \frac{d_2 + d_1}{d_2 - d_1} \cdot \text{sen} \left(\frac{\beta_1 + \beta_2}{2} \right)$	$Z = 11,39$

Siendo una bomba de pequeñas dimensiones se diseñará un rodete con 8 álabes. Para evitar que el diámetro de entrada sea muy cerrado, se cortaran por la mitad cuatro de los álabes como se muestra en los apartados siguientes.

4.2.2.2 *Análisis*

En la Ilustración 26 se muestra el primer álabe diseñado, que luego, mediante simetría, se han añadido 8 álabes. En la Ilustración 27 se muestran las medidas de dicho álabe.

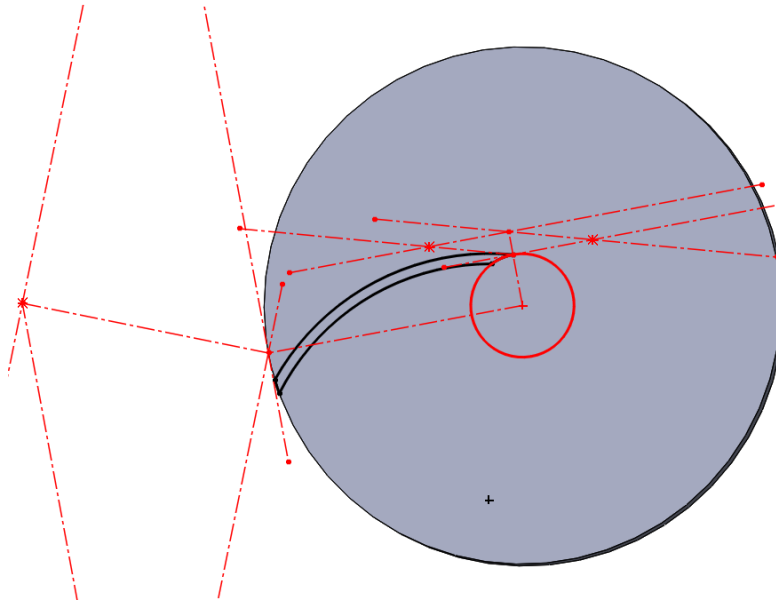


Ilustración 26. Primer álabe extruido con SW mediante relaciones con el boceto (rojo)

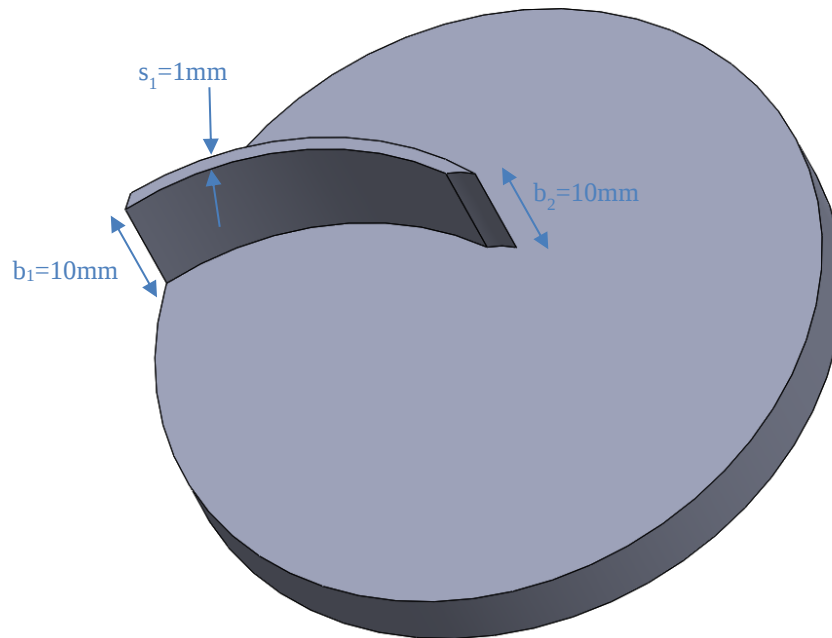


Ilustración 27. Dimensiones del álabe

A continuación, se muestra el rodete con los ocho álabes desde diferentes vistas. En la Ilustración 28 se muestra el alzado y en la Ilustración 29 se muestra en 3D

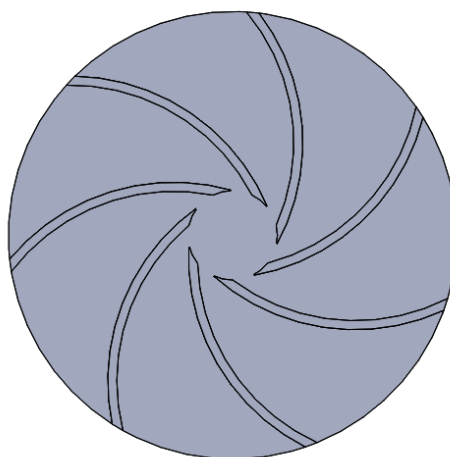


Ilustración 28. Alzado rodete con ocho álabes

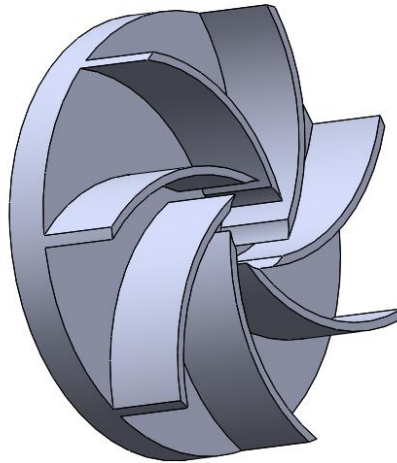


Ilustración 29. Rodete en 3D de ocho álabes sin cortar

Como se ha visto en las dos últimas ilustraciones, la entrada del agua es muy pequeña, por tanto, se han tenido que partir cuatro de ocho álabes a la mitad como se muestra en los resultados.

4.2.2.3 Resultados

En este apartado se muestran los resultados obtenidos para el rodete en 3D, diseñados con el software SolidWorks. La Ilustración 30 muestra el alzado de la pieza. La Ilustración 31 muestra la vista dimétrica de la pieza. La Ilustración 32 muestra el perfil del rodete. Por último, la Ilustración 33 muestra la parte de atrás del rodete en la cual se ha extruido un eje en el que irá acoplado el motor DC. Los planos del rodete se muestran en el ANEXO 5: Planos de la Bomba CAD.

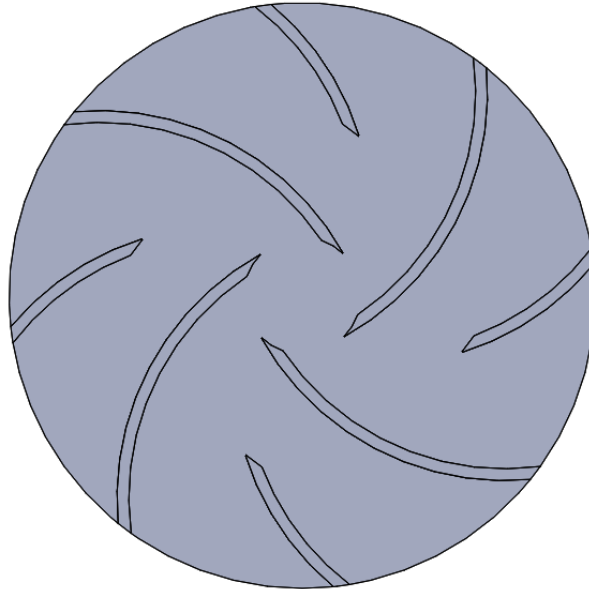


Ilustración 30. Rodete final, vista alzado

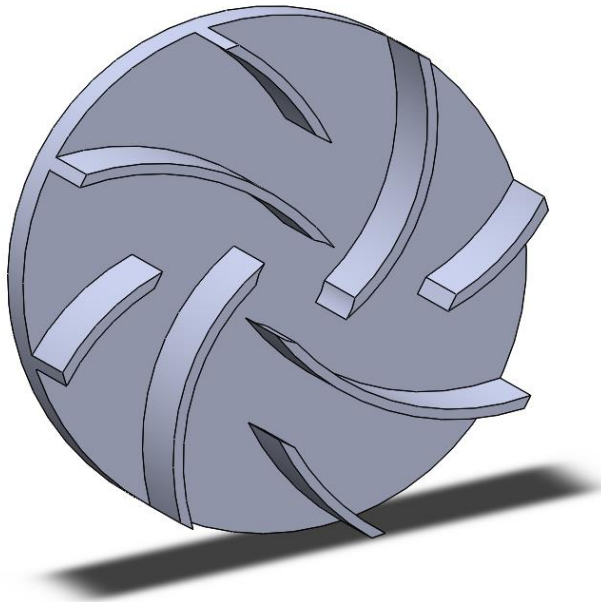


Ilustración 31. Rodete final, vista dimétrica

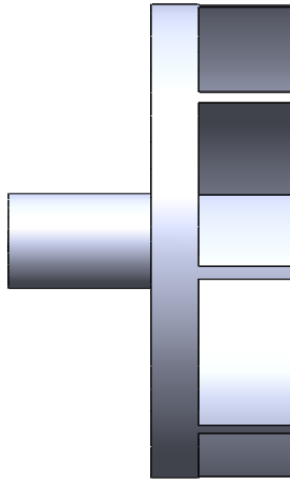


Ilustración 32. Rodete final, vista perfil

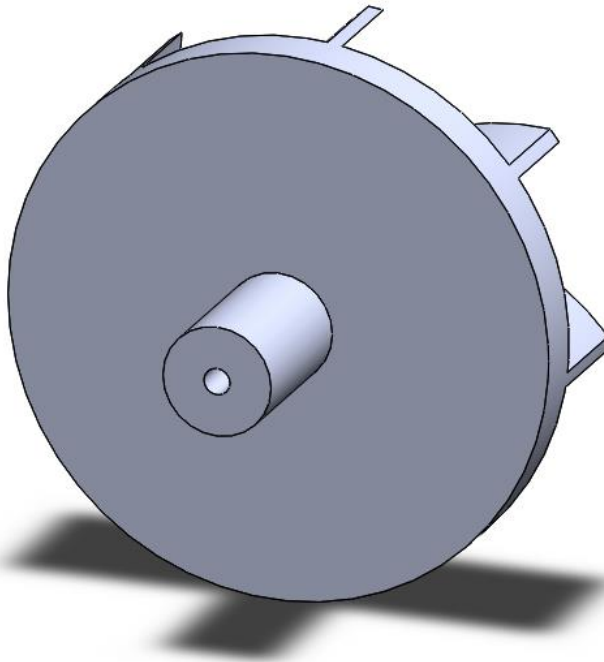


Ilustración 33. Rodete final, parte de atrás

4.2.3 DISEÑO DE LA CARCASA

4.2.3.1 Dimensionamiento del sistema difusor

La carcasa es el soporte estructural de la bomba y está formada por la voluta (sistema difusor), el cual, conduce el fluido desde la salida del rodete hasta la salida de la bomba. El dimensionamiento de la voluta se basa en la fórmula del caudal $Q=A \cdot v$; queremos transformar la energía cinética que viene del rodete en energía de presión. Como el caudal es constante, aumentando el área disminuye la velocidad, por tanto, aumenta la presión. Se plantea el diseño de una voluta logarítmica con sección circular. Si la voluta da una vuelta entera, definimos: D1 como el diámetro de la sección cuando el fluido ha recorrido $\frac{1}{4}$ de la voluta, D2 cuando ha recorrido la mitad de la voluta, D3 cuando ha recorrido $\frac{3}{4}$ de la voluta y llamamos D4 al diámetro de salida de la voluta. Lo ideal sería definir los siguientes diámetros:

$$d_1 = 5mm \quad d_2 = 10mm \quad d_3 = 15mm \quad d_4 = 20mm$$

Con estos diámetros, teniendo en cuenta que en el primer cuarto de voluta tenemos un cuarto de caudal, en el segundo cuarto tenemos un medio del caudal, en el tercero tenemos $\frac{3}{4}$ del caudal y al final de la voluta, ésta ya ha recogido todo el caudal, tenemos que:

$$Q = 4 \cdot v_1 \cdot A_1 = 2 \cdot v_2 \cdot A_2 = \frac{4}{3} \cdot v_3 \cdot A_3 = v_4 \cdot A_4 \quad \text{Ecuación 6}$$

$$4 \cdot v_1 \cdot d_1^2 = 2 \cdot v_2 \cdot d_2^2 = \frac{4}{3} \cdot v_3 \cdot d_3^2 = v_4 \cdot d_4^2 \quad \text{Ecuación 7}$$

$$100 \cdot v_1 = 200 \cdot v_2 = 300 \cdot v_3 = 400 \cdot v_4$$

$$v_1 = 4 \frac{m}{s}; \quad v_2 = 2 \frac{m}{s}; \quad v_3 = \frac{4}{3} \frac{m}{s}; \quad v_4 = 1 \frac{m}{s} \quad \text{Ecuación 8}$$

Como la velocidad disminuye, aumenta la presión.

Sin embargo, esto no es posible debido al el efecto difusor. Si la diferencia de diámetros es muy alta, se puede producir un desprendimiento del fluido de la pared de la voluta y que el difusor pierda toda su efectividad. Por tanto, se proponen unos nuevos diámetros que son:

$$d_1 = 14mm \quad d_2 = 16mm \quad d_3 = 18mm \quad d_4 = 20mm$$

Se necesita seleccionar el área de 5 circunferencias. Al unir las, formaran el sistema difusor. En la Ilustración 34 se muestra dos vistas del bocete de las circunferencias con los diámetros de cada una indicados.

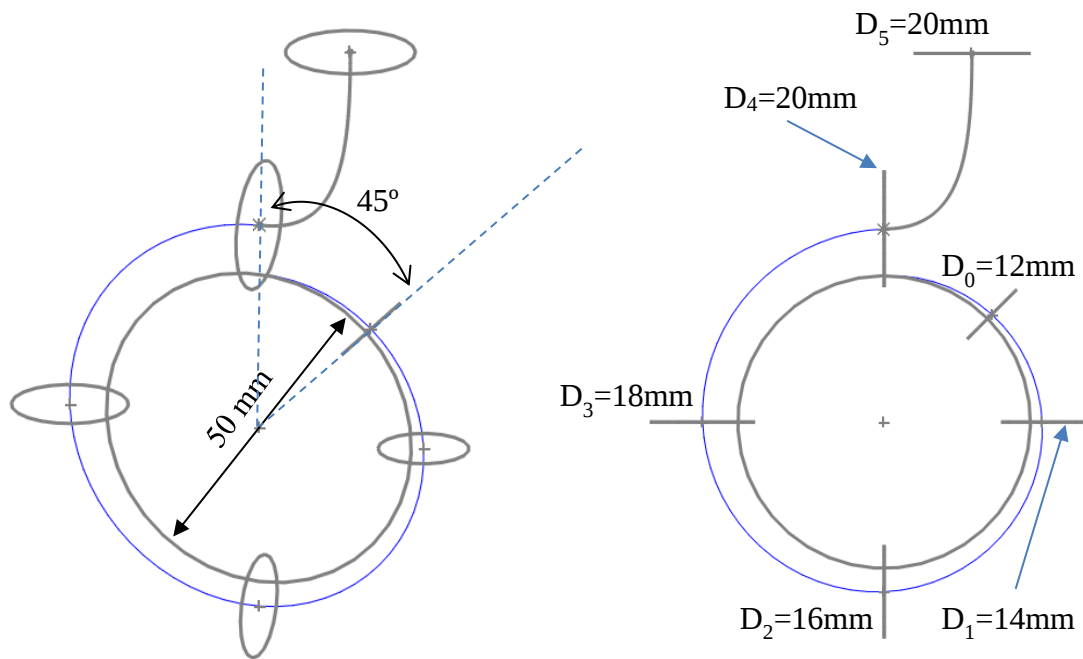


Ilustración 34. Diámetros de partida para el diseño de la voluta

4.2.3.2 Resultado de la voluta

En la Ilustración 35 se muestra la voluta diseñada en SolidWorks con la caja cilíndrica en la que estará el rodete. Se pueden ver los bocetos mencionados en el apartado anterior y el plano y ejes auxiliares que se han empleado para que la voluta empiece en D0, a 45° del eje de coordenadas.

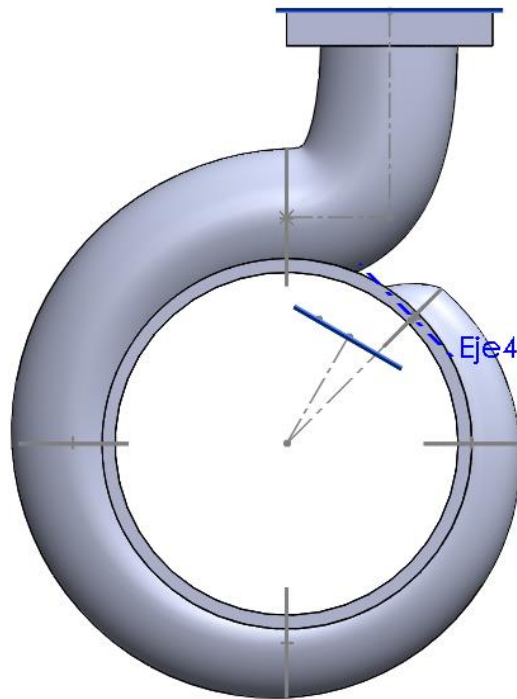


Ilustración 35. Voluta con bocetos incluidos, vista de frente

En la Ilustración 36 y en la Ilustración 37 se muestran varios perfiles de la voluta. No se ha de tener en cuenta que la brida a la salida de la voluta sea cuadrada, posteriormente se ha cambiado a una brida de sección circular.



Ilustración 36. Voluta con sistema difusor, vista 1

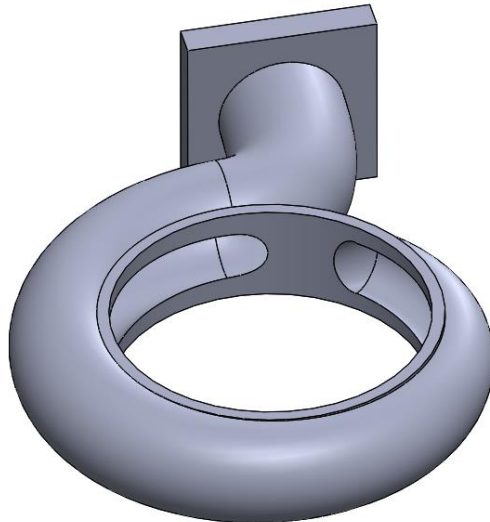


Ilustración 37. Voluta con sistema difusor, vista 2

4.2.3.3 Resultado de la carcasa

En la Ilustración 38 se muestra la carcasa acabada desde la vista frontal. En la Ilustración 39 se muestra la vista dimétrica. La Ilustración 40 corresponde al perfil de la carcasa. Y, por último, la Ilustración 41 corresponde a la parte de atrás de la carcasa.

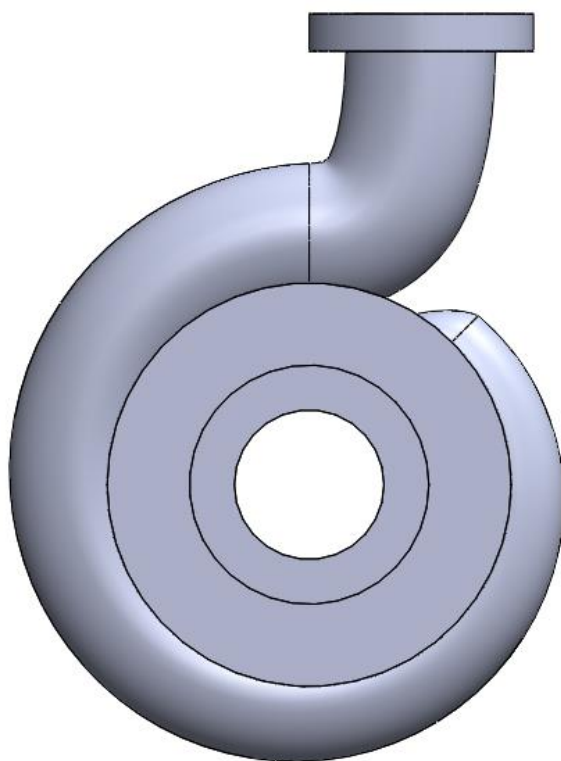


Ilustración 38. Carcasa de la bomba, vista de frente

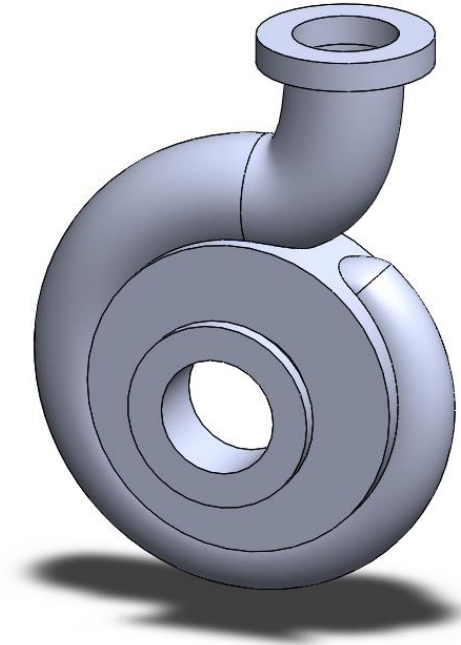


Ilustración 39. Carcasa de la bomba, vista dimétrica

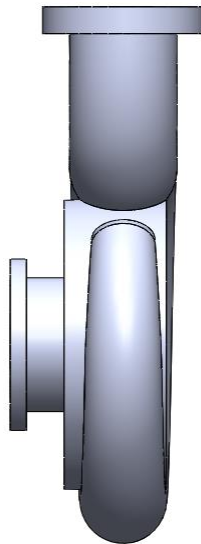


Ilustración 40. Carcasa de la bomba, vista de perfil

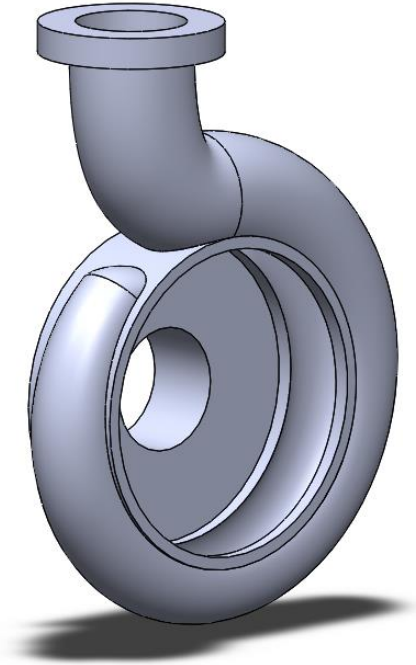


Ilustración 41. Carcasa de la bomba, vista desde atrás

Por otra parte, se tiene la otra tapa por separado, para poder introducir el rodete en el interior de la carcasa. Dicha tapa se muestra en la Ilustración 42. Tiene un agujero de 10mm de radio por el que irá el eje que se comunica con el motor. Al ser una bomba tan pequeña, no se usarán tornillos, sino que se usará adhesivo de montaje.

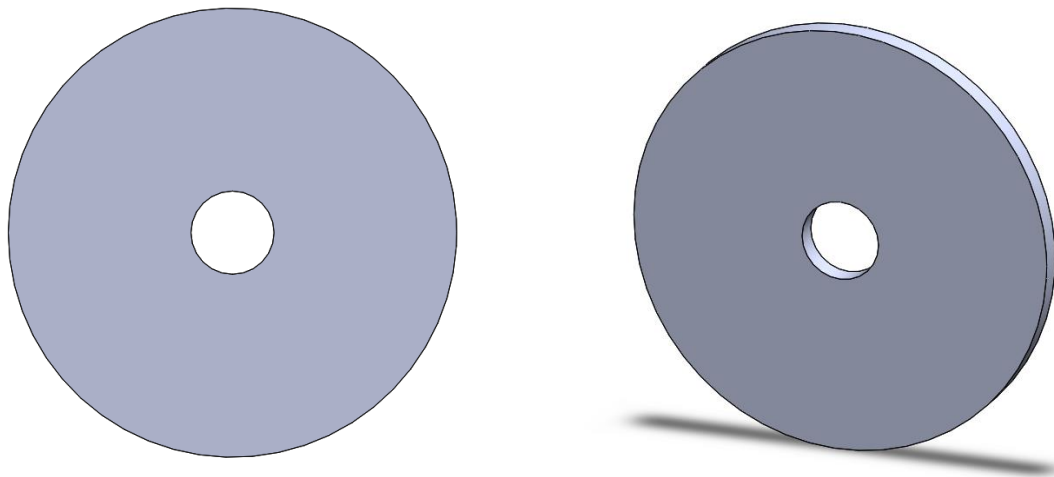


Ilustración 42. Tapa de la carcasa

4.3 ELECCIÓN DEL MOTOR DC

Se ha elegido el motor DC RS Pro (Código RS: 238-9715). Con una potencia de 5.75 W y una alimentación de entre 6 y 15V DC. Tiene un par de salida de 64.2gcm y puede funcionar hasta una velocidad de salida de 8768rpm. Está disponible en una selección de velocidades, ofrece una gran variedad de tensiones y pares a la salida, es fiable y de calidad alta y es de construcción de núcleo de hierro. En la Ilustración 43 se muestra una foto de este motor.



Ilustración 43. Motor DC de alimentación de la bomba

En la Ilustración 44 se muestra un plano del motor y en la Tabla 9 se muestran las medidas del motor.

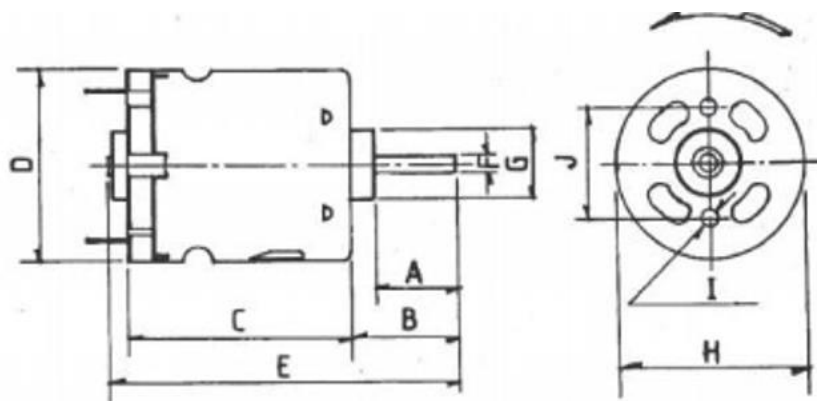


Ilustración 44. Dimensiones del motor de corriente continua

Tabla 9. Dimensiones del motor de corriente continua

Dimensiones:	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
mm	8.2	11.5	32.5	27.63	47	2.305	10	27.5	M2.6	16

El motor cumple con todas las especificaciones. Es de pequeñas dimensiones y de poco peso. El diámetro del eje es de 2,31mm, las dimensiones del motor son de 27,63mm (diámetro) x 32,5mm y pesa 51g. Algunas otras especificaciones se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Especificaciones del motor en corriente continua

Tensión de alimentación	6V- 15V
Potencia nominal	5.75W
Corriente nominal	758mA
Sin velocidad de carga	11370rpm
Sin corriente de carga	0.151A
Par de calado	360GCM
Corriente de calado	3,952 a, corriente de calado RE-360 a 12v = 4,02 A.
Máxima eficiencia	61.94%

4.4 CONJUNTO DE LA BOMBA

En este apartado se muestran las diferentes vistas en 3D del ensamblaje de la bomba. Está formada por el rodete, la carcasa con la voluta y una tapa. En la Ilustración 45 se muestra el alzado del conjunto. En la Ilustración 46 se muestra el perfil. En la Ilustración 47 se muestra la vista dimétrica. Por último, en la Ilustración 48 se muestra la parte de atrás de la bomba, en la cual hay un eje en el que irá acoplado el motor de corriente continua.

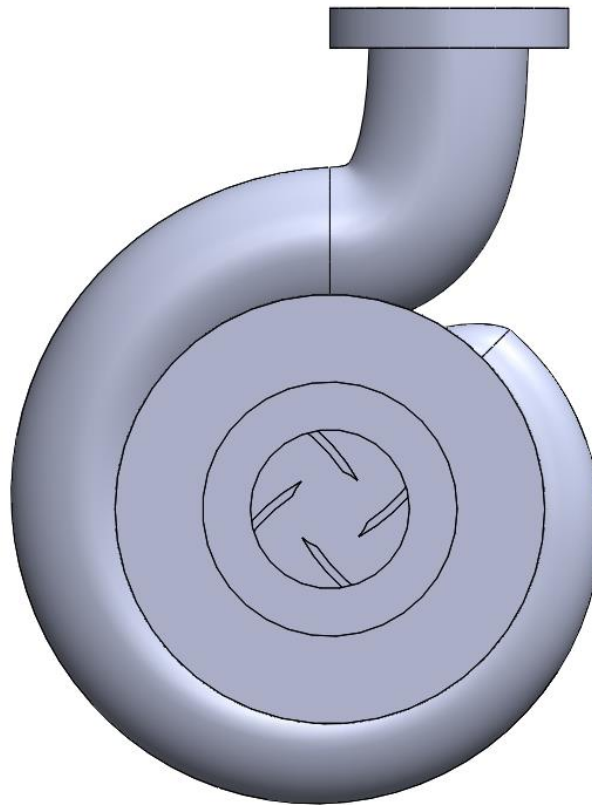


Ilustración 45. Conjunto de la bomba, vista de frente

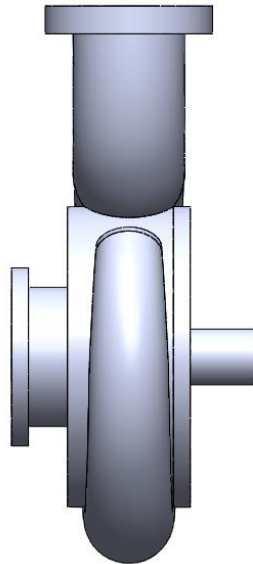


Ilustración 46. Conjunto de la bomba, vista de perfil

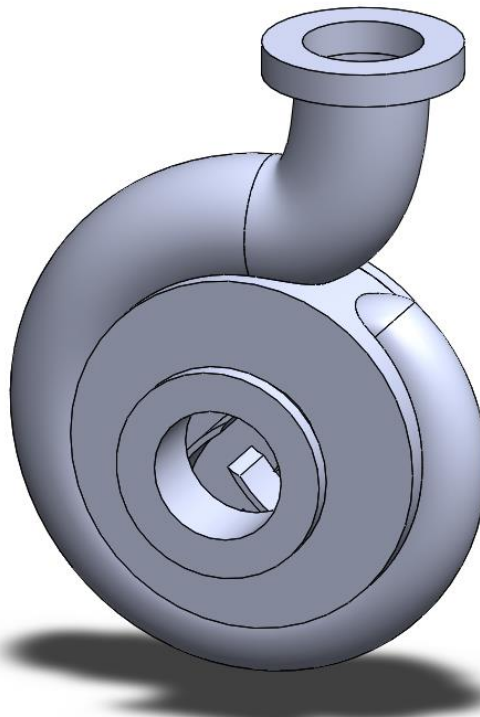


Ilustración 47. Conjunto de la bomba, vista dimétrica

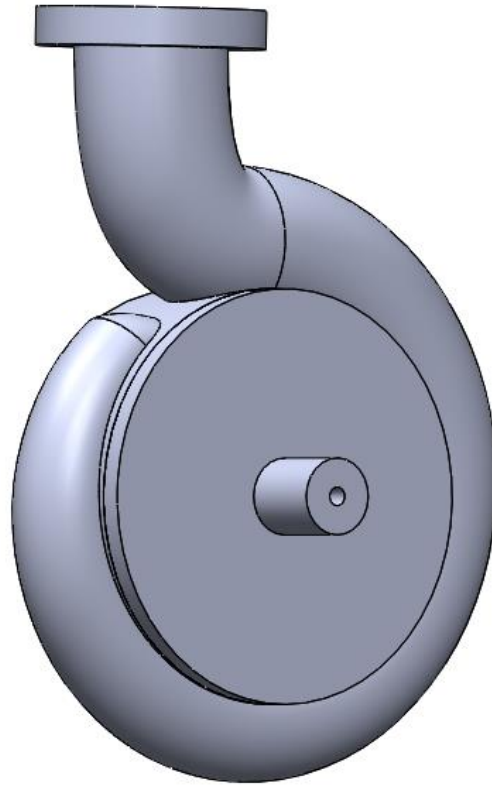


Ilustración 48. Conjunto de la bomba, vista de atrás

En la Ilustración 49 se muestra el conjunto de la bomba con la carcasa transparente para que se pueda ver el rodete. Y en la Ilustración 50 se muestra el rodete y el sistema difusor mediante un corte paralelo al plano frontal.

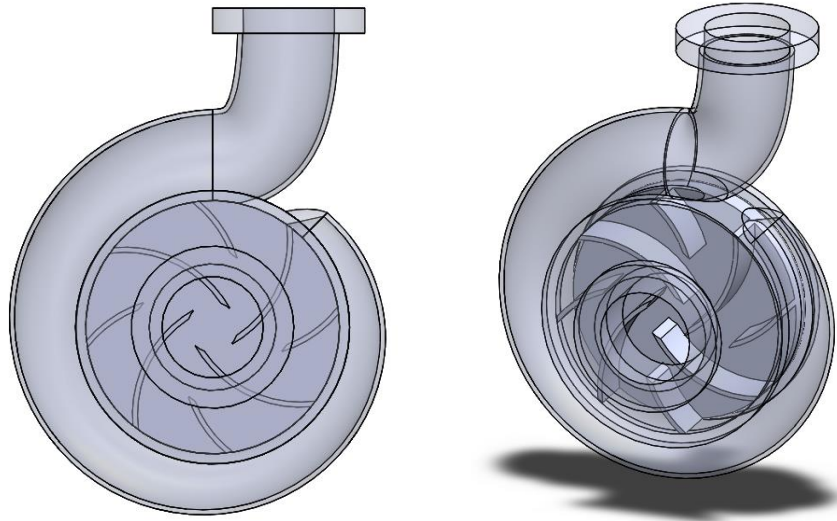


Ilustración 49. Conjunto de la bomba con la carcasa transparente

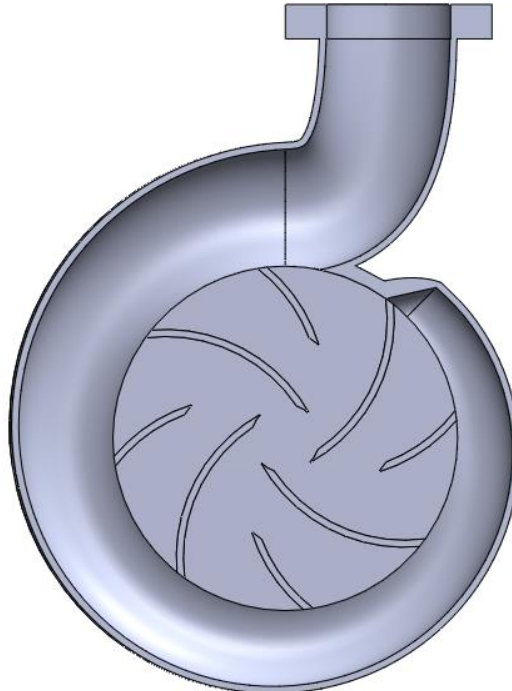


Ilustración 50. Rodete y voluta con corte frontal para ver el interior

En la Ilustración 51 se muestra el motor que ha sido diseñado en SolidWorks con las dimensiones correspondientes para modelar su comportamiento y para poder analizar el sistema al completo. Se ha ocultado la carcasa para que se pueda apreciar bien el acoplamiento entre el motor y el rodete. La tapa de la carcasa se encuentra entre ambos cuerpos.

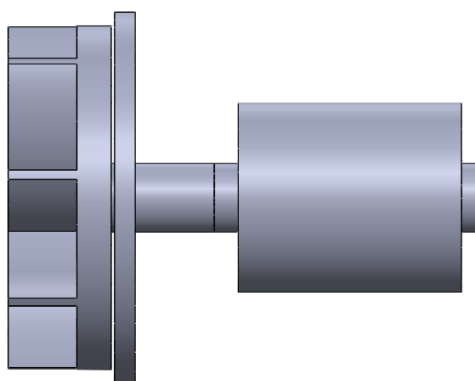


Ilustración 51. Acoplamiento motor y rodete con la carcasa oculta

El peso total de la bomba es de 39,06 gramos y tiene un volumen de 39058,05 mm³. Por tanto, si sumamos el peso de la bomba al del motor nos queda un peso de 90,3 gramos. Teniendo en cuenta que se recogen 3 litros de agua, por tanto 3 kilogramos de agua, eso nos deja un peso de 1,9097 kg para el resto de los elementos que formarán el sistema. Estos pesos han sido calculados teniendo en cuenta que en la impresión 3D se imprimirá con PETG y que la densidad de ese material es de 1-1,27 g/cm³.

4.5 CARACTERIZACIÓN DE LA BOMBA

4.5.1 RENDIMIENTOS Y POTENCIAS

El rendimiento hidráulico de la bomba es el que se indica en la Ecuación 9. Este rendimiento muestra la relación entre la altura real y la altura útil.

$$\eta_h = \frac{H}{H_u} = \frac{1}{1,3} = 0,769 \quad \text{Ecuación 9}$$

El caudal del rodete puede ser calculado mediante la fórmula de la Ecuación 10 y el caudal de la bomba Q puede ser calculado suponiendo un rendimiento volumétrico de 0,8.

$$Q_{rod} = \pi \cdot D_1 \cdot b_1 \cdot C_{1m} \cdot \tau_1 = \pi \cdot D_1 \cdot b_1 \cdot C_{2m} \cdot \tau_2 \quad \text{Ecuación 10}$$

$$Q_{rod} = \pi \cdot D_1 \cdot b_1 \cdot C_{1m} \cdot \tau_1 = \pi \cdot 0,001 \cdot 0,01 \cdot 0,22521 \cdot 0,1531$$

$$Q_{rod} = 1,08 \times 10^{-5} m^3/s = 0,010835 L/s$$

$$\eta_v = 0,8 = \frac{Q}{Q_{rod}} \rightarrow Q = 8,67 \times 10^{-6} m^3/s = 0,0087 L/s \quad \text{Ecuación 11}$$

El tiempo que tarda la bomba en recoger 3 litros de agua es de 4,61 minutos.

El rendimiento interno que es el producto de los rendimientos volumétrico e hidráulico es de 0,6152. La potencia hidráulica se muestra en la Ecuación 12, la potencia absorbida se muestra en la Ecuación 13 y la potencia intercambiada en el rodete se muestra en la Ecuación 15. Para obtener esta última potencia, se supone un rendimiento mecánico de 0,9. Las pérdidas mecánicas se consideran pérdidas externas. Una vez hallada la potencia en el eje, se puede calcular el par motor en el eje que el motor pone en el eje.

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H = 8,67e-6 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 1 = \mathbf{0,0850303 W} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$P_u = Q_{rod} \cdot \rho \cdot g \cdot H_u = 1,08e-5 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 1,3 = \mathbf{0,13817 W} \quad \text{Ecuación 13}$$

$$\eta_m = \frac{P_u}{P_a} = 0,9 \rightarrow P_a = 0,1535 W \quad \text{Ecuación 14}$$

$$P_a = M \cdot \omega \rightarrow M = \frac{P_a}{\omega} = \frac{0,1535}{1500rpm \cdot \frac{2\pi}{60}} = 0,97721 \cdot 10^{-3} Nm \quad \text{Ecuación 15}$$

Este par del motor en el eje (9,964 gcm) es menor que el par máximo del motor que se ha seleccionado en el próximo capítulo, cuyo par máximo es de 64,2 gcm.

El rendimiento total del sistema es de 0,55368.

4.5.2 ECUACIÓN CARACTERÍSTICA DE LA BOMBA

La ecuación característica de la bomba viene dada por la curva H-Q que se obtiene mediante las ecuaciones de las alturas y las velocidades. La Ecuación 16 se obtiene a partir de las ecuaciones de la primera fila. Es la ecuación característica de la bomba sin tener en cuenta las pérdidas.

$$H_u = H_{u\infty} \cdot e_z; \quad H_{u\infty} = \frac{u_2 \cdot c_{2u}}{g}; \quad c_{2u} = u_2 - \frac{c_{2m}}{tg(\beta_2)}; \quad c_{2m} = \frac{Q_{rod}}{\pi \cdot d_2 \cdot b_2 \cdot \tau_2}; \quad u_2 = \frac{\pi \cdot d_2 \cdot n}{60}$$

$$H_{u\infty} = \frac{u_2^2}{g} \cdot \left(1 - \frac{Q_{rod}}{\pi \cdot d_2 \cdot b_2 \cdot \tau_2 \cdot u_2 \cdot tg(\beta_2)} \right) \quad \text{Ecuación 16}$$

Si las revoluciones del motor son constantes, todas las variables anteriores son constantes menos Q_{rod} ; por tanto, obtendríamos la Ecuación 17 y la Ecuación 18.

$$H_{u\infty} = A' - B'' \cdot Q \quad \text{Ecuación 17}$$

$$H_{u\infty} = \frac{u_2^2}{g} - \frac{Q_{rod} \cdot u_2}{\pi \cdot d_2 \cdot b_2 \cdot \tau_2 \cdot g \cdot tg(\beta_2)} \quad \text{Ecuación 18}$$

La ecuación característica de la bomba sin tener en cuenta las pérdidas se muestra en la Ecuación 19.

$$H_{u\infty} = \frac{3,927^2}{9,81} - \frac{Q_{rod} \cdot 3,927}{\pi \cdot 0,05 \cdot 0,01 \cdot 0,87536 \cdot 9,81 \cdot tg(22)}$$

$$H_{u\infty} = 1,572 - 720,57 \cdot Q_{rod} \quad \text{Ecuación 19}$$

Si se tienen en cuenta las pérdidas, la ecuación característica de la bomba sería de la forma que se muestra en la Ecuación 20. Sin embargo, para obtener esta ecuación se ha de conocer mucha información respecto a las pérdidas de carga, como, por ejemplo, el coeficiente de fricción de las tuberías de plástico. La Ecuación 21 muestra las pérdidas por rozamiento y la Ecuación 22 muestra las pérdidas por choque.

$$H = A - B \cdot Q - C \cdot Q^2 \quad \text{Ecuación 20}$$

$$H_{r-r} = \left(f \cdot \frac{L}{D} + k\right) \cdot \frac{c^2}{2g} = k_1 \cdot c^2 = k_1 \cdot Q^2 \quad \text{Ecuación 21}$$

$$H_{r-c} = k \cdot \frac{c^2}{2g} = k \cdot (Q - Q_N)^2 \quad \text{Ecuación 22}$$

Vamos a suponer que las pérdidas por choque son cero o despreciables y que las pérdidas por rozamiento son 0,002.

$$k_1 = \frac{0,3}{Q_{rod}} = \frac{0,3}{1,08 \cdot 10^{-5}} = 27777,777$$

Por tanto, la ecuación característica de la bomba queda como se muestra en la Ecuación 23.

$$H = 1,572 - 720,57 \cdot Q - 27777,777 \cdot Q^2 \quad \text{Ecuación 23}$$

Por otra parte, la ecuación característica de la instalación vendría dada por la ecuación de Bernoulli y queda de la forma que se muestra en la Ecuación 24. Y se indica el valor de cada término en la Ecuación 25 y Ecuación 26.

$$H = D + E \cdot Q^2 \quad \text{Ecuación 24}$$

$$D = \frac{p_z - p_a}{\rho \cdot g} + z_z - z_a = \frac{4905}{\rho \cdot g} + (0,5 + 0,3) = 1,3 \quad \text{Ecuación 25}$$

$$E = H_{rA-e} + H_{rs-z} = 0,3 \quad \text{Ecuación 26}$$

Por tanto, la ecuación característica del sistema queda como muestra la Ecuación 27.

$$H = 1,3 + 0,3 \cdot Q^2 \quad \text{Ecuación 27}$$

Representando las dos ecuaciones en GeoGebra, podemos ver que el punto de intersección corresponde aproximadamente a una altura de 1,3 y a un caudal de $3,72 \cdot 10^{-4}$. Además, el punto de corte de la ecuación característica de la bomba con el eje Y es de 1,57. Esto significa que, si el caudal es muy bajo, la bomba puede llegar a vencer una altura total de 1,5 aproximadamente. Nunca podrá ser 1,57 o un número demasiado cercano debido a que, si el caudal es cero, no hay altura porque no hay líquido que elevar.

5. OTROS ELEMENTOS DEL SISTEMA

5.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA

La Ilustración 52 muestra todos los elementos que forman parte del sistema de bombeo que se incorporará al vehículo autónomo de superficie. El sistema está formado por la bomba de agua, el motor de corriente continua, una plataforma para el sistema, un recipiente para la muestra, mangueras, un rodamiento y una válvula antirretorno con filtro.

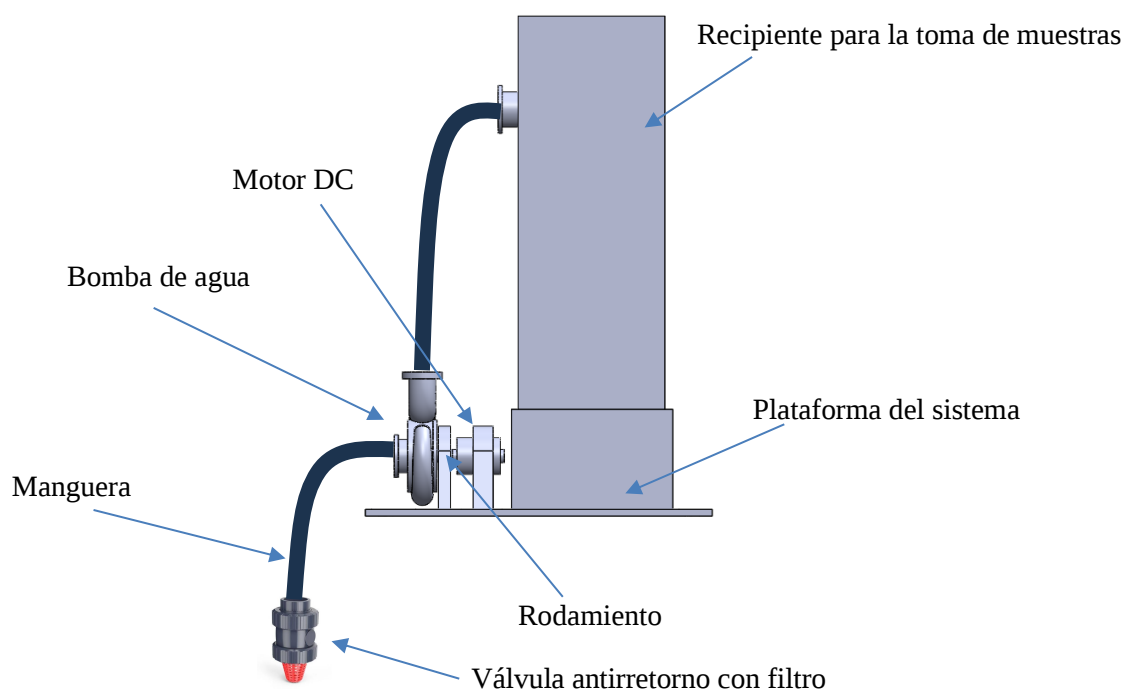


Ilustración 52. Esquema del sistema de bombeo completo con todos sus elementos

Asimismo, en los próximos apartados de este capítulo también se discutirá el material de impresión 3D y el adhesivo de montaje que se usará para montar todo el sistema.

5.2 PLATAFORMA PARA LA INCORPORACIÓN DE LA BOMBA AL ASV

La Ilustración 53 muestra la plataforma en la que irá la bomba y el motor. Dicha plataforma se fijará al vehículo autónomo de superficie mediante cuatro tornillos M10.

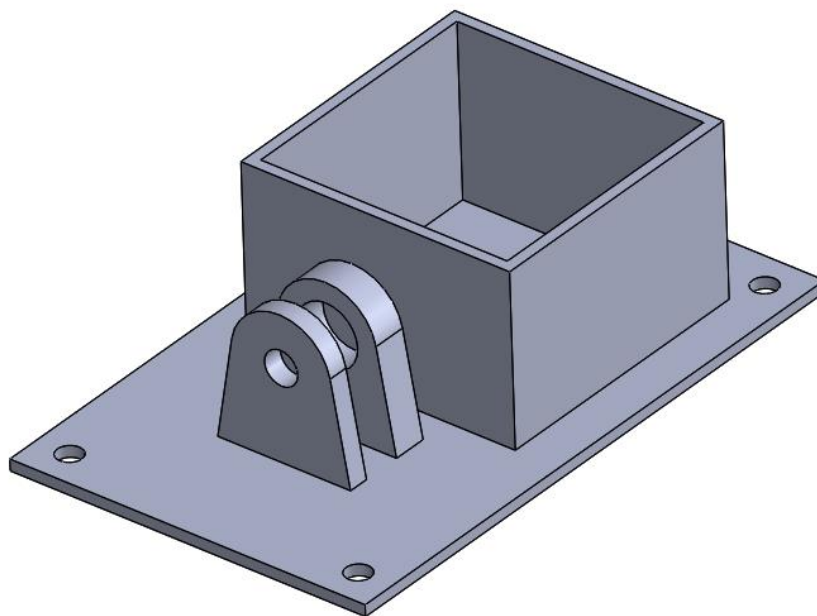


Ilustración 53. Plataforma para la incorporación de la bomba al ASV

Para comprobar que esta plataforma aguante la fuerza a la que está sometida, se ha llevado a cabo el análisis estático de la pieza. Tras seleccionar el material, definir las condiciones de contorno (superficies fijas), las fuerzas y elaborar una malla, se obtiene un factor de seguridad mínimo de 2,5. El análisis estático se muestra en la Ilustración 54 y en la Ilustración 55.

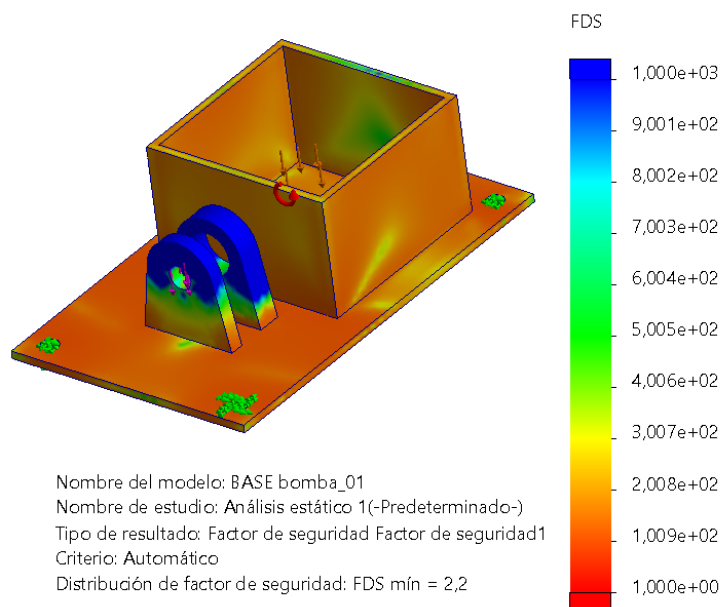


Ilustración 54. Cálculo del factor de seguridad en la plataforma del sistema de bombeo

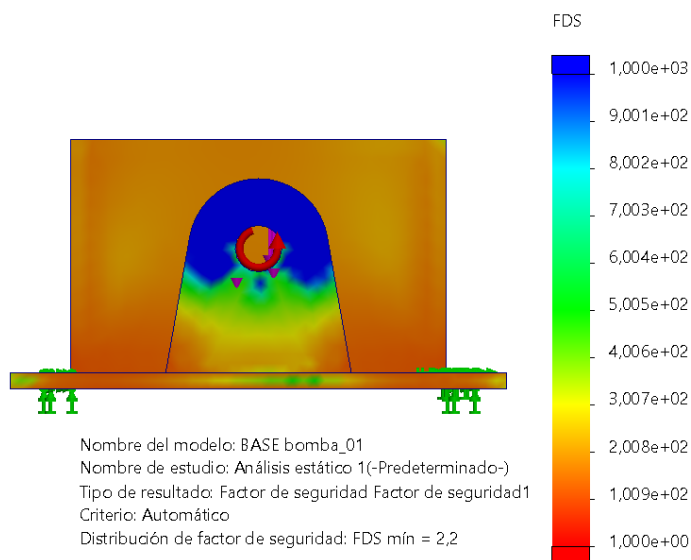


Ilustración 55. Vista de frente análisis estático de la plataforma

Por otra parte, se necesitará un rodamiento para poner entre la sujeción de la bomba y el eje de la bomba. Se propone usar un rodamiento rígido de bolas de acero inoxidable W61700. Los rodamientos rígidos de una hilera de bolas de acero inoxidable proporcionan mucha resistencia a los productos químicos y a la corrosión. Los rodamientos rígidos de bolas en general son muy versátiles, tienen baja fricción y presentan un nivel bajo en ruido y vibraciones. Esto permite alcanzar altas velocidades de giro. Soportan cargas radiales y axiales en ambos sentidos, son muy fáciles de montar y requieren muy poco mantenimiento[25]. La Ilustración 56 muestra el rodamiento rígido de bolas que ha sido elegido para este proyecto.



Ilustración 56. Rodamiento rígido de bolas de acero inoxidable W61700 de SKF. [25]

La ficha técnica del rodamiento se encuentra en el ANEXO 4: Hoja característica Rodamiento. La Ilustración 57 muestra como irá colocado el rodamiento en el sistema de bombeo.

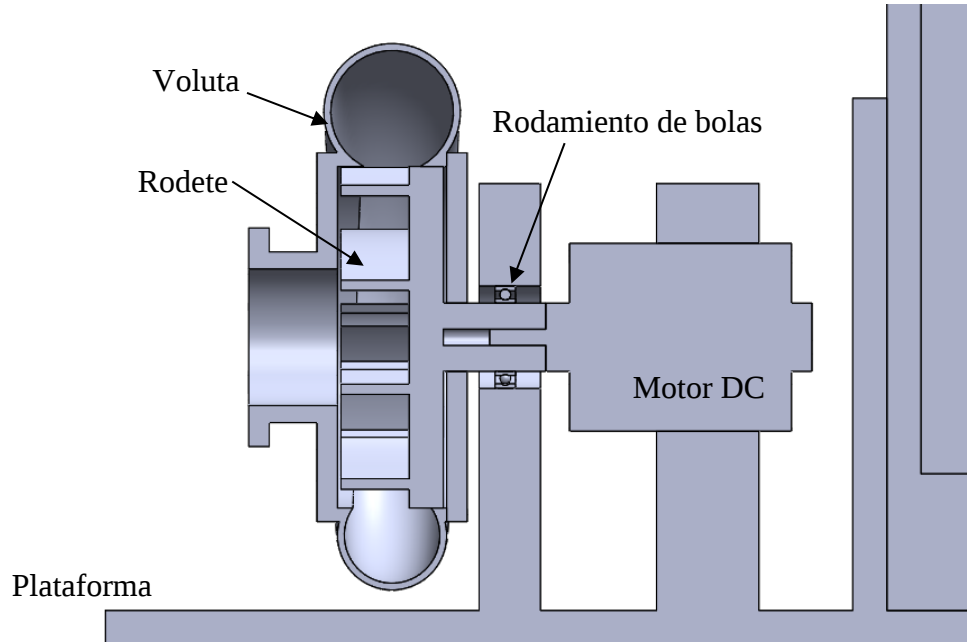


Ilustración 57. Rodamiento dentro del sistema de bombeo

5.2.1 CÁLCULO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL RODAMIENTO

Para elegir rodamiento que se ha mencionado anteriormente, se ha llevado a cabo un análisis de fuerzas en el eje. Se han tenido en cuenta los pesos del motor y de la bomba y, también, se ha tenido en cuenta el momento que el fluido causa sobre el rodete debido al par del rodete proporcionado por el motor. En la Ilustración 58 se muestra el diagrama de cuerpo libre del eje del sistema de bombeo.

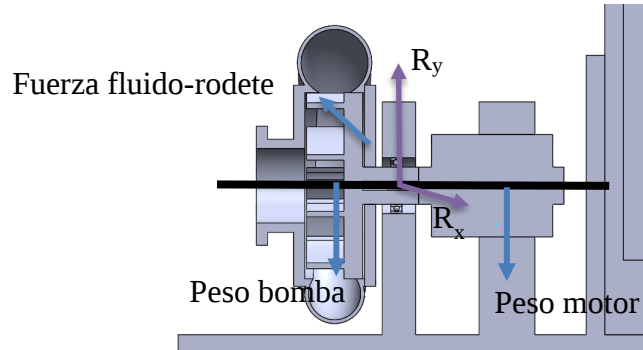


Ilustración 58. Diagrama de cuerpo libre del eje

Del diagrama de cuerpo libre se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$\text{eje } y: R_y + P_{bomba} + P_{motor} = 0 \rightarrow R_y = 0,8858 \text{ N}$$

$$\text{eje } x: R_x - F_{f-r} = 0 \rightarrow R_x = F_{f-r} = \frac{M_{motor}}{radio} = \frac{0,97721 \cdot 10^{-3}}{0,025} = 0,04 \text{ N}$$

$$R_y = 0,8858 \text{ N}; R_x = 0,04 \text{ N} \rightarrow \mathbf{R} = \sqrt{0,8858^2 + 0,04^2} = \mathbf{0,8867 \text{ N}}$$

Como la capacidad dinámica máxima del rodamiento seleccionado es de $C = 0,448 \text{ kN}$ este rodamiento es seguro.

5.3 RECIPIENTE PARA LA TOMA DE MUESTRAS

Para el recipiente para la toma de muestras se propone algo con las características y geometría que se muestra en la Ilustración 59. En la parte superior debe estar abierto o tener un agujero para que se pueda considerar que dentro del recipiente hay presión atmosférica. Por otra parte, lo ideal sería que hubiese una entrada con brida para colocar ahí la manguera. El recipiente puede tener diversas formas: puede ser de base circular o de base cuadrada. Como la bomba está diseñada para que la altura del recipiente sea 0,3m, se recomienda dicha altura.

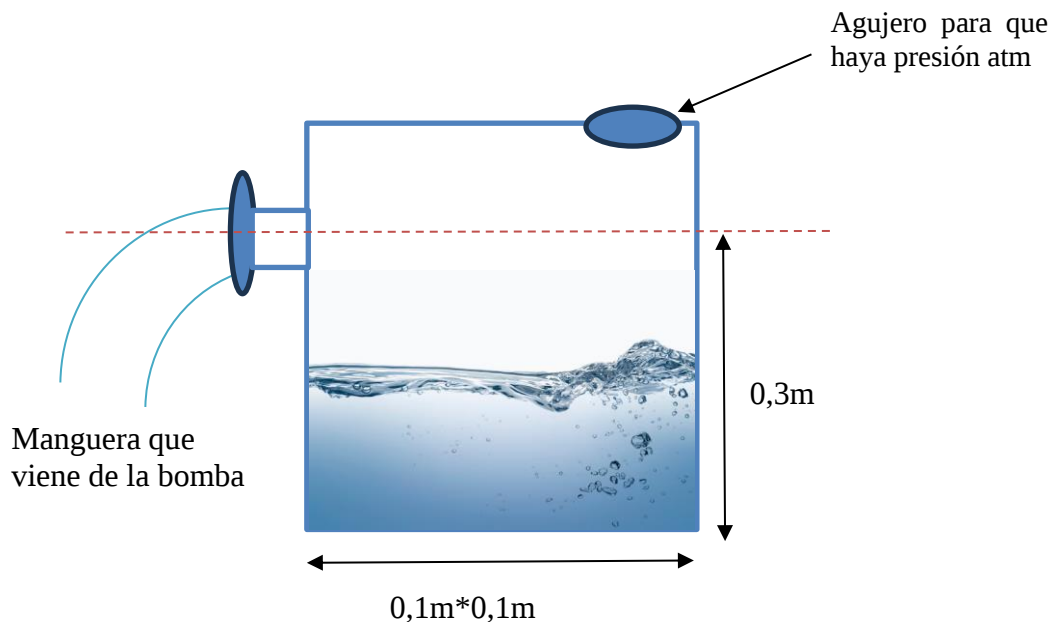


Ilustración 59. Esquema recipiente para la toma de muestras

El recipiente de las muestras puede ser comprado o diseñado también mediante impresión 3D. Por tanto, se proponen dos modelos para el recipiente según la geometría y sencillez que se busque. La Ilustración 60 corresponde a un recipiente con la base cuadrada y una entrada para la manguera.

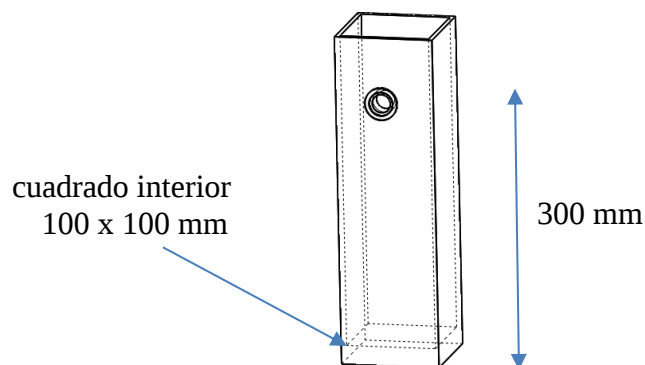


Ilustración 60. Recipiente para la muestra de base cuadrada

Por otra parte, la Ilustración 61 corresponde con un recipiente de base circular y más sencillo, no tiene un agujero para insertar la manguera.

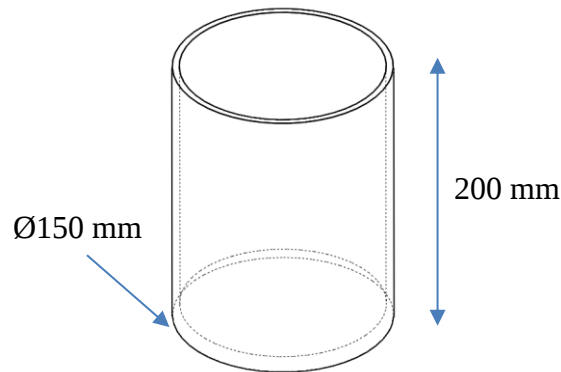


Ilustración 61. Recipiente para la muestra de base redonda

Para el material se plantea utilizar un plástico duro y resistente o cristal. Si el recipiente con tales características ya existe y se usa para tomar muestras, se usará ese material para evitar la contaminación de la muestra. Si se imprime en 3D, se usará el plástico de impresión 3D. Es más recomendable que el recipiente sea de cristal y haya sido diseñado para la toma de muestras. Si el material es algún plástico o polímero, este ha de ser resistente al sol y al calor.

Teniendo en cuenta que la densidad del material que se va a usar para imprimir en 3D es de $1,27\text{g/cm}^3$; el peso del recipiente de base cuadrada es de 0,98kg y del recipiente de base circular es de 0,689.

5.4 MANGUERA

Para las mangueras, se plantea comprar el siguiente modelo que se encuentra disponible en varias tiendas. La más barata en la que se puede conseguir es Aliexpres. La Ilustración 62 muestra estas mangueras. Son transparentes y el material es PVC (cloruro de polivinilo).

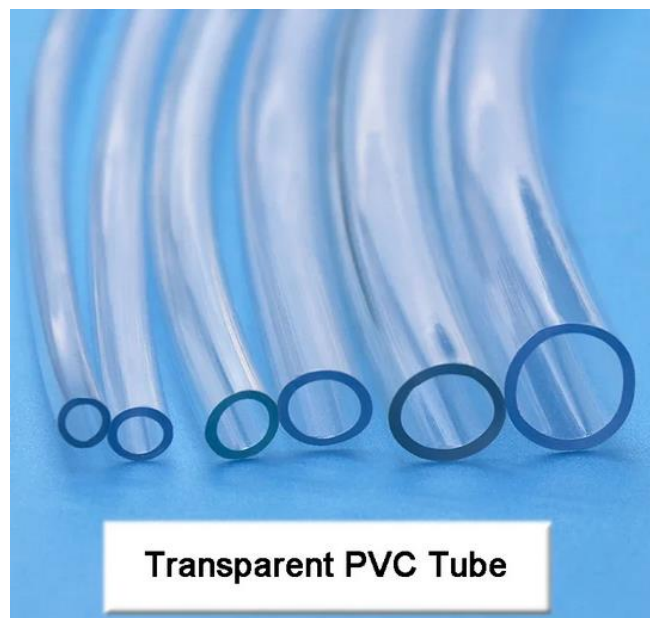


Ilustración 62. Mangueras de plástico para el sistema de bombeo [Aliexpres]

Hay varias opciones de diámetros. Se elegiría la manguera de 18mm de diámetro interior y 20 mm de diámetro exterior. Los precios de ese tamaño de manguera se muestran en la Tabla 11. Precio de la manguera de PVC por metro. Se comprarán 3 metros.

Tabla 11. Precio de la manguera de PVC por metro

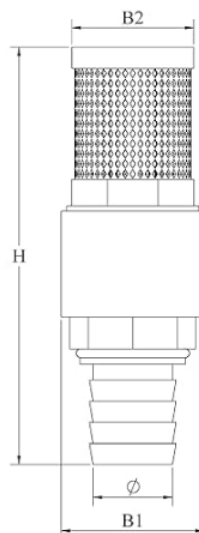
Metros de manguera	Precio
1 metro	3,46€
3 metros	10,15€
5 metros	16,93

5.5 VÁLVULA ANTIRRETORNO CON FILTRO

Se necesita una válvula antirretorno con filtro para poder cebar la bomba y para impedir el paso de material orgánico de gran tamaño o de otros residuos de tamaños superiores a 5mm que se encuentren en la masa de agua. Se proponen tres opciones para este elemento. La Ilustración 63 muestra una válvula antirretorno de latón con un diámetro interior de 25mm. Las medidas están en la Ilustración 64. Para esta válvula de retención, la manguera de 20mm de diámetro exterior iría dentro de la válvula y en el espesor entre el diámetro de 20mm y el de 25mm iría el adhesivo de montaje del siguiente apartado. Esta válvula tiene un precio de 14,17€ la unidad. La Ilustración 65 muestra una válvula antirretorno con filtro encolar PVC de Natur Clara. La función de las válvulas de retención o antirretorno, es la de permitir el acceso de los fluidos en una sola dirección, evitando situaciones de vaciado inesperados. Se seleccionaría la válvula con el diámetro A igual a 20mm, con código 272/274 16101. Esta válvula tiene un precio de 22,58€ la unidad. La Ilustración 67 muestra una válvula antirretorno con filtro de Aliexpres con un diámetro interior de 20mm, que coincide con el diámetro exterior de la manguera. Es una válvula de retención inferior de pistón para una bomba de agua con filtro UPVC. El precio por unidad es de 4,24€.



Ilustración 63. Filtro de succión de latón: válvula de pie con válvula de retención, cesta de succión, boquilla y abrazadera de manguera [Amazon]



Art.-Nr.	Abmessung		Baulänge					
	Ø	Ø	H	B1	B2			
14184	1"	25,00	125	47	36			

Ilustración 64. Medidas válvula antirretorno con filtro de latón, Amazon



Ilustración 65. Válvula antirretorno con filtro encolar PVC Hidroten [Natur Clara]

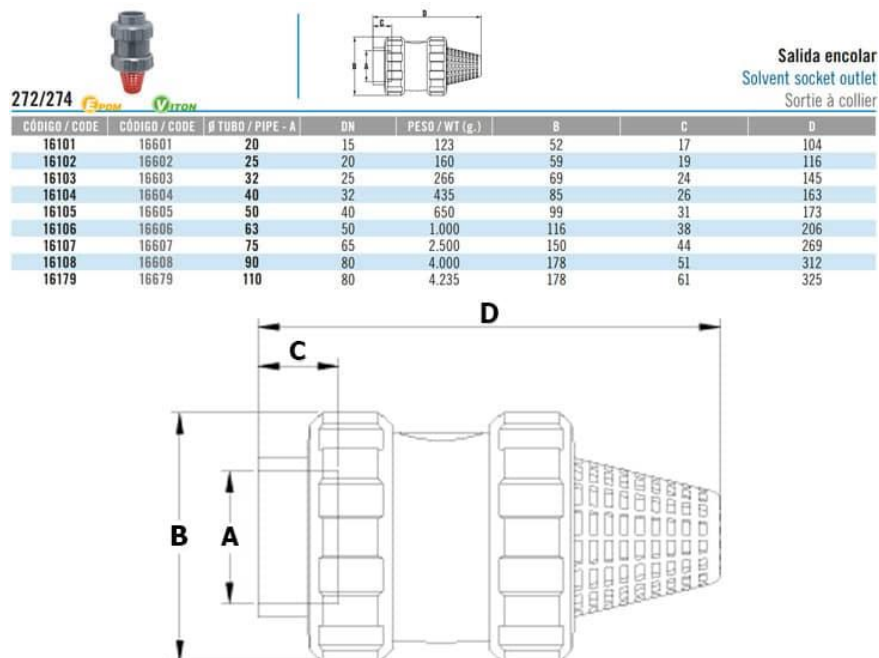


Ilustración 66. Medidas de la válvula antirretorno con filtro encolar PVC Hidroten



Ilustración 67. Válvula de retención inferior de pistón, bomba de agua, salida de entrada de agua, filtro UPVC, accesorios de tubo de riego para acuario, jardín y hogar, 20 ~ 63mm

5.6 MATERIAL PARA LA IMPRESIÓN 3D

La Tabla 12. Fibras de materiales para la impresión 3D muestra algunos termoplásticos y materiales para imprimir en 3D que van a ser tratados en este apartado.

Tabla 12. Fibras de materiales para la impresión 3D [26]

PLA	Material para aficionados
ABS	Material industrial de gama baja
PETG	Material industrial de gama baja
Nylon	Material resistente y flexible de nicho
TPE	Material flexible de nicho
Polycarbonato	Material industrial de gama media
PEEK/ULTEM	Superplásticos, idóneos para usos industriales
Plásticos reforzados con microfibras	Superplásticos, idóneos para usos industriales
Fibras continuas	(fibra de carbono, fibra de vidrio y kevlar) Materiales compuestos, idóneos para usos industriales

Los materiales más usados y comunes para la impresión 3D son los termoplásticos. Sin embargo, algunas impresoras 3D también pueden imprimir a partir de filamentos de fibra de carbono, de vidrio o kevlar. Hay una enorme variedad de composiciones, limitaciones de impresión y propiedades de los materiales. Para encontrar el material adecuado hay que adecuar los requisitos de la bomba a las propiedades de los materiales. Los termoplásticos

estándar se clasifican en termoplásticos básicos, termoplásticos de nicho y superplásticos[26].

Los termoplásticos básicos (PLA, ABS, PETG...) son los más utilizados en impresión 3D. Aunque sean de fácil impresión y tengan buenas propiedades mecánicas, su poca durabilidad y su falta de resistencia al calor hace que estos materiales no sean adecuados para usos industriales. (Ilustración 68. Esquemas termoplásticos básicos)

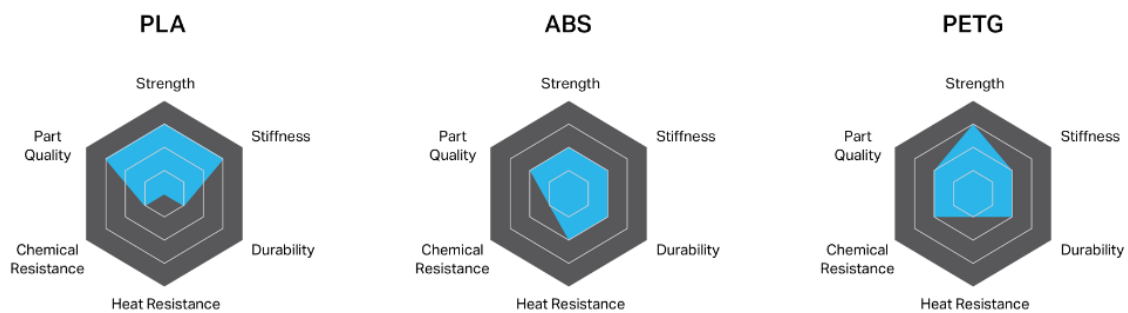


Ilustración 68. Esquemas termoplásticos básicos. [26]

Los termoplásticos de nicho como por ejemplo el Nylon son materiales muy poco resistentes al calor, pero es extremadamente duradero y tiene una gran resistencia química (Ilustración 69). Por tanto, este tipo de termoplásticos no son adecuados para este proyecto.

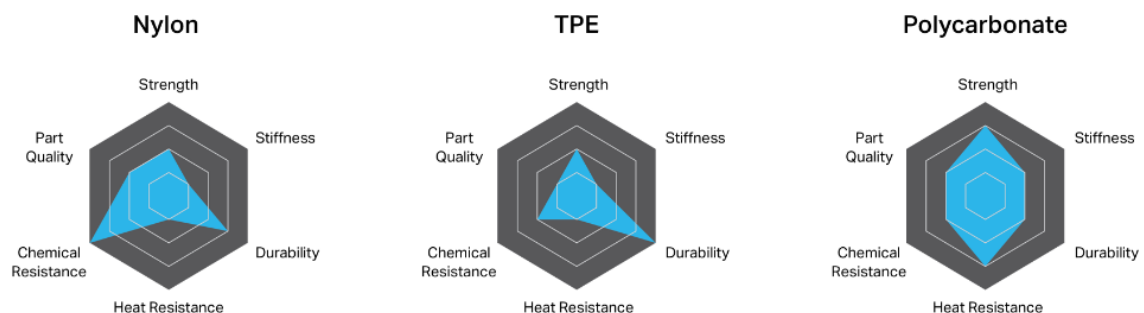


Ilustración 69. Esquemas termoplásticos de nicho. [26]

Los superplásticos (Ilustración 70) son materiales que posean todas las características necesarias para ser empleados en entornos de fabricación. PEEK y Ultem son plásticos

fuertes y rígidos con una resistencia al calor y a los productos químicos extremadamente alta[26].

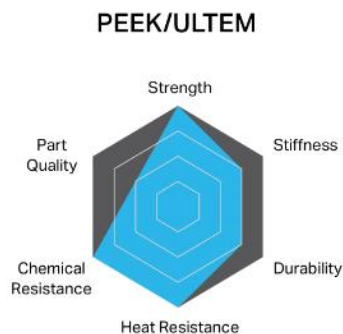
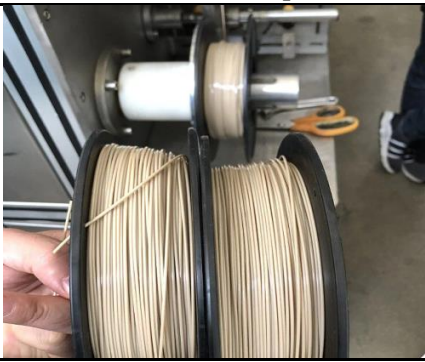


Ilustración 70. Esquema superplásticos. [26]

La Tabla 13. Precios de las diferentes opciones para el material de impresión 3D muestra los precios de la fibra por kilogramo y en total, teniendo en cuenta que necesitaremos 2kg.

Tabla 13. Precios de las diferentes opciones para el material de impresión 3D

Tipo de fibra	Foto	Cantidad	Precio/ unidad	Total
Filamento de fibra de carbono para impresora 3d	PETG CARBON FIRBER  Filamento de fibra de carbono para impresora 3d, accesorio PETG CF de 1,75mm, 1KG/0,5 KG, buena ductilidad, resistencia al impacto, alta resistencia y rigidez [ALIEXPRES]	2kg	12,05€ /0,1kg	241€

Filamento para impresora 3D PETG	 IEMA Filamento para impresora 3D PETG + de alta velocidad, filamento PETG+ de 1,75 mm, negro, 1 kg, filamento PETG para impresión de alta velocidad, filamento 1,75 PETG, precisión dimensional +/- [AMAZÓN]	2kg	18,99€ / 1kg	37,98€
Filamento de impresión 3D FLEXBED PEEK, alta temperatura, 1,75mm, 250g [ALIEXPRES]		2kg	186,73€	186,73 €

Como el precio de los superplásticos y de la fibra de carbono es excesivamente alto para este proyecto, se concluye comprar un termoplástico básico como el PETG, ya que la bomba será usada en el exterior y las temperaturas no serán tan altas como lo son en unas instalaciones industriales. Por tanto, se usará el termoplástico básico que aparece en la segunda fila de la Tabla 13.

5.7 ADHESIVO DE MONTAJE

Para el adhesivo de montaje se usará el que muestra la Ilustración 71 de la marca Sika. El precio es de 16,90€ (56,33€/L), se comprará una unidad de 300mL. “Sikasil Pool” es

transparente y es un sellador de silicona neutra para juntas en piscinas, tiene alta resistencia al cloro y antifongicida, por tanto, será la opción más adecuada para este proyecto en el que se estará siempre en contacto con el agua. Gracias a este adhesivo, la bomba estará herméticamente cerrada y no tendrá fugas.



Ilustración 71. Sikasil Pool, Transparente, Sellador de silicona neutra para juntas en piscinas, Alta resistencia al cloro y antifongicida, 300ml [Amazon]

6. ESTIMACIÓN ECONÓMICA

En la Tabla 14 se muestra la estimación económica del proyecto. Y la Tabla 15 muestra el peso total del sistema. El rodamiento no está incorporado en ninguna de las dos tablas puesto que hay un rango muy amplio de precios, desde unos 5 euros hasta 40 o 50 euros según la calidad. Además, el peso que suponen para el sistema es insignificante.

Tabla 14. Estimación económica del proyecto

Concepto	Cantidad	Precio por unidad	Precio total	Unidades
Material para imprimir en 3D	2	18,99€	37,98 €	kg
Motor corriente continua	1	9,80€	9,80 €	-
Mangueras	3	3,38€	10,15 €	metros
Válvula antirretorno con filtro	1	22,58€	22,58 €	-
Adhesivo de montaje	1	16,90€	16,90 €	-
TOTAL			91,41€	

Tabla 15. Peso total del sistema

ELEMENTOS	PESO (kg)
Bomba y motor	0,0903
Recipiente para la muestra	0,98
Base del sistema	0,40468
Agua recogida en la muestra	3
TOTAL	4,47498

El peso total del sistema es menor a 5 kilogramos, que es el límite máximo que puede pesar el sistema completo, incluyendo los litros de agua de muestra recogida.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El resultado de este proyecto ha sido el sistema de bombeo que se muestra en la Ilustración 72. Se ha conseguido con éxito diseñar una bomba de agua de pequeñas dimensiones y seleccionar o diseñar el resto de los elementos constituyentes del sistema. Dichos elementos son: motor en corriente continua, el recipiente para la toma de muestras, la plataforma del sistema y rodamiento, mangueras y una válvula antirretorno con filtro.

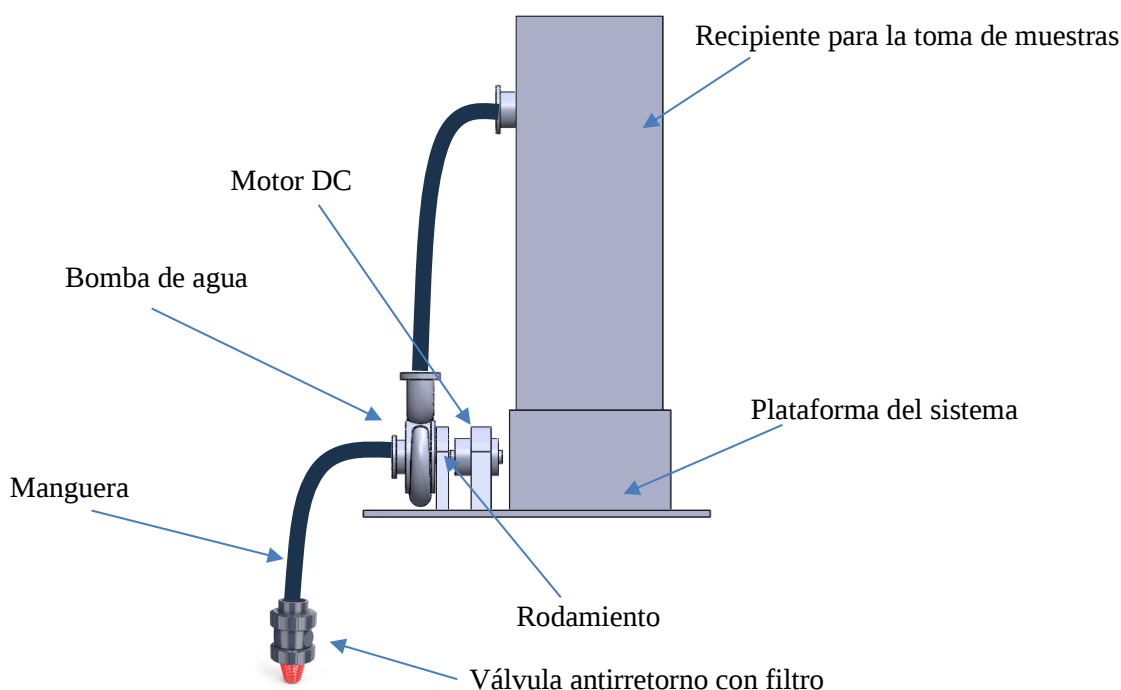


Ilustración 72. Resultado completo del proyecto

Se ha conseguido que una bomba de pequeñas dimensiones sea capaz de vencer una altura de 1,4 metros aproximadamente, siendo nuestro objetivo que fuese capaz de impulsar el fluido una altura de 1,3 metros. Se han diseñado las siguientes tres partes de la bomba: el rodete, la voluta (carcasa) y la tapa de la carcasa. El rodete ha sido la pieza clave, la cual,

mediante los triángulos de velocidades y cálculos de altura útil, se ha conseguido un buen resultado. La Ilustración 73 muestra el plano de conjunto de la bomba de agua.

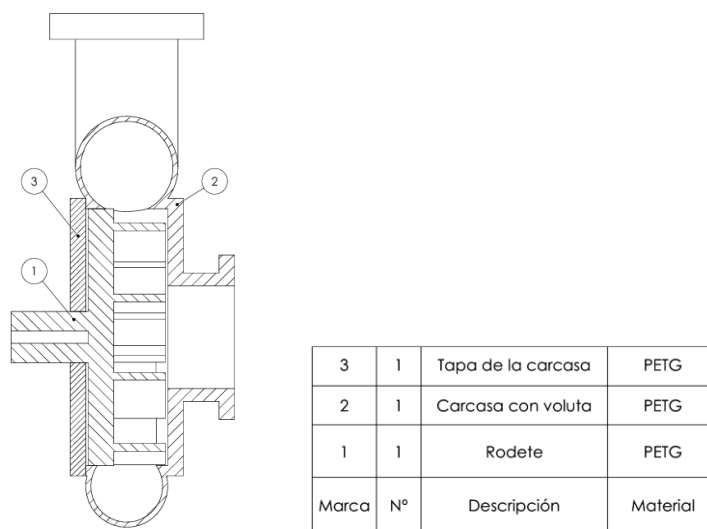


Ilustración 73. Plano del conjunto de la bomba

El material que se usará para construir la bomba y resto de elementos en 3D será el plástico PETG. Dicho plástico soporta hasta temperaturas de 200°C, por tanto, la temperatura ambiente no será un problema y no deformará el conjunto ni contaminará la muestra de agua recogida.

En el diseño de la bomba, se han tenido en cuenta las tolerancias. Sin embargo, en caso de que algunas tolerancias no sean suficientes, se limará la pieza con mucho cuidado y recogiendo todas las virutas que produzca este proceso. Asimismo, en cuanto al acabado de las superficies que serán pegadas con el adhesivo de montaje, también se limarán para conseguir una superficie rugosa y, de esta manera, un pegado más resistente.

Puede parecer que construir este sistema con el plástico como material principal no tiene sentido, pues el proyecto intenta regular los vertidos de este material. Si bien, este proceso resulta muy sencillo y no requiere de muchos recursos ni grandes fábricas.

Por otra parte, la plataforma de incorporación del sistema de bombeo al vehículo autónomo también ha dado buenos resultados. Se ha conseguido que el coeficiente de seguridad mínimo en la pieza sea de 2,2. No es un coeficiente de seguridad muy elevado, sin embargo, para el margen de este proyecto es más que suficiente. Además, al ser una bomba tan pequeña, las fuerzas que tiene que soportar el rodamiento son tan pequeñas, que se ha podido seleccionar el rodamiento entre un montón de opciones. Por ello, se ha elegido el más pequeño y simple, puesto que es el más barato y el de menor peso.

La válvula antirretorno permitirá filtrar el agua que entra a la bomba. Hará de primer filtro y permitirá que no accedan a la bomba microorganismo orgánicos de gran tamaño y así que la bomba no se atasque. Asimismo, permitirá cebar la bomba. Mediante movimientos en el agua de la manguera, el agua entrará por dicha válvula, pero no saldrá ya que no permite la salida del fluido, solo la entrada.

En cuanto al peso y a las otras especificaciones generales del sistema; se ha conseguido un sistema de bombeo que cumple todas las especificaciones. El peso máximo del sistema era de 5 kg y el peso del sistema diseñado es de 4,5kg. La alimentación del motor de corriente continua tenía que ser de máximo 16V y se ha conseguido encontrar un motor en corriente continua que cumple con dicha especificación y que proporciona un par máximo y revoluciones por minuto mayores de las que necesita la bomba. Además, se ha conseguido un precio que se puede considerar muy económico para el sistema de bombeo completo. Y, el tiempo de la toma de muestras es de menos de 5 minutos: 4,62 minutos.

Gracias al estudio bibliográfico de los microplásticos, del muestreo, de la normativa correspondiente y de varios proyectos de toma de muestras autónomos, se concluye que este método de toma de muestras mecánico es una novedad tecnológica que permitirá recoger muestras desde todo tipo de embarcaciones ya que no depende de la geometría de la embarcación como dependían otros sistemas de muestreo automáticos. Además, tras realizarse el estudio de microplásticos, se conoció el método de análisis de estos. Una vez tomada la muestra y llevada al laboratorio, el agua de la muestra se pasará por varios filtros de diferentes tamaños, permitiendo así, analizar cada filtro para ver la cantidad de

microplásticos que hay de cada tamaño. También, gracias a dichos filtros, se podrá separar los microorganismos orgánicos u otras sustancias que no se buscan analizar con este estudio para centrarse sobre todo en los microplásticos y así minimizar la interferencia de otros materiales. Los microplásticos de entre 1-5mm serán separados por la primera membrana y se podrán identificar mediante un análisis visual. Para los microplásticos de menor tamaño, se usará un estereomicroscopio o el micro-FTIR que mediante un amplio espectro de frecuencias de luz infrarroja se analizarán las muestras. Gracias al estereomicroscopio se podrán analizar los microplásticos en tridimensional para poder diseccionarlos en caso de que se quieran ver las partículas pequeñas que lo componen.

8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Se han cubierto todos los objetivos propuestos en este proyecto. Gracias a este proyecto, se llevarán a cabo muestreos en diferentes cuerpos hídricos como ríos, lagos o mares de España y, gracias a los resultados que se obtendrán, se podrá plantear una normativa respecto a estos contaminantes.

Se ha hecho un estudio bibliográfico de los microplásticos, proyectos relacionados y procedimientos del muestreo. Al profundizar más en el tema, se ha llegado a la conclusión de la importancia y el impacto que puede llegar a tener un proyecto así.

La bomba diseñada ha sido un éxito ya que, aun siendo una bomba de tan pequeñas dimensiones, se ha conseguido que sea capaz de impulsar una altura suficiente para esta situación y que requiera de muy pocos recursos para su construcción. Tanto la bomba de agua como el sistema de toma de muestras al completo suponen un avance tecnológico y un proyecto muy útil para conseguir llevar a cabo estudios ambientales.

Tras la finalización de este proyecto se proponen los siguientes trabajos futuros:

- Automatizar todavía más la toma de muestras con un sistema de bombeo incorporando sensores que sean capaz de medir la cantidad de agua que se ha recogido, el caudal que está transportando la manguera, la profundidad a la que se está tomando la muestra, etc.
- Construir la bomba y hacer los ensayos correspondientes para caracterizar mejor sus pérdidas de una manera más práctica. También se incluye la posibilidad de realizar un estudio de fluido mediante un software para comparar los resultados obtenidos del software con los obtenidos de la bomba real.
- Tomar muestras de agua con este sistema y analizar en un laboratorio la cantidad de microplásticos que hay para proponer una normativa. Este proyecto tendría que ser llevado a cabo por algún técnico especialista en este campo.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] «BOE-A-2015-9806.pdf».
- [2] «Metodología para la Toma de Muestra de Microorganismos Altamente Patógenos en las Matrices Ambientales Aire, Agua y Suelo/Sedimento». [En línea]. Disponible en: <https://repisalud.isciii.es/handle/20.500.12105/7428>
- [3] «REINFORCED - Red de Investigación sobre Vehículos autónomos e Inteligencia Artificial para la Monitorización de Recursos Hídricos»: [En línea]. Disponible en: <https://grupos.us.es/reinforced/>
- [4] «Noticia Voz de Galicia: El mercante que causó la marea plástica en Galicia dice haber perdido mil sacos de pélets». [En línea]. Disponible en: <https://www.lavozdeg Galicia.es/noticia/somosmar/2024/01/08/mil-sacos-bolitas-dice-haber-perdido-mercante-causo-marea-plastica-galicia/00031704704000169940440.htm>
- [5] «ODS 14 Vida submarina». [En línea]. Disponible en: <https://www.pactomundial.org/ods/14-vida-submarina/>
- [6] «ODS 6 Agua limpia y saneamiento». [En línea]. Disponible en: <https://www.pactomundial.org/ods/6-agua-limpia-y-saneamiento/>
- [7] «Aparato para la toma de muestras de líquido y el procedimiento para su control». [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10261/55797>
- [8] «Procedimiento para la toma de muestra de aguas». [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/4412>
- [9] «Robot acuático para la toma de muestras de agua en lagunas de baja profundidad», Instituto Politécnico Nacional, UPIITA, Mexico. [En línea]. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/30503>
- [10] «DESARROLLO DE UN PROTOTIPO MODULAR SUMERGIBLE PARA LA MEDICIÓN Y TOMA DE MUESTRAS DEL AGUA». [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12495/6102>
- [11] «Desarrollo de un método de toma automática de muestras de aguas residuales utilizando un muestreador robótico portátil». [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8382673>
- [12] «La UBA desarrolla robots autónomos para el monitoreo ambiental en medios acuáticos». [En línea]. Disponible en: <https://www.argenports.com.ar/nota/un-equipo-de-investigacion-de-la-uba-desarrolla-robots-autonomos-para-el-monitoreo-ambiental-en-costas-marinas>
- [13] «0301 Contaminantes Introduccion.pdf».
- [14] «CEDEX. Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras. 2014».
- [15] «Instrucciones, guías y protocolos de medida y tomas de muestras (Gobierno de España)». [En línea]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/medida-tomas-muestras.html>

- [16] A. de, «GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS».
- [17] «Capítulo Dos - Métodos para el muestreo y análisis de microplásticos en el ambiente de agua de mar y agua dulce». [En línea]. Disponible en: https://www-sciencedirect-com.translate.goog/science/article/abs/pii/S007668792030375X?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=rq
- [18] D. L. Muez, P. P. Duque, E. F. Fuentes, y E. Benfatti, «Proyecto Libera. PROTOCOLO PARA LA PLANIFICACIÓN, MUESTREO, ANÁLISIS E IDENTIFICACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN RÍOS».
- [19] «Bombas en cruceros Desforges et al., 2014». [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X13007741?via%3Dihub>
- [20] «Sistema Plex toma de muestras de agua». [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X18308312?via%3Dihub>
- [21] «Método micro-FTIR». [En línea]. Disponible en: <https://www.advancedmicroanalytical.com/AMAServices.aspx?mode=tech&ID=15>
- [22] «Video YOU TUBE: “Probamos diferentes bombas de agua y te enseñamos las diferencias”». [En línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=mIDQ9EWNz1I>
- [23] «Proyecto Bomba de bobina.pdf».
- [24] M. A. Abella y F. C. Romero, «Sistemas de Bombeo Fotovoltaico».
- [25] «rodamiento rígido de bolas de acero inoxidable W61700». [En línea]. Disponible en: <https://www.skf.com/es/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-W%2061700>
- [26] «Materiales para imprimir en 3D». [En línea]. Disponible en: <https://markforged.com/es/resources/learn/3d-printing-basics/how-do-3d-printers-work/3d-printing-materials>
- [27] «Objetivo 14: Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos». [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/oceans/>
- [28] «Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)». [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/es/common-agenda/sustainable-development-goals>
- [29] «Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos». [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- [30] «Objetivo 3: Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades». [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/health/>
- [31] «ODS 3 Salud y bienestar». [En línea]. Disponible en: <https://www.pactomundial.org/ods/3-salud-y-bienestar/>
- [32] «Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles». [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>

- [33] «Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles». [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>
- [34] «ODS 12 Producción y consumo responsables». [En línea]. Disponible en: <https://www.pactomundial.org/ods/12-produccion-y-consumo-responsables/>

ANEXO I: OBJETIVOS ODS



- Vida Submarina[27]:

Este objetivo de desarrollo sostenible consiste en conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos. Adopta un enfoque amplio para hacer frente a las diversas crisis del planeta debidas al cambio climático, la pérdida de la biodiversidad y la contaminación. Se destaca el aumento de la contaminación en el mar, en particular debido a residuos plásticos. Desde la Conferencia de las Naciones Unidas sobre los Océanos de 2022, se pide el desarrollo progresivo del derecho internacional, un tratado contra la contaminación por plásticos y un marco jurídico para la conservación y el uso sostenible de los océanos y sus recursos. [28]

Estudiar la calidad y propiedades del agua, ayudará a realizar estudios sobre la vida submarina. Cuando sea necesario, gracias a la información obtenida en las muestras, se buscará proteger ecosistemas marinos. Se reducirá la contaminación marina y se restaurarán ecosistemas cuando sea necesario. Ayudará a controlar y promover la pesca sostenible a la vez que ayudará a la conservación de zonas costeras y marítimas. Se aumentará el

conocimiento científico, la investigación y la tecnología para la salud de los océanos. Se conocerá la cantidad de microplásticos y contaminación de las zonas estudiadas. Una vez se establezca un límite de contaminación, a través del muestreo, se sabrá en que punto estamos y cómo actuar en consecuencia. Necesitamos saber si se ha llegado a un punto de no retorno. Necesitamos llevar a cabo este muestreo para poder buscar soluciones y remediar la contaminación por microplásticos. Al igual que este ODS, este proyecto tiene como objetivo principal llamar la atención para crear una normativa y unas leyes de la cantidad máxima de microplásticos admitidos en un cuerpo hídrico.

La contaminación por plásticos está presente en todas partes, desde las playas de Indonesia hasta en el fondo del océano del Polo Norte. Se calcula que, si la contaminación por plásticos sigue la tendencia actual, los océanos tendrán más plástico que peces para 2050. Según datos de Ecoembes, en 2018 en España se reciclaron el 78,8% de los envases de plástico, latas y briks y los envases de papel y cartón, evitando que llegaran a las costas. [5]

Alcanzar el ODS 14 es un paso fundamental para defender el derecho a un medio ambiente sano, que ha sido reconocido por la Asamblea General y el Consejo de Derechos Humanos.[28]

- Agua limpia y saneamiento [29]:

Este ODS busca garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y saneamiento para todos. Por tanto, el derecho a un medio ambiente limpio, saludable y sostenido es esencial para conseguirlo. [28]

En el último siglo, la demanda de agua a nivel mundial ha aumentado debido al gran crecimiento demográfico, la rápida urbanización, el desarrollo económico y las modalidades cambiantes de consumo [6]. Adicionalmente, la demanda de agua se intensifica debido al cambio climático y a fenómenos meteorológicos cada vez más extremos como sequías e inundaciones.

Cada país posee una huella hídrica diferente en función de la cantidad de bienes y servicios capaz de generar y consumir, del grado de disponibilidad del recurso y de su calidad. Según *Water Footprint Network*, España ocupa el octavo puesto en la clasificación mundial de países con mayor huella hídrica (producción y consumo) y el segundo puesto en el ranking europeo [6].

Actualmente, más de un tercio de la población mundial vive en países con escasez de agua. Además, la contaminación del agua va en aumento debido a las aguas residuales industriales, a los contaminantes emergentes como los plásticos o microplásticos, las prácticas agrícolas y otros desechos humanos de difícil eliminación. Según el Banco Mundial, el mundo se enfrenta a una disminución de la calidad del agua y a una gran contaminación que pone en peligro el bienestar humano y ambiental.

Este proyecto guarda relación debido a que se puede usar el sistema de bombeo para tomar muestras en masas de agua que después serán para el consumo. Gracias a este sistema de bombeo se mejorará la calidad del agua. Se implementará la gestión integrada de los recursos hídricos. Se protegerá y restaurará los ecosistemas asociados al agua. Asimismo, como será un diseño muy cómodo de usar, se promoverá y potenciará la participación de comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y saneamiento. Ayudará a ampliar el acceso universal y equitativo al agua potable. Y ayudará a realizar una gestión sostenible del agua implantando sistemas de gestión ambiental certificados. Este proyecto, podrá ser implementado en países en desarrollo para llevar un control de sanidad del agua que consumen y así evitar las miles de muertes diarias causadas por beber agua en malas condiciones y por falta de higiene.

- Salud y Bienestar [30]:

Este ODS busca garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades. La deficiencia en la salud ambiental contribuye a que haya más enfermedades y a la muerte de miles de personas. Como se mencionaba en el punto anterior, el limitado acceso

al agua potable, saneamiento e higiene inadecuada crean enfermedades que han llegado a causar un total de 870.000 muertes en 2016 [31].

Tomar muestras de agua para después analizar su calidad, ayudará a controlar tanto el agua que bebemos como el agua donde viven animales que después ingerimos. Para ello, es muy importante fomentar la pesca sostenible. Mediante este ASV con sistema de bombeo, se podrán tomar muestras de agua de las zonas en las que se pesca, para así poner limitaciones sobre el plástico y residuos que se pudieran producir, y, asegurarnos que los peces que consumimos no tienen una cantidad importante de microplásticos en su interior.

Por otra parte, la toma de muestras automática ayudará a encontrar microorganismos altamente patógenos sin poner en riesgo la vida de una persona, ya que este sistema, luego puede ser empleado para recoger muestras que contengan otros organismos de interés.

- Ciudades y comunidades sostenibles [32]:

Este ODS consiste en lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. Con la información obtenida gracias al sistema del vehículo autónomo, se controlará y se reducirá la cantidad de residuos que terminan en los cuerpos hídricos que rodean una comunidad o ciudad. Ayudará a determinar una normativa para la contaminación de los medios acuáticos, ya que ahora mismo, no hay ninguna. Y gracias a esas normas y leyes, se impedirá verter plástico en cuerpos hídricos o se hará obligatorio el uso de un filtro adecuado a este contaminante y las ciudades serán más sostenibles.

- Producción y consumo responsable [33]:

Este ODS busca garantizar modalidades de consumo y producción sostenible. El ODS 12 pretende cambiar el modelo actual de producción y consumo para conseguir una gestión eficiente de los recursos naturales [34]. Se buscará que el diseño use el menor número de recursos posibles y los menos contaminantes. Se buscará que el producto final sea responsable con el medio ambiente.

ANEXO 2: DIMENSIONAMIENTO DE LA BOMBA

Datos		unidades
Profundidad toma de muestras	0,5	m
Volumen muestra agua	3	L
tiempo de toma de muestra	5	min
diámetro tubo toma de muestras, int	16	mm
área tubo toma muestras	201,06	mm ²
Tensión máxima alimentación motor	16	V (DC)
Peso máximo todo el sistema	5	kg
D1, diámetro entrada rodete	0,02	m
b1, ancho entrada	0,01	m
ángulo entrada w-u , β_1	16	°
ángulo álabes, α_1	90	°
espesor, s1	0,001	m
paso circunferencial, t1	0,009	m
D2, diámetro salida rodete	0,05	m
b2, ancho salida	0,01	m
ángulo salida w-u , β_2	22	°
ángulo álabes, α_2	0,033	°
espesor, s2	0,001	m
paso circunferencial, t2	0,021	m
eficiencia hidráulica, η_h	0,8	-
eficiencia volumétrica, η_v	0,8	-
eficiencia mecánica, η_m	0,800	-
eficiencia total, η_{tot}	0,512	-
Revoluciones operación bomba, N	1500	rpm
Densidad agua	1000	kg/m ³
Gravedad	9,81	m/s ²
numero de álabes, z (Stepanoff)	7,333333	-
numero de álabes, z (Pfleiderer)	11,39	-
coeficiente k Pleiderer	15	-

Triangulo de velocidad

entrada

	valor	radial, m	perif., u	unidades
c1	0,450419	0,450419	0	m/s
w1	1,634099	0,450419	1,5708	m/s
u1	1,570796	-	-	m/s
$\beta 1$	16	-	-	°
$\alpha 1$	90	-	-	°

Triangulo de velocidad salida

c2	3,635215	0,118668	3,63328	m/s
w2	0,31678	0,118668	0,29371	m/s
u2	3,926991	-	-	m/s
$\beta 2$	22	-	-	°
$\alpha 2$	0,03265	-	-	°

Coefficiente de obstrucción 1	τ_1	0,576568		
Coefficiente de obstrucción 2	τ_2	0,875375		
Caudal rodete, Q_{rod}	$Q_r [m^3/s]$	0,000163	tiempo en llenar 3L	
	$Q_r [L/s]$	0,163172	0,30642	min
Caudal Q	$Q [m^3/s]$	0,000131		
	$Q [L/s]$	0,130538	0,38303	min
Altura teórica o de Euler	$H_{u\infty} [m]$	1,454419		
Altura útil o Real	$H [m]$	1		
Altura útil Bernuilli (sistema)	$H_{u\infty} [m]$	1	$H = H_{uinf} + H_r$	ext
Perdidas hidraulicas int B	$H_{r,int} [m]$	0,3		
Altura intercambio rodete	$H_u [m]$	1,3	duda	$H = H_u - H_r$
Coefficiente de disminución trabajo	e_z	0,893828		
	$C_{2u} *$	3,247525		

Altura geodesica	1	m
perdidas por		
codos/valvulas/roz	0,3	m
Altura util	1,3	
η_h	0,8938279	

Tiene sentido

Potencias	por
Potencia hidraulica	rend.:
1,2805775	

Potencia de accionamiento	1,8624959	2,501128	2,501128
Potencia interna	2,0809384		
Par transmitido por el R a la B	0,011857	Nm	no estoy segura
Ecuación energia (Bernoulli)	H [m]	1,225	
Presión 1	p_1	4905	P_o+P_profun
velocidad 1	c_1 [m/s]	0	
altura geodesica 1	z_1 [m]	-0,65	
Presión 2	p_2	0	P_o
velocidad 2	c_2 [m/s]	0	
altura geodesica 2	z_2 [m]	0,075	
Perdidas codo 1	m		todavia no se q poner
perdidas c odo 2	m		
radio ext Bomba		despreciable (muy pequeño)	
altura embarcación sobre el			
agua	0,15		
altura recipiente	0,075		
area base recipiente	0,04		
Potencias		por rend.:	
Potencia hidraulica	1,6647507		
Potencia de accionamiento	1,8624959	2,501128	3,251466
Potencia interna	2,0809384		
Par transmitido por el R a la B	0,011857	Nm	

ANEXO 3: HOJA CARACTERÍSTICA MOTOR DC

Motores dc



CARACTERÍSTICAS

- Disponible en una selección de velocidades
- Variedad de tensiones y pares de salida
- Fiable y de alta calidad
- Construcción de núcleo de hierro

**Motor dc RS Pro, 5,75 W, 6 →
15 V dc, 64,2 gcm, 8768 rpm,
diámetro del eje de 2,31 mm**

Código RS: 238-9715



Los productos con aprobación profesional RS le proporcionan piezas de calidad profesional en todas las categorías de productos. Nuestra gama de productos ha sido probada por ingenieros y proporciona una calidad comparable a las marcas

líderes sin pagar un precio superior.

Motores dc



Descripción del

El motor dc RS Pro es una gama de motores que disponen de una gran variedad de motores de alta potencia, esenciales para una variación de par de velocidad, velocidad del motor y tensión. Una construcción durable asegura que la aplicación funcionará a un alto estándar

Especificaciones

Velocidad de salida	8768rpm
Par de salida máximo	64.2gcm
Aplicaciones	Aspiradoras, compresores de aire, secadores de pelo, herramientas eléctricas

Especificaciones

Tensión de alimentación	6V- 15V
Potencia nominal	5.75W
Corriente nominal	758mA
Sin velocidad de carga	11370rmp
Sin corriente de carga	0.151A
Par de calado	360GCM
Corriente de calado	3,952 a, corriente de calado RE-360 a 12v = 4,02 A.
Máxima eficiencia	61.94%

Motores dc



Especificaciones mecánicas

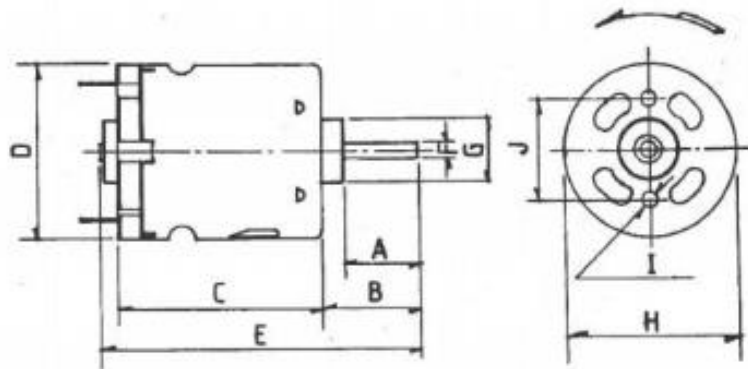
Diámetro del eje	2.31mm
Construcción del núcleo	Núcleo de hierro
Dimensiones	27,63 mm (diám.) x 32,5 mm
Longitud	32.5mm
Anchura	27.63mm
Peso	51g

Aprobaciones

Cumplimiento/Certificaciones	RoHS
------------------------------	------

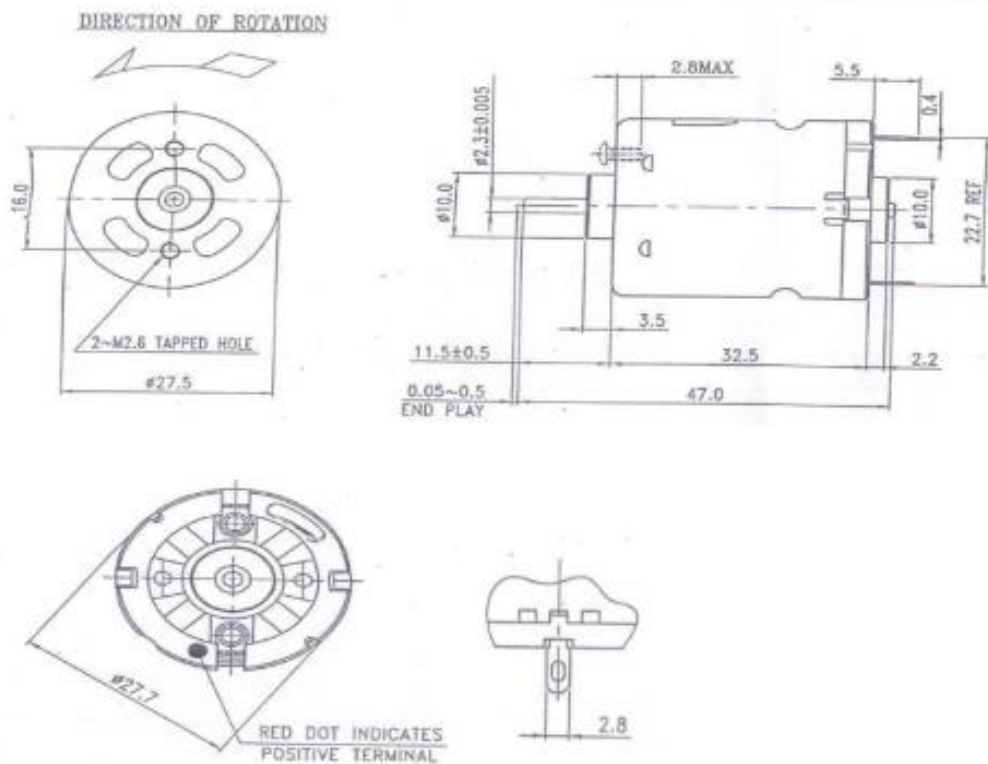


Motores dc



Dimensions	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
mm	8.2	11.5	32.5	27.63	47	2.305	10	27.5	M2.6	16

Stall Current RE-360 at 12v = 4.02A



ANEXO 4: HOJA CARACTERÍSTICA RODAMIENTO



Image may differ from product. See technical specification for details.

W 61700

Rodamiento rígido de bolas de acero inoxidable

Los rodamientos rígidos de una hilera de bolas de acero inoxidable proporcionan una mayor resistencia a los productos químicos y a la corrosión. Al igual que con los rodamientos rígidos de bolas en general, son especialmente versátiles, tienen baja fricción y están optimizados para un bajo nivel de ruido y vibraciones, lo que permite alcanzar altas velocidades de giro. Soportan cargas radiales y axiales en ambos sentidos, son fáciles de montar y requieren menos mantenimiento que muchos otros tipos de rodamientos.

- Mayor resistencia a los productos químicos y a la corrosión
- Diseño sencillo, versátil y robusto
- Baja fricción y capacidad de alta velocidad
- Soportan cargas radiales y axiales en ambos sentidos
- Requieren poco mantenimiento

Propiedades

Ranuras de llenado	Sin
Cantidad de hileras	1
Elemento de fijación, aro exterior del rodamiento	Ninguna
Tipo de agujero	Cilíndrico
Jaula	Chapa metálica
Disposición ajustada	No
Juego radial interno	CN
Clase de tolerancia	Normal
Material, rodamiento	Acero inoxidable
Recubrimiento	Sin
Sellado	Sin
Lubricante	Ninguna
Característica de relubricación	Sin

Logística

Peso neto del producto	0.0013 kg
Código eClass	23-05-08-01
Código UNSPSC	31171504

Descripción general

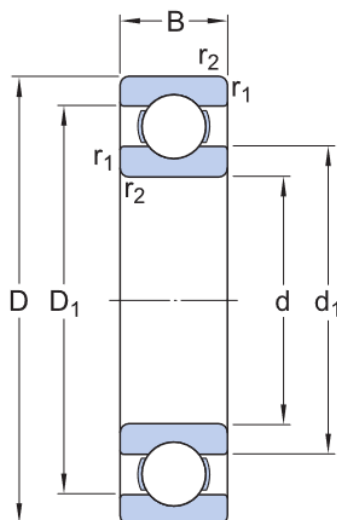
Dimensiones

Diámetro interno	10 mm
Diámetro exterior	15 mm
Ancho	3 mm

Rendimiento

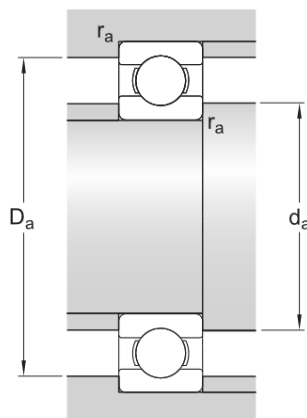
Capacidad de carga dinámica básica	0.488 kN
Capacidad de carga estática básica	0.22 kN
Velocidad de referencia	85 000 r/min
Velocidad límite	56 000 r/min

Especificación técnica



Dimensiones

d	10 mm	Diámetro del agujero
D	15 mm	Diámetro exterior
B	3 mm	Ancho
d_1	≈ 11.21 mm	Diámetro del resalte
D_1	≈ 13.6 mm	Diámetro del resalte
$r_{1,2}$	min. 0.15 mm	Dimensión del chaflán



SISTEMA DE BOMBEO EN VEHICULO AUTONOMO PARA EL MUESTREO DE AGUAS

d_a	min. 11 mm	Diámetro del resalte del eje
D_a	max. 14.5 mm	Diámetro del resalte del soporte
r_a	max. 0.15 mm	Radio del eje o acuerdo del soporte

Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	0.488 kN
Capacidad de carga estática básica	C_0	0.22 kN
Carga límite de fatiga	P_u	0.009 kN
Velocidad de referencia		85 000 r/min
Velocidad límite		56 000 r/min
Factor de carga mínima	k_r	0.015
Factor de cálculo	f_0	8

Clase de tolerancia

Tolerancias dimensionales	Normal
Desviación radial	Normal



Términos de uso

Al visitar y utilizar esta página web/aplicación, publicada por AB SKF (publ.) (556007-3495 · Gotemburgo) ("SKF") y de su propiedad, usted acepta cumplir con los siguientes términos y condiciones:

Limitación de la garantía y de la responsabilidad

Aunque se ha puesto el máximo empeño en asegurar la exactitud de la información incluida en esta página web/aplicación, SKF proporciona dicha información "TAL CUAL", y DENIEGA CUALQUIER GARANTÍA, EXPRESA O IMPLÍCITA, INCLUIDAS, ENTRE OTRAS, LAS GARANTÍAS IMPLÍCITAS DE COMERCIABILIDAD Y APTITUD PARA FINES ESPECÍFICOS. Usted reconoce que utilizará esta página web/aplicación bajo su entera responsabilidad, que asume la responsabilidad absoluta de todos los costos asociados al uso de esta página web/aplicación y que SKF no será responsable de ningún daño directo, incidental, consecuente ni indirecto de ningún tipo, derivado de su acceso a la información o los programas informáticos disponibles en esta página web/aplicación o del uso de estos.

Todas las garantías y manifestaciones incluidas en esta página web/aplicación acerca de los productos o servicios de SKF que usted adquiera o use estarán sujetas a los términos y condiciones acordados en el contrato del producto o servicio en cuestión.

Asimismo, en lo que respecta a las páginas web/aplicaciones no pertenecientes a SKF mencionadas en nuestra página web/aplicación o donde se incluya un hipervínculo, SKF no ofrece garantía alguna respecto de la exactitud o la confiabilidad de la información incluida en dichas páginas web/aplicaciones y no asumirá ninguna responsabilidad sobre el material creado o publicado por terceros incluido en dichas páginas y aplicaciones. Además, SKF tampoco garantiza que esta página web/aplicación ni que esas otras páginas web/aplicaciones vinculadas estén libres de virus u otros elementos perjudiciales.

Servicios de terceros

Cuando mire contenido de YouTube a través de los sitios web de SKF (es decir, utilizando [Servicios API de YouTube](#)), usted acepta los [Términos de servicio de YouTube](#).

Derechos de autor

Los derechos de autor de esta página web/aplicación y el derecho de autor de la información y los programas informáticos disponibles en esta página web/aplicación pertenecen a SKF o a los otorgantes de su autorización de uso. Quedan reservados todos los derechos. Todo el material autorizado para su uso mencionará al otorgante que haya concedido a SKF el derecho a utilizar el material. La información y los programas informáticos disponibles en esta página web/aplicación no podrán reproducirse, duplicarse, copiarse, transmitirse, distribuirse, almacenarse, modificarse, descargarse ni explotarse de ningún otro modo para uso comercial sin la autorización previa por escrito de SKF. No obstante, sí podrán reproducirse, almacenarse y descargarse para su uso por parte de particulares sin la autorización previa por escrito de SKF. En ningún caso se podrá facilitar esta información o programas informáticos a terceros.

Esta página web/aplicación incluye determinadas imágenes que se utilizan bajo licencia de Shutterstock, Inc.

Marcas comerciales y patentes

Todas las marcas comerciales, nombres de marcas y logotipos de empresas que aparecen en la página web/aplicación son propiedad de SKF o de los otorgantes de su autorización de uso, y no podrán ser utilizados de ningún modo sin la autorización previa por escrito de SKF. Todas las marcas comerciales autorizadas publicadas en esta página web/aplicación mencionan al otorgante que haya concedido a SKF el derecho a utilizar la marca comercial. El acceso a esta página web/aplicación no concede al usuario ningún derecho sobre las patentes propiedad de SKF o autorizadas a SKF.

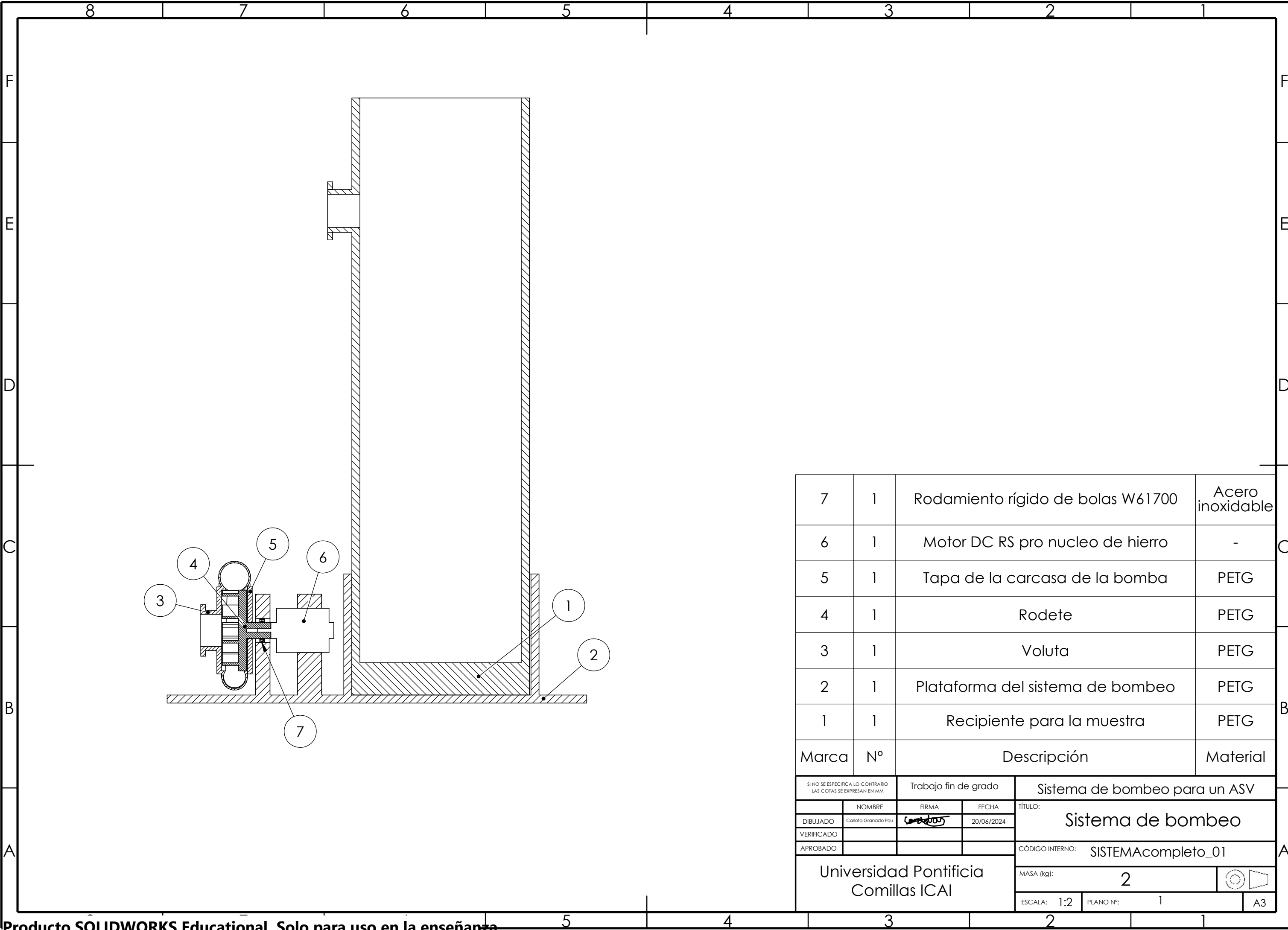
Cambios

SKF se reserva el derecho a introducir cambios o ampliaciones de esta página web/aplicación en cualquier momento.

ANEXO 5: PLANOS DE LA BOMBA CAD

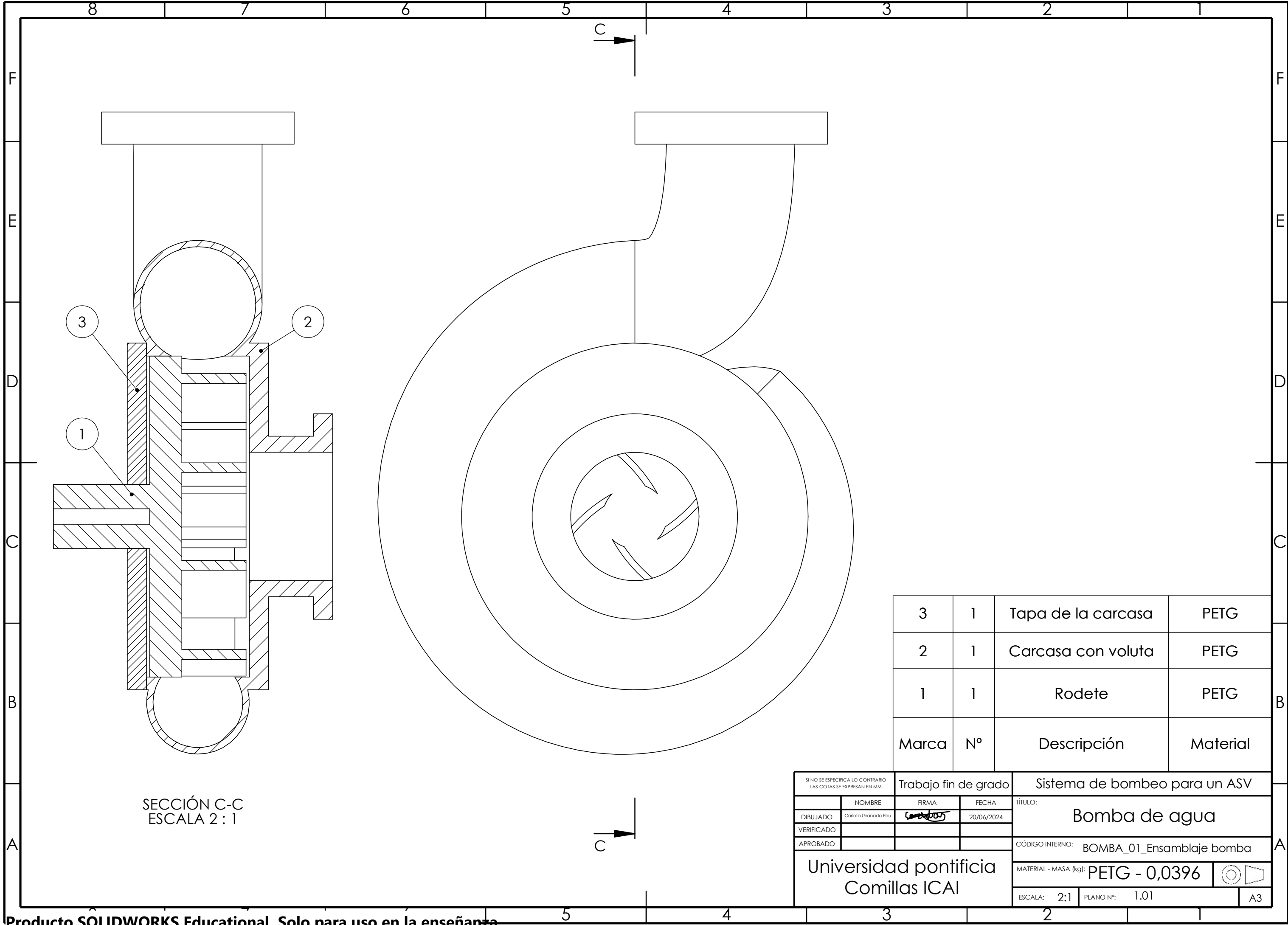
Lista de planos del sistema:

Nº PLANO	DESCRIPCIÓN	Página
1	Conjunto del sistema completo de bombeo para el ASV	120
1.01	Conjunto de la bomba	121
1.01.01	Rodete	122
1.01.02	Voluta	123
1.01.03	Tapa de la carcasa	124
1.02	Plataforma del sistema de bombeo	125
1.03	Recipiente para la toma de muestras	126



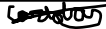
7	1	Rodamiento rígido de bolas W61700	Acero inoxidable
6	1	Motor DC RS pro nucleo de hierro	-
5	1	Tapa de la carcasa de la bomba	PETG
4	1	Rodete	PETG
3	1	Voluta	PETG
2	1	Plataforma del sistema de bombeo	PETG
1	1	Recipiente para la muestra	PETG
Marca	Nº	Descripción	Material

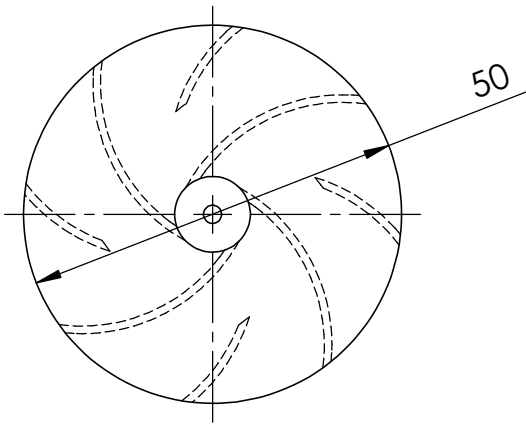
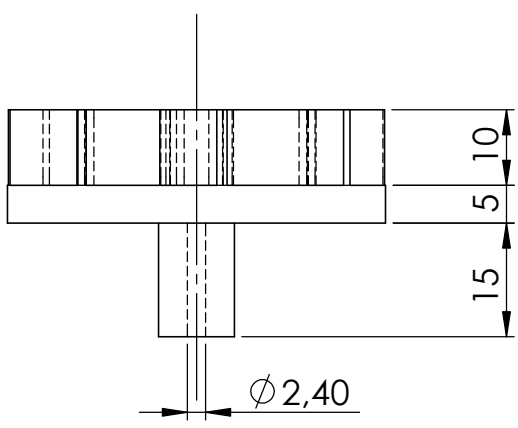
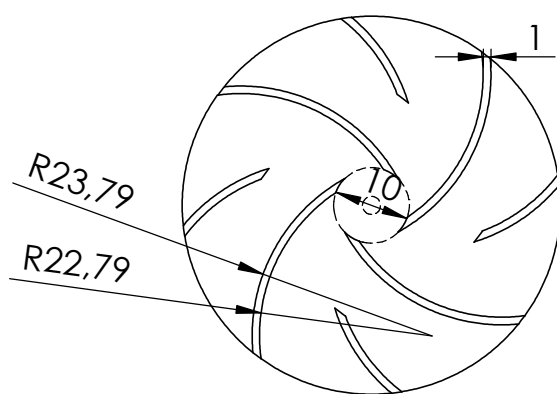
SI NO SE ESPECIFICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		Trabajo fin de grado		Sistema de bombeo para un ASV	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJADO	Carlota Granado Pou		20/06/2024	Sistema de bombeo	
VERIFICADO				CÓDIGO INTERNO: SISTEMAcompleto_01	
APROBADO				MASA (kg): 2	
Universidad Pontificia Comillas ICAI				ESCALA: 1:2	PLANO Nº: 1
					A3



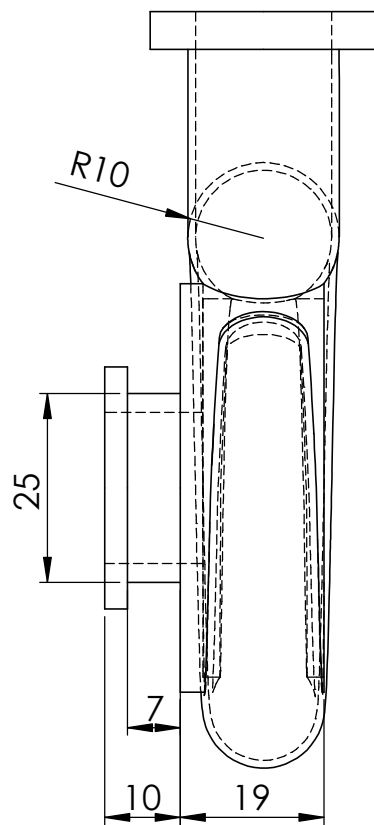
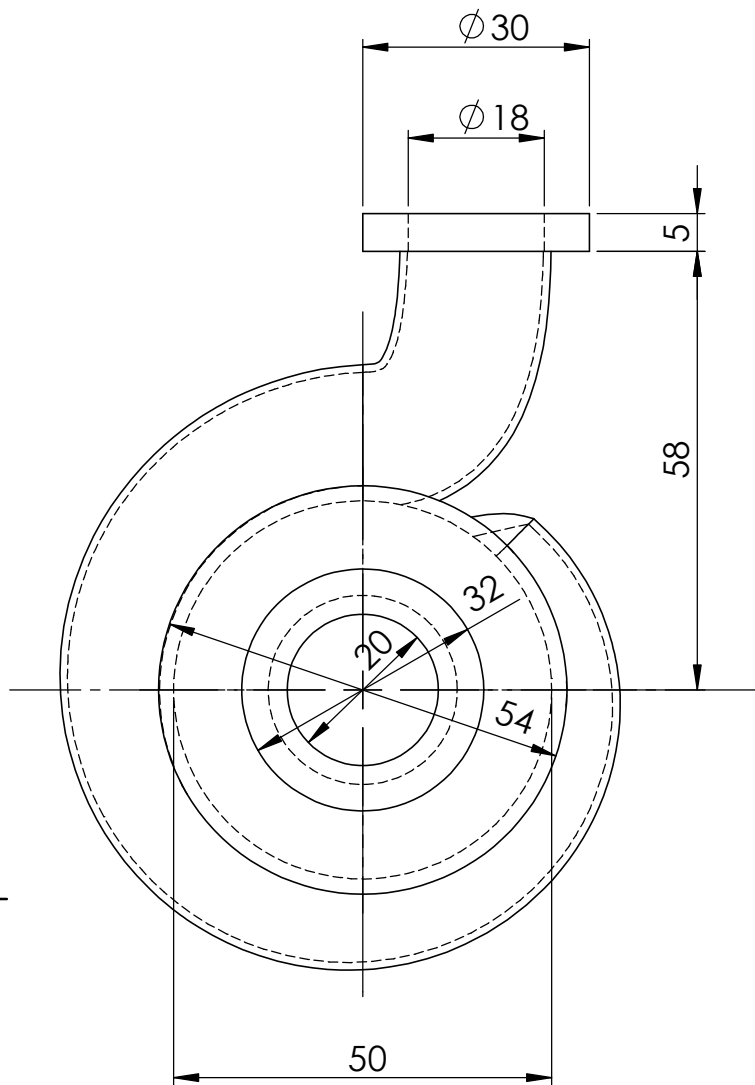
SECCIÓN C-C
ESCALA 2 : 1

3	1	Tapa de la carcasa	PETG
2	1	Carcasa con voluta	PETG
1	1	Rodete	PETG
Marca	Nº	Descripción	Material

SI NO SE ESPECIFICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		Trabajo fin de grado		Sistema de bombeo para un ASV	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJADO	Carlota Granado Pou		20/06/2024	Bomba de agua	
VERIFICADO				CÓDIGO INTERNO: BOMBA_01_Ensamblaje bomba	
APROBADO				MATERIAL - MASA (kg): PETG - 0,0396	
Universidad pontificia Comillas ICAI					
				ESCALA: 2:1	PLANO Nº: 1.01



SI NO SE ESPECIFICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		Trabajo fin de grado		Sistema de bombeo para un ASV	
NOMBRE		FIRMA		TÍTULO:	
DIBUJADO	Carlota Granado Pou			Rodete	
VERIFICADO				CÓDIGO INTERNO:	
APROBADO				RD03_Rodete	
Universidad Pontificia Comillas ICAI				MATERIAL - MASA (kg):	
				PETG - 0,0125	
ESCALA: 1:1				PLANO Nº: 1.01.01	
				A4	



SI NO SE ESPECIFICA LO CONTRARIO
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

Trabajo fin de grado

Sistema de bombeo para un ASV

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJADO	Carlota Granado Pou		19/06/2024
VERIFICADO			
APROBADO			

TÍTULO:

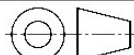
Voluta

CÓDIGO INTERNO:

SDF05_sistema difusor

MATERIAL - MASA (kg):

PETG - 0,0199



ESCALA:

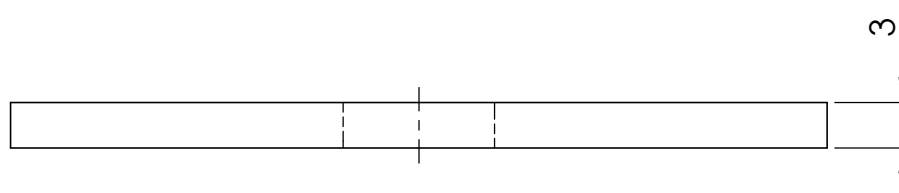
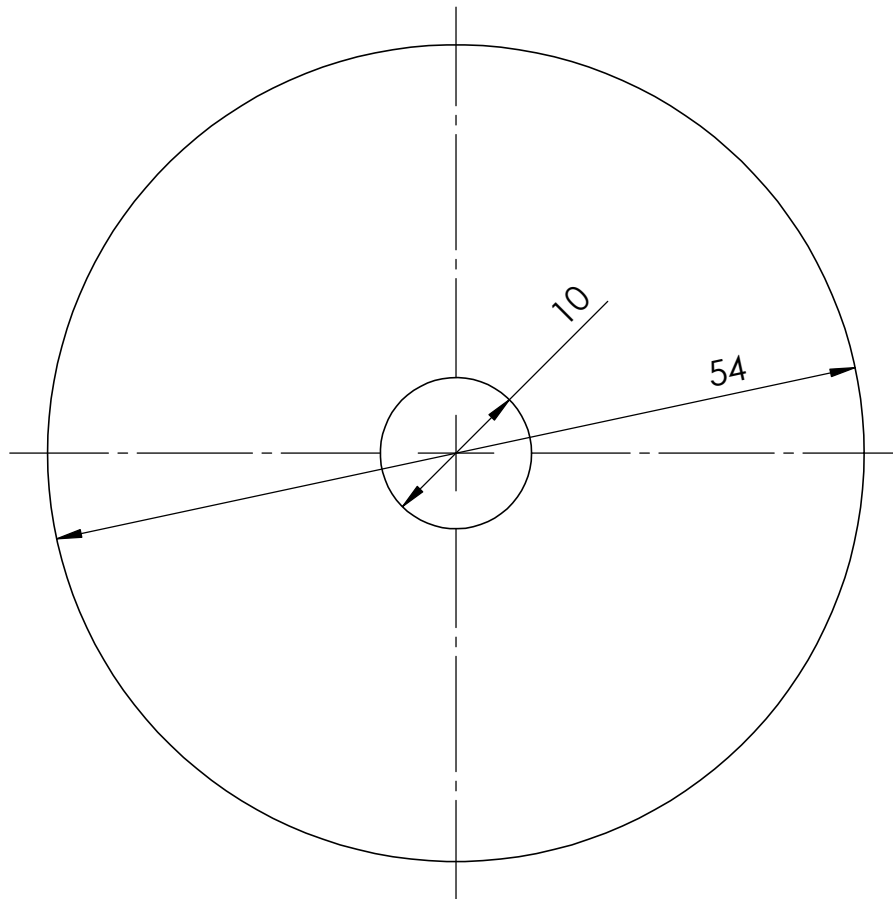
1:1

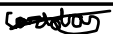
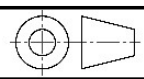
PLANO N°:

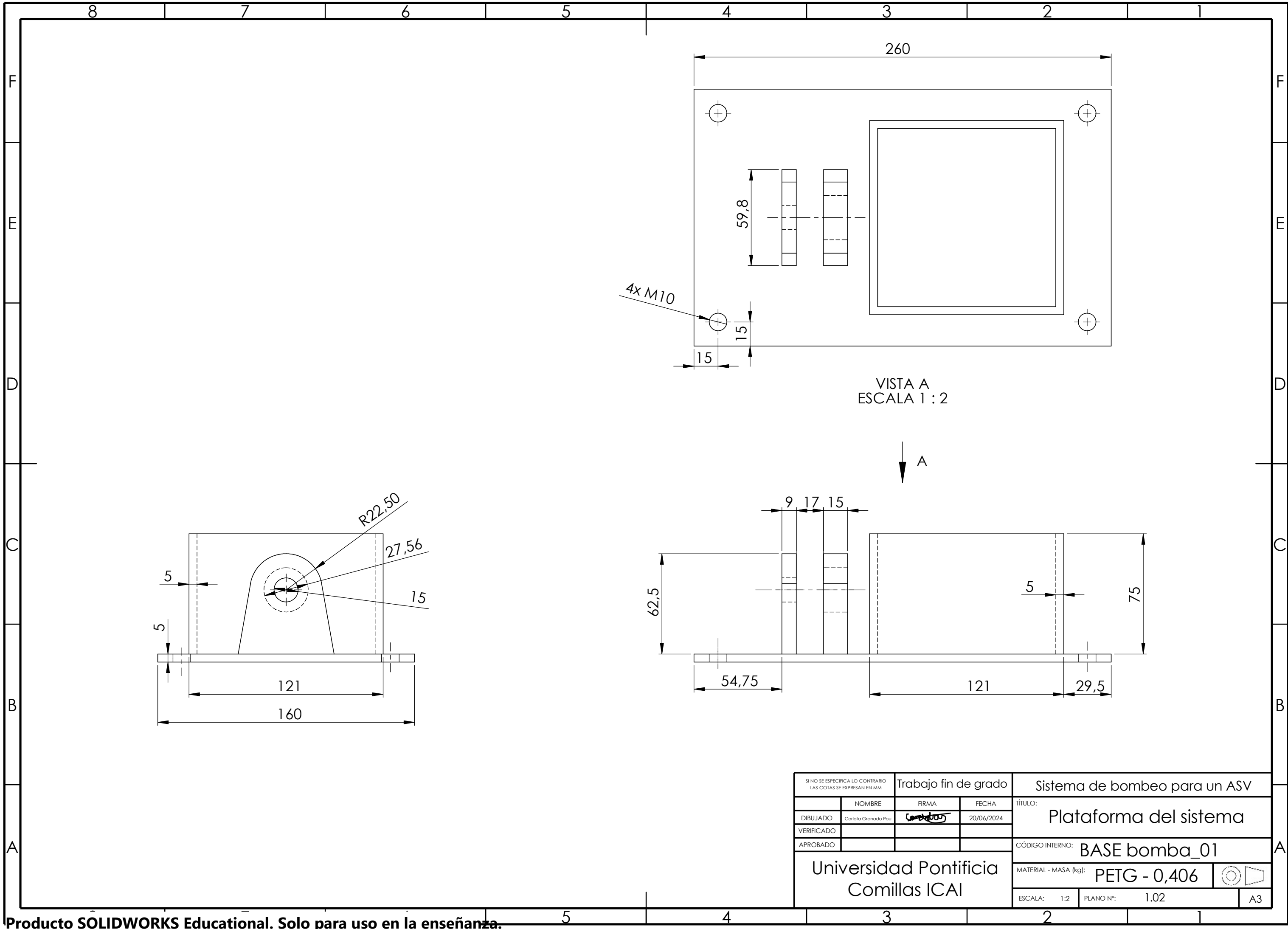
1.01.02

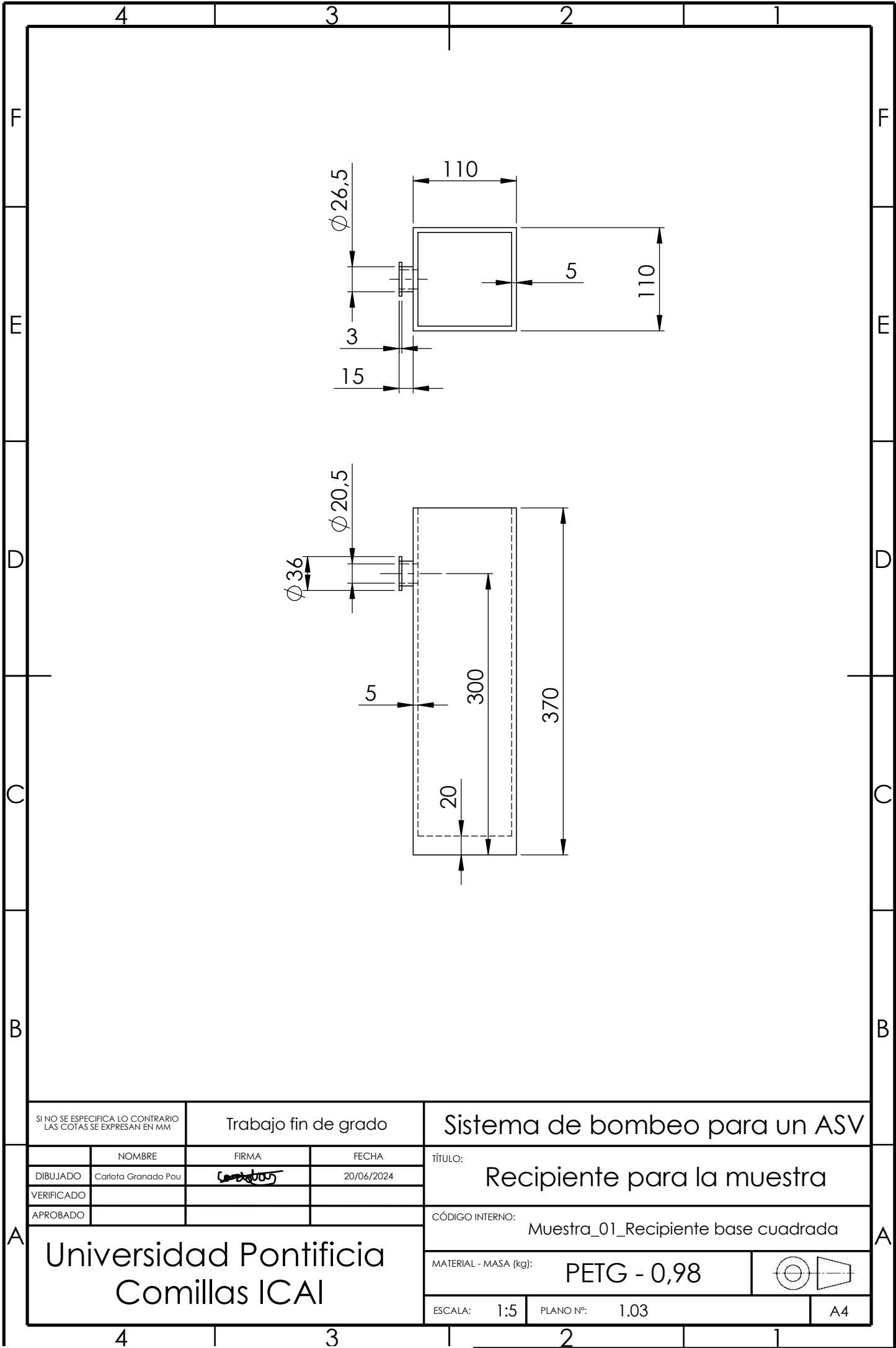
A4

Universidad Pontificia
Comillas ICAI



SI NO SE ESPECIFICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		Trabajo fin de grado		Sistema de bombeo para un ASV	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	Tapa de la carcasa de la bomba
DIBUJADO	Carlota Granado Pou		19/06/2024		
VERIFICADO					
APROBADO				CÓDIGO INTERNO:	TAPA_01_tapa carcasa
Universidad pontificia Comillas ICAI				MATERIAL - MASA (kg): PETG -0,00664	
					
ESCALA: 2:1		PLANO N°: 1.01.03		A4	

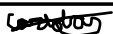




SI NO SE ESPECIFICA LO CONTRARIO
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

Trabajo fin de grado

Sistema de bombeo para un ASV

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJADO	Carlota Granado Pou		20/06/2024
VERIFICADO			
APROBADO			

TÍTULO:
Recipiente para la muestra

CÓDIGO INTERNO:
Muestra_01_Recipiente base cuadrada

Universidad Pontificia
Comillas ICAI

MATERIAL - MASA (kg):	PETG - 0,98	
ESCALA:	1:5	PLANO Nº: 1.03
		A4