



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

Especialidad Mecánica

**DESARROLLO Y DIMENSIONAMIENTO  
DE UN DISPOSITIVO DE  
APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA  
DE LAS OLAS (UNDIMOTRIZ) PARA EL  
ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE  
UNA POBLACIÓN COSTERA**

Autor: Jaime Ruiz Quirante

Director: María del Mar Cledera Castro

Director: Pilar Palomar Herrero

Madrid

Julio 2018



## **AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO**

### ***1ª. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.***

El autor D. Jaime Ruiz Quirante

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra:

Desarrollo y dimensionamiento de un dispositivo de aprovechamiento de la energía de las olas (undimotriz) para el abastecimiento energético de una población, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

### ***2ª. Objeto y fines de la cesión.***

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor CEDE a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

### ***3ª. Condiciones de la cesión y acceso***

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar "marcas de agua" o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducir la en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

### ***4ª. Derechos del autor.***

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

### ***5ª. Deberes del autor.***

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.

- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vicen infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

**6°. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.**

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 11 de julio de 2018

**ACEPTA**

Fdo. JAIPE RUIZ QUIRANTE



Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
Desarrollo y dimensionamiento de un  
dispositivo de aprovechamiento de la energía de las olas (undimotriz) para el  
abastecimiento energético de una población costera  
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2017-2018 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.: Jaime Ruiz Quirante

Fecha: 09/07/2018



Autorizada la entrega del proyecto  
LAS DIRECTORAS DEL PROYECTO



Fdo.: Maria del Mar Cledera Castro

Fecha: 09/07/2018



Fdo.: Pilar Palomar Herrero

Fecha: 09/07/2018





ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

Especialidad Mecánica

**DESARROLLO Y DIMENSIONAMIENTO  
DE UN DISPOSITIVO DE  
APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA  
DE LAS OLAS (UNDIMOTRIZ) PARA EL  
ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE  
UNA POBLACIÓN COSTERA**

Autor: Jaime Ruiz Quirante

Director: María del Mar Cledera Castro

Director: Pilar Palomar Herrero

Madrid

Julio 2018





# DESARROLLO Y DIMENSIONAMIENTO DE UN DISPOSITIVO DE APRORVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA DE LAS OLAS (UNDIMOTRIZ) PARA EL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE UNA POBLACIÓN

**Autor: Ruiz Quirante, Jaime**

Directora: Cledera Castro, María del Mar

Directora: Palomar Herrero, Pilar

Entidad Colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

## RESUMEN DEL PROYECTO

### 1. Introducción

La contaminación atmosférica y el cambio climático son problemas que afectan a toda la población. Durante las últimas décadas, se han ido desarrollando diferentes formas de extraer energía del medio sin perjudicarlo. Una de estas energías es la energía undimotriz.

Actualmente, los dispositivos que obtienen energía de las olas no se encuentran muy desarrollados y la energía máxima que se puede obtener es muy pequeña en comparación con otras energías renovables como la solar o la eólica. No obstante, el potencial existente en los océanos es del orden de los 2 TW [1].

El objetivo principal del proyecto es diseñar un sistema OWC (Columna Oscilante de Agua) para abastecer energéticamente a Bermeo, Guipúzcoa.

Dentro de los diferentes dispositivos de conversión de energía a partir de las olas, los dispositivos OWC, que emplean turbinas neumáticas generalmente de tipo Wells, se encuentran más desarrollados y tienen un buen rendimiento a la hora de extraer energía del medio. Además de contribuir al desarrollo de la tecnología OWC, este proyecto busca aprovechar el flujo energético disponible en el Mar Cantábrico. Junto con las islas canarias, la costa del Mar Cantábrico presenta el potencial undimotriz más alto de las Península ibérica.

Por otro lado, este proyecto busca aumentar el porcentaje energía limpia generada en España, y, con ello, eliminar la dependencia energética.

## 2. Metodología

Primeramente, se ha llevado a cabo la elección de la tecnología undimotriz que se va a emplear en la central. Tras un estudio de los diferentes dispositivos que existen, la tecnología OWC es la que más desarrollada se encuentran en la actualidad. Además, como se ha comentado en la introducción, permite aprovechar un espacio ya edificado en la costa para la instalación de la central. Por otro lado, al no existir un contacto directo entre los componentes de la central y el agua, permite que la duración de éstos sea mayor.

Una vez seleccionada la tecnología, se ha buscado un emplazamiento. Al tratarse de una tecnología en desarrollo, se ha buscado un dique lo suficientemente largo como para poder ampliar la central en un futuro cuando la conversión de energía sea mucho más eficiente. Por lo tanto, se ha seleccionado el municipio de Bermeo para su instalación. La ubicación de la central será en la zona más alejada del dique de abrigo del puerto de Bermeo.

Para poder dimensionar y diseñar la central es necesario conocer el consumo energético de Bermeo para saber la cantidad de energía que se debe suministrar. Según el IDAE, el consumo medio por hogar en la zona del Atlántico de 0,799 tep [2]. Bermeo tiene 16.766 habitantes [3], por lo que el consumo procedente de los hogares es muy elevado como para poder satisfacerlo con la planta undimotriz. Es por ello, que basándonos en los datos de la auditoria de ACC sobre el consumo del alumbrado público de Bermeo se ha decidido que la central suministrará la energía necesaria para el alumbrado de la ciudad.

Una vez establecida la demanda energética de la población, es necesario conocer el recurso disponible en la zona para comprobar si es viable o no la implantación de una central undimotriz. Para el cálculo del flujo energético se necesitan conocer los valores de altura y periodo de las olas. Estos datos se han obtenido a partir de Puertos del Estado y se ha realizado una media de los datos procedentes de los últimos veinte años.

Para el dimensionamiento de la turbina, se ha partido de los números adimensionales establecidos por Curran y Gato en 1997 [5] y de un diámetro exterior de 1 metro, para que la turbina sea fácil de transportar y desmontar para que exista la posibilidad de ensayar nuevas turbinas en la central. A partir de dichos datos se ha obtenido el ángulo de ataque y el número de Reynolds del perfil simétrico NACA 0018.

Para el diseño del dique nos hemos basado en los planos del dique de abrigo de Bermeo facilitados por el Gobierno Vasco [6]. El número de cámaras OWC que habrá disponibles en la central será de 19. Este número se ha obtenido basándonos en los datos geométricos de la central de Mutriku.

### 3. Resultados

A partir de los datos de altura y periodo de las olas, obtenemos un potencial undimotriz medio en la zona costera de Bermeo de 7,31 kW/m. Este resultado ha sido comparado con los datos facilitados por el EVE (Ente Vasco de Energía) y se observa que, aunque el recurso energético en Bermeo es algo menor, la implantación de la central es viable a nivel de potencial disponible.

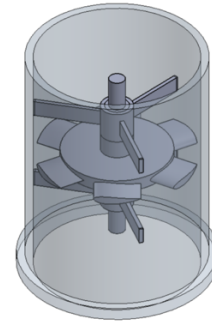
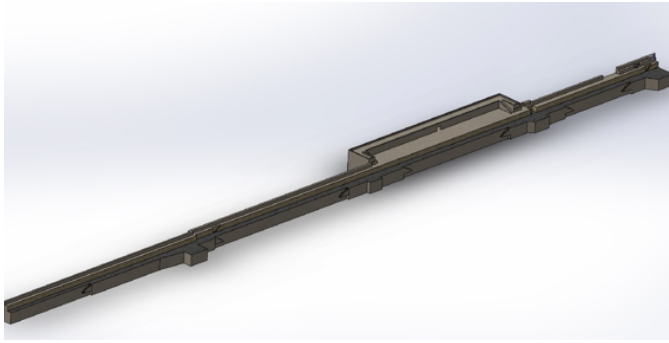
	<b>Bermeo</b>	<b>Mutriku</b>
<b>Potencial Medio en Invierno</b>	13,54kW/m	18 kW/m
<b>Potencial Medio en Primavera</b>	6,17kW/m	8,3 kW/m
<b>Potencial Medio en verano</b>	2,30 kW/m	4,8 kW/m
<b>Potencial Medio en otoño</b>	7,22 kW/m	9,2 kW/m

Por otro lado, una vez realizado un estudio sobre los posibles impactos que puede generar la central en el medio, se obtiene que la planta undimotriz podría generar algún efecto en el medio ambiente durante la fase de construcción, pero no durante la fase de operación de la central.

Una vez que se han obtenido la cuerda y el ángulo de ataque del álabe, se ha realizado una comprobación de la turbina con los valores reales de altura y periodo de las olas. A continuación, se muestran la potencia útil que se obtiene en la central, y se observa como en invierno la demanda energética del alumbrado público de la población se puede satisfacer.

<b>Periodo del año</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Periodo (s)</b>	<b>U(m/s)</b>	<b>Potencia útil por turbina (kW)</b>
Invierno	1,82	8,28	13,14	17,80
Primavera	1,30	7,02	11,05	10,57
Verano	0,90	5,72	9,37	6,40
Otoño	1,37	7,48	10,94	10,26

En cuanto al diseño y dimensionamiento de la central, el diseño del dique en SolidWorks se ha realizado basándonos en los planos originales del dique de abrigo facilitados por el Gobierno Vasco [6]. Una vez recreado el dique original, se ha añadido la central. Por otro lado, el diseño de la turbina se ha realizado a partir de los datos geométricos obtenidos y extrapolando las coordenadas de un perfil NACA 0018 con una cuerda de 280 mm.



## 4. Conclusiones

Actualmente, la energía undimotriz no es una alternativa real de los combustibles fósiles. No obstante, una vez que la tecnología se encuentre consolidada y completamente desarrollada, su generación eléctrica será un recurso necesario en la lucha contra el cambio climático.

El mayor inconveniente de este tipo de centrales es la gran inversión que necesitan, ya que se requiere una obra civil de grandes dimensiones para poder llevarlo a cabo. Además, al estar emplazado en la costa, el recurso energético es menor que en mar abierto ya que se producen pérdidas de energía debido al contacto de la ola con el fondo marino.

Por otro lado, una de las ventajas de este tipo de instalaciones es que la fabricación de una turbina Wells es más fácil y más barata que otros dispositivos undimotrices. Además, como su tamaño no es muy grande, se pueden transportar de manera sencilla. Por último, al tener una central ya construida, ésta se puede emplear también como laboratorio para ensayar nuevas turbinas o componentes que mejoren la eficiencia en la conversión de energía.



## 5. Referencias

- [1] Joao Cruz, Ocean Wave Energy Current Status and Future Prepectives, Springer, 2010.
- [2] IDAE, Consumos del Sector Residencial en España Resumen de Información Básica
- [3] Eustat, Instituto Vasco de Estadística, Bermeo, [http://www.eustat.eus/municipal/datos\\_estadisticos/bermeo\\_c.html](http://www.eustat.eus/municipal/datos_estadisticos/bermeo_c.html)
- [4] AAC Acústica, Informe Técnico, Auditoria energética y lumínica del alumbrado exterior público en Bermeo, 29 de septiembre de 2011.
- [5] R. Curran, L.M.C. Gato, The energy conversion performance of several types of Wells turbine designs, 1997.
- [6] Departamento de Desarrollo Económico e Infraestructuras, Puerto de Bermeo (Vizcaya), <http://www.euskadi.eus/informacion/puerto-de-bermeo-vizcaya/web01-a2garrai/es/>



# DEVELOPMENT AND DIMENSIONING OF A DEVICE FOR THE USE OF THE WAVE ENERGY FOR THE ENERGETIC SUPPLY OF A POPULATION

**Author: Ruiz Quirante, Jaime**

Director: Cledera Castro, María del Mar

Director: Palomar Herrero, Pilar

Collaborating Entity: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

## PROJECT SUMMARY

### 1. Introduction

Air pollution and climate change are problems that affect the entire population. During the last decades, different ways of extracting energy from the environment have been developed without harming it. One of these energies is wave energy.

Currently, the devices that obtain energy from the waves are not very developed and the maximum energy that can be obtained is very small in comparison with other renewable energies such as solar or wind. However, the potential in the oceans is of the order of 2 TW.

The main objective of the project is to design an OWC system (Oscillating Water Column) to supply energy to Bermeo, Guipúzcoa.

Among the different devices for converting energy from the waves, OWC devices, which use pneumatic turbines, generally of Wells type, are more developed and have a good performance when extracting energy from the medium. In addition to contributing to the development of OWC technology, this project seeks to take advantage of the energy flow available in the Cantabrian Sea. Together with the Canary Islands, the Cantabrian Sea coast has the highest wave potential of the Iberian Peninsula.

On the other hand, this project seeks to increase the percentage of clean energy generated in Spain, and thereby eliminate energy dependence.

## 2. Methodology

Firstly, the choice of wave technology that will be used in the plant has been carried out. After a study of the different existing devices, the OWC technology is the most developed one at present. In addition, as mentioned in the introduction, it allows to take advantage of a space already built on the coast for the installation of the plant. On the other hand, as there is no direct contact between the components of the plant and the water, it allows the duration of these to be longer.

Once the technology has been selected, a location has been searched. Being a technology in development, we have sought a dam long enough to expand the plant in the future when the energy conversion is much more efficient. Therefore, the municipality of Bermeo has been selected for its installation. The location of the plant will be in the area farthest from the breakwater of the port of Bermeo.

To be able to size and design the power station, it is necessary to know the energy consumption of Bermeo to know the amount of energy that must be supplied. According to the IDAE, the average consumption per household in the Atlantic area of 0,799 tep [2]. Bermeo has 16,766 inhabitants [3], so the consumption from homes is very high to be able to satisfy it with the wave plant. That is why, based on the data from the ACC audit on the consumption of public lighting in Bermeo, it has been decided that the power plant will supply the necessary energy for the lighting of the city.

Once the energy demand of the population is established, it is necessary to know the available resource in the area to check whether the implantation of a wave power plant is viable or not. To calculate the energy flow, it is necessary to know the height and period values of the waves. These data have been obtained from Puertos del Estado and an average of the data from the last twenty years has been made.

For the sizing of the turbine, we started with the dimensionless numbers established by Curran and Gato in 1997 [5] and with an outside diameter of 1 meter, so that the turbine is easy to transport and dismantle so that there is the possibility of testing new turbines in the plant. The angle of attack and the Reynolds number of the symmetric profile NACA 0018 were obtained from said data.

For the design of the breakwater, we relied on the plans of the Bermeo breakwater provided by the Basque Government [6]. The number of OWC cameras that will be available in the plant will be 19. This number has been obtained based on the geometrical data of the Mutriku plant.



### 3. Results

From the height and period data of the waves, we obtain an average wave potential in the coastal area of Bermeo of 7.31 kW / m. This result has been compared with the data provided by the EVE (Basque Energy Agency) and it is observed that, although the energy resource in Bermeo is somewhat lower, the implementation of the plant is viable at the level of available potential.

	<b>Bermeo</b>	<b>Mutriku</b>
<b>Potencial Medio en Invierno</b>	13,54kW/m	18 kW/m
<b>Potencial Medio en Primavera</b>	6,17kW/m	8,3 kW/m
<b>Potencial Medio en verano</b>	2,30 kW/m	4,8 kW/m
<b>Potencial Medio en otoño</b>	7,22 kW/m	9,2 kW/m

Once a study has been carried out on the possible impacts that the plant can generate in the environment, it is obtained that the wave power plant could generally have an effect on the environment during the construction phase, but not during the operation phase of the plant.

Once the chord length and the angle of attack of the blade have been obtained, a turbine check has been made with the real values of height and period of the waves. Then, the useful potential obtained in the plant is shown, and it is observed that in winter the energy demand of the public lighting of the population can be satisfied.

<b>Periodo del año</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Periodo (s)</b>	<b>U(m/s)</b>	<b>Potencia útil por turbina (kW)</b>
Invierno	1,82	8,28	13,14	17,80
Primavera	1,30	7,02	11,05	10,57
Verano	0,90	5,72	9,37	6,40
Otoño	1,37	7,48	10,94	10,26

Regarding the design and sizing of the plant, the design of the breakwater in SolidWorks has been made based on the original plans of the breakwater provided by the Basque Government [6]. Once the original dike has been recreated, the central one has been added. On the other hand, the design of the turbine was made from the geometrical data obtained and extrapolating the coordinates of a NACA 0018 profile with a 280 mm chord.

## 4. Conclusions

Currently, wave energy is not a real alternative to fossil fuels. No obstante, once the technology is consolidated and fully developed, its power generation will be a necessary resource in the fight against climate change.

The biggest drawback of this type of power plant is the large investment that they need, since a large civil work is required to carry it out. In addition, being located on the coast, the energy resource is lower than in the open sea because energy losses occur due to the contact of the wave with the seabed.

On the other hand, one of the advantages of this type of facilities is that the manufacture of a Wells turbine is easier and cheaper than other wave devices. In addition, as their size is not very large, they can be transported easily. Finally, having an already built plant, it can also be used as a laboratory to test new turbines or components that improve energy conversion efficiency.

## 5. References

- [1] Joao Cruz, Ocean Wave Energy Current Status and Future Prepectives, Springer, 2010.
- [2] IDAE, Consumos del Sector Residencial en España Resumen de Información Básica
- [3] Eustat, Instituto Vasco de Estadística, Bermeo, [http://www.eustat.eus/municipal/datos\\_estadisticos/bermeo\\_c.html](http://www.eustat.eus/municipal/datos_estadisticos/bermeo_c.html)
- [4] AAC Acústica, Informe Técnico, Auditoria energética y lumínica del alumbrado exterior público en Bermeo, 29 de septiembre de 2011.
- [5] R. Curran, L.M.C. Gato, The energy conversion performance of several types of Wells turbine designs, 1997.
- [6] Departamento de Desarrollo Económico e Infraestructuras, Puerto de Bermeo (Vizcaya), <http://www.euskadi.eus/informacion/puerto-de-bermeo-vizcaya/web01-a2garrai/es/>

# **DOCUMENTO 1**

## **MEMORIA**





# Índice

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>21</b>
<b>1.1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>21</b>
1.2.	MOTIVACIÓN .....	22
1.3.	OBJETIVOS.....	23
<b>2.</b>	<b>TEORÍA DE LA ENERGÍA UNDIMOTRIZ .....</b>	<b>25</b>
2.1.	ORIGEN DE LA ENERGÍA UNDIMOTRIZ .....	25
2.2.	LAS OLAS.....	26
2.2.1.	<i>Tipos de olas .....</i>	<i>26</i>
2.2.2.	<i>Olas de viento .....</i>	<i>27</i>
2.3.	POTENCIAL UNDIMOTRIZ .....	29
2.4.	CLASIFICACIÓN DE CONVERSORES.....	32
2.4.1.	<i>Según distancia a la costa .....</i>	<i>32</i>
2.4.1.1.	Dispositivos Onshore.....	32
2.4.1.2.	Dispositivos Nearshore.....	32
2.4.1.3.	Dispositivos Offshore.....	33
2.4.2.	<i>Según geometría.....</i>	<i>34</i>
2.4.2.1.	Absorbedores puntuales.....	34
2.4.2.2.	Atenuadores .....	34
2.4.2.3.	Terminadores.....	34
2.4.3.	<i>Según el sistema de conversión.....</i>	<i>35</i>
2.4.3.1.	Turbina neumática .....	35
2.4.3.2.	Circuito hidráulico .....	35
2.4.3.3.	Turbina hidráulica .....	36
2.4.3.4.	Transmisión mecánica directa.....	36
2.4.4.	<i>Según el principio de captación.....</i>	<i>38</i>
2.4.4.1.	Columna Oscilante de Agua .....	38
2.4.4.2.	Rebosamiento .....	40
2.4.4.3.	Movimiento oscilatorio.....	42
2.4.4.3.1.	Movimiento vertical flotante .....	43
2.4.4.3.2.	Movimiento vertical sumergido .....	45
2.4.4.3.3.	Movimiento articulado flotante .....	45
2.4.4.3.4.	Movimiento articulado sumergido .....	46
2.4.5.	<i>Resumen de la clasificación de los dispositivos.....</i>	<i>49</i>
2.5.	VENTAJAS E INCONVENIENTES. ....	51
<b>3.</b>	<b>SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA .....</b>	<b>53</b>
3.1.	JUSTIFICACIÓN .....	53
3.2.	SITUACIÓN ACTUAL DE DISPOSITIVOS OWC.....	53
3.2.1.	<i>Planta de LIMPET .....</i>	<i>54</i>
3.2.2.	<i>Planta de Mutriku .....</i>	<i>55</i>
3.2.3.	<i>Planta de Pico .....</i>	<i>56</i>
<b>4.</b>	<b>EMPLAZAMIENTO. ....</b>	<b>57</b>

<b>5.</b>	<b>CÁLCULOS .....</b>	<b>59</b>
5.1.	DEMANDA ENERGÉTICA.....	59
5.2.	POTENCIAL UNDIMOTRIZ.....	62
5.3.	DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA CENTRAL .....	68
5.3.1.	<i>Puerto de Bermeo .....</i>	68
5.3.2.	<i>Modificación del dique .....</i>	70
5.3.3.	<i>Turbina Wells.....</i>	73
5.3.3.1.	Estudio aerodinámico.....	73
5.3.3.2.	Análisis adimensional .....	75
5.3.4.	<i>Diseño turbina.....</i>	76
5.3.5.	<i>Comprobación de la turbina con datos reales.....</i>	82
5.3.6.	<i>Resumen de las medidas de la cámara y las turbinas .....</i>	84
5.3.7.	<i>Diseño de la turbina .....</i>	85
<b>6.</b>	<b>EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL.....</b>	<b>87</b>
6.1.	INTRODUCCIÓN .....	87
6.2.	MARCO LEGAL .....	87
6.3.	INVENTARIO AMBIENTAL .....	89
6.3.1.	<i>Medio físico.....</i>	89
6.3.1.1.	Geología .....	89
6.3.1.2.	El paisaje.....	90
6.3.1.3.	Climatología.....	90
6.3.2.	<i>Medio Biótico.....</i>	91
6.3.2.1.	Flora .....	91
6.3.2.2.	Fauna.....	91
6.3.3.	<i>Medio Socioeconómico.....</i>	92
6.3.3.1.	Actividad Pesquera.....	92
6.3.3.2.	Agricultura .....	92
6.3.3.3.	Ganadería .....	92
6.3.3.4.	Turismo.....	93
6.4.	VALORACIÓN DE IMPACTOS .....	94
6.4.1.	<i>Afección a la geología .....</i>	94
6.4.2.	<i>Afección a la hidrodinámica.....</i>	94
6.4.3.	<i>Afección a calidad del agua .....</i>	94
6.4.4.	<i>Afección a la ictiofauna .....</i>	95
6.4.5.	<i>Afección a la avifauna .....</i>	95
6.4.6.	<i>Afección a la pesca.....</i>	95
6.4.7.	<i>Afección al paisaje.....</i>	96
6.4.8.	<i>Afección a los recursos arqueológicos subacuáticos .....</i>	96
6.4.9.	<i>Afección a la actividad portuaria .....</i>	96
6.4.10.	<i>Efectos positivos de la central .....</i>	96
6.5.	MEDIDAS CORRECTORAS .....	99
6.6.	PLAN DE VIGILANCIA AMBIENTAL .....	101
6.6.1.	<i>Fase de replanteamiento.....</i>	101
6.6.2.	<i>Fase de obras.....</i>	101
6.6.3.	<i>Fase de funcionamiento .....</i>	101
6.6.4.	<i>Fase de retirada .....</i>	102
6.6.5.	<i>Cambios en la planificación .....</i>	102

6.6.6. Registro y trazabilidad.....	102
6.7. CONCLUSIONES.....	103
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>109</b>
TABLAS DE DATOS DE ALTURA SIGNIFICATIVA EN BERMEO.....	109
TABLAS DE DATOS DE PERIODO EN BERMEO .....	111
COORDENADAS (X,Y) DEL PERFIL NACA 0018.....	113



# Índice de imágenes

<i>Ilustración 1: Esquema Marmotor Barrufet [fuente: alpoma.net, enero 2013]</i> .....	25
<i>Ilustración 2: Generación de las olas de viento [fuente: Fernández Díez]</i> .....	27
<i>Ilustración 3: Características de una ola corta [fuente: Fernández Díez, 2002]</i> .....	28
<i>Ilustración 4: Energía de las olas [fuente: Center for Renewable Energy Sources, 2006]</i> .....	28
<i>Ilustración 5: Movimiento de las moléculas en las olas [fuente: Masmar.net, 17 noviembre 2013]</i> .....	29
<i>Ilustración 6: Potencial Undimotriz Mundial [fuente: Center for Renewable Energy Sources, 2006]</i> .....	30
<i>Ilustración 7: Potencial Undimotriz Mundial [fuente: Joao Cruz, 2010]</i> .....	30
<i>Ilustración 8: factor de planta del potencial undimotriz [fuente: Joao Cruz, 2010]</i> .....	31
<i>Ilustración 9: Dispositivos según su ubicación [fuente: Tecnalía, Energías de las olas: situación y futuro]</i> .....	33
<i>Ilustración 10: Dispositivos según su geometría [fuente: Tecnalía, Energías de las olas: situación y futuro]</i> .....	34
<i>Ilustración 11: Sistema OWC en la línea de costa [fuente: energyconsulting.wordpress.com]</i> .....	38
<i>Ilustración 12: Sistema OWC flotante [fuente: Falcão, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010]</i> .....	39
<i>Ilustración 13: Dispositivo MK1 [fuente: Oregon State University]</i> .....	39
<i>Ilustración 14: Esquema Wave Dragon, Sistema de Rebosamiento [fuente: Joao Cruz, 2010]</i> .....	40
<i>Ilustración 15: Plano de Wave Dragon [fuente: Falcão, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010]</i> .....	41
<i>Ilustración 16: Sistema Wave Dragon en Dinamarca [researchgate.net]</i> .....	41
<i>Ilustración 17: Plano Tapchan [Falcão, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010]</i> .....	41
<i>Ilustración 18: Sistema Tapchan [textoscientificos.com]</i> .....	41
<i>Ilustración 19: Movimientos relativos provocados por el oleaje [INABENSA, Universidad de Sevilla]</i> .....	42
<i>Ilustración 20: Sistema PowerBouy [fuente: oceanpowertechologies.com]</i> .....	43
<i>Ilustración 21: Funcionamiento WaveBob [fuente: deepreachtech.com]</i> .....	44
<i>Ilustración 22: Sistema WaveBob [fuente: sysla.no]</i> .....	44
<i>Ilustración 23: Sistema AquaBouy [waterpowermagazine.com]</i> .....	44
<i>Ilustración 24: Dispositivo AWS II [awsocan.com]</i> .....	45
<i>Ilustración 25: Dispositivo AWS [center for renewable energies, 2006]</i> .....	45
<i>Ilustración 26: Sistema Pelamis [centre for renewable energies, 2006]</i> .....	45
<i>Ilustración 27: Movimientos del dispositivo Pelamis (Vistas: planta y alzado) [Joao Cruz, 2008]</i> .....	46
<i>Ilustración 28: Dispositivo WEPTOS [weptos.com]</i> .....	46
<i>Ilustración 29: Sistema WaveRoller [aw-energy.com]</i> .....	47
<i>Ilustración 30: Dispositivo Oyster [reuk.co.uk]</i> .....	47
<i>Ilustración 31: Dispositivo BioWave [bps.energy/biowave]</i> .....	48
<i>Ilustración 32: Dispositivo O-Drive [bps.energy]</i> .....	48
<i>Ilustración 33: Planta de LIMPET [fuente: wavepower.ek.la]</i> .....	54
<i>Ilustración 34: Planta de Mutriku [fuente: eve.eus]</i> .....	55
<i>Ilustración 35: Planta de Pico [pico-owc.net]</i> .....	56
<i>Ilustración 36: Mapa de Áreas Marinas Protegidas en España [geoportal]</i> .....	57
<i>Ilustración 37: Mapa de Bermeo [fuente: google maps]</i> .....	58
<i>Ilustración 38: Consumo del alumbrado público en invierno en Bermeo [fuente: elaboración propia]</i> .....	61
<i>Ilustración 39: Consumo del alumbrado público en verano en Bermeo [fuente: elaboración propia]</i> .....	61

<i>Ilustración 40: Media desde 1998 hasta 2007 de la altura significativa de las olas en Bermeo [fuente: elaboración propia, Datos: Puerto del estado] .....</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 41: Media desde 1998 hasta 2007 del Periodo medio de las olas en Bermeo [fuente: elaboración propia, Datos: Puerto del estado] .....</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 42: Potencial Undimotriz en Bermeo por meses y Potencial Undimotriz medio anual [fuente: elaboración propia].....</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 43: Plano del Puerto de Bermeo [fuente: <a href="http://www.euskadi.eus/informacion/puerto-de-bermeo-vizcaya/web01-a2garrai/es/">http://www.euskadi.eus/informacion/puerto-de-bermeo-vizcaya/web01-a2garrai/es/</a>] .....</i>	<i>69</i>
<i>Ilustración 44: Emplazamiento de la planta undimotriz en el dique de abrigo [fuente: google maps] .....</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 45: Plano del Puerto de Bermeo [fuente: Gobierno Vasco] .....</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 46: Reconstrucción del dique de abrigo de Bermeo con la implantación de la central [fuente: elaboración propia].....</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 47: Funcionamiento de una Turbina Wells [fuente: Joao Cruz, 2010] .....</i>	<i>73</i>
<i>Ilustración 48: Triángulos de velocidades ideal (izquierda) y real (derecha) a la entrada [fuente: X. Salueña; J.A. Ortiz; A. Raso].....</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 49: Relación del ángulo de ataque en función del triángulo de velocidades y de las fuerzas generadas en el perfil [fuente: X. Salueña; J.A. Ortiz; A. Raso] .....</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 50: Rendimiento y diferencia de presión de las turbinas monoplano (MP) y biplano (BP) .....</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 51: Coeficiente de Par para turbinas Wells monoplano (MP) y Biplano (BP) [fuente: Curran, Gato, 1997].....</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 52: Cl vs Reynolds [fuente: elaboración propia].....</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 53: Cd vs Reynolds [fuente: elaboración propia].....</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 54: Perfil NACA 0018 [fuente: elaboración propia, datos: windandwet.com] .....</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 55: Diseño final de la turbina [fuente: elaboración propia].....</i>	<i>85</i>

# Índice de tablas

Tabla 1: Sistemas de conversión. Características [fuente: INABESA, Universidad de Sevilla] .....	37
Tabla 2: Dispositivos con movimiento oscilatorio [fuente: INABESA, Universidad de Sevilla] .....	43
Tabla 3: Resumen de la clasificación de los dispositivos actuales [fuente: elaboración propia] .....	50
Tabla 4: Consumo del Alumbrado Público en Bermeo [fuente: ACC centro de acústica] .....	60
Tabla 5: Densidad del agua del mar en Bermeo [fuente: elaboración propia, Datos: puertos del estado] .....	63
Tabla 6: Potencial Undimotriz en Bermeo por Estaciones [fuente: elaboración propia] .....	65
Tabla 7: Potencial Undimotriz en Bermeo y Mutriku a una profundidad indefinida [fuente: elaboración propia, Datos Mutriku: EVE] .....	65
Tabla 8: Potencial Undimotriz en Bermeo y Mutriku en la costa [fuente: elaboración propia, Datos Mutriku: EVE] .....	66
Tabla 9: Parámetros adimensionales de diseño [fuente: Curran y Gato, 1997] .....	77
Tabla 10: Datos de la turbina [fuente: elaboración propia] .....	78
Tabla 11: Resultados obtenidos a partir de los números adimensionales y las dimensiones de la turbina [fuente: elaboración propia] .....	78
Tabla 12: Triángulos de velocidades real e ideal de la turbina [fuente: elaboración propia] .....	79
Tabla 13: Cd y Cl en función del Número de Reynolds para NACA 0018 [fuente: elaboración propia, datos: airfoiltools.com] .....	80
Tabla 14: Datos geométricos de la cámara OWC y de la turbina Wells [fuente: elaboración propia] .....	82
Tabla 15: Velocidad de entrada en función de los parámetros geométricos de la cámara y de la altura significativa y periodo de las olas [fuente: elaboración propia] .....	83
Tabla 16: Potencia útil obtenida en cada turbina según las condiciones reales de oleaje esperadas .....	83
Tabla 17: Resultados con valores de Altura significativa y Periodo de la ola [fuente: elaboración propia] .....	84
Tabla 18: Resultados con valores de Altura significativa y Periodo de la ola [fuente: elaboración propia] .....	84
Tabla 19: Dimensiones de la turbina Wells [fuente: elaboración propia] .....	84
Tabla 20: Dimensiones de la cámara OWC [fuente: elaboración propia] .....	84
Tabla 21: Valores mensuales de altura significativa de 1998 a 2007 [fuente: elaboración propia, datos: Puertos del Estado] .....	109
Tabla 22: Valores mensuales de altura significativa de 2008 a 2017 [fuente: elaboración propia, datos: Puertos del Estado] .....	110
Tabla 23: Valores mensuales de periodo de 1998 a 2007 [fuente: elaboración propia, datos: puertos del estado] .....	111
Tabla 24: Valores mensuales de Periodo de 2008 a 2017 [fuente: elaboración propia, datos: puertos del estado] .....	112
Tabla 25: Coordenadas perfil NACA 0018 [fuente: elaboración propia, datos: windandwet.com] .....	113





# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Introducción

La búsqueda de energía para facilitar y disminuir el esfuerzo que había que realizar en las diferentes actividades de la sociedad se remonta siglos atrás. Las primeras fuentes de energía renovable fueron los molinos de viento y de agua que a través de su utilización se facilitaba la realización de diferentes tareas como moler grano, accionar fuelles o prensar aceitunas. [1]

La Revolución Industrial supuso un gran avance para el desarrollo de la humanidad. Durante este periodo se crearon máquinas que funcionaban mediante la combustión de carbón. A finales del siglo XIX, la utilización del petróleo como combustible para diversos medios de transporte supuso una mejora en la vida de las personas. Sin embargo, el uso de combustibles fósiles ha producido un impacto negativo en el medioambiente. La combustión de estos recursos naturales emite gases nocivos para la atmósfera, como el dióxido de carbono o el monóxido de carbono, que dan lugar al efecto invernadero, a la contaminación del agua, del aire y del suelo. [2]

Durante la década de los años setenta, a medida que las reservas de combustibles fósiles disminuían, comenzó la búsqueda de sustitutos para estos recursos. Las energías renovables surgieron como una nueva alternativa para poder abastecer las necesidades energéticas de la población. Se trata de fuentes inagotables de energía que no contaminan el medio ambiente. [2]

Del mismo modo, a raíz del protocolo de Kioto, que tenía como objetivo reducir la emisión de gases nocivos que potenciaban el efecto invernadero, se produjo un aumento en el uso de las denominadas energías alternativas. Hoy en día, el aprovechamiento de las fuentes naturales, como el sol, el agua o el mar, han dado lugar a una disminución en el uso de combustibles fósiles.

En España se utilizan diversas fuentes renovables para la generación de electricidad, siendo las principales la energía eólica, la energía hidráulica y la energía solar, produciendo el 47,4%, el 35,8% y el 12,7% respectivamente del total de la energía renovable generada en el país. [3]. No obstante, es necesario el avance tecnológico en otras fuentes renovables para poder frenar el cambio climático.

Al hablar de energías renovables siempre se tiende a pensar en la energía eólica, la energía solar o la energía hidráulica, dejando de lado la energía procedente de las olas. Ésta es un tipo de energía que debido a su gran potencial es necesaria en la lucha contra el cambio climático.

Algunas de las energías renovables mencionadas anteriormente necesitan unas condiciones necesarias para su funcionamiento. Por ejemplo, la energía eólica necesita una mínima velocidad del viento, además de una cierta regularidad, para poder funcionar o para la obtención de energía hidroeléctrica es necesaria la construcción de una presa en el lugar requerido. A diferencia de los métodos mencionados, mediante la energía undimotriz puede obtenerse electricidad siempre, debido al continuo oleaje, con un mayor o menor potencial dependiendo del viento. La existencia de datos acerca del oleaje y del viento permite predecir el potencial energético procedente de las olas de manera sencilla según la localización.

## **1.2. Motivación**

La contaminación del medioambiente es un problema que afecta a toda la población. Durante las últimas décadas se han ido incrementando y desarrollando diferentes fuentes renovables para la obtención de energía que no sean dañinas para el planeta. Es por ello que, mediante este estudio se quiere contribuir a la generación de electricidad en el territorio español de una manera limpia, es decir, sin el uso de ningún combustible fósil y sin la creación de residuos tóxicos, con el fin de sumarse a la lucha contra el cambio climático.

La necesidad de disminuir la dependencia energética para la importación de gas y petróleo en España hace que sea necesario la búsqueda de energía mediante nuevas fuentes renovables, como la energía undimotriz, que tiene un gran potencial en nuestras costas, sobretudo en el Mar Cantábrico, que aún no ha sido explotado.

La motivación de este proyecto es demostrar la viabilidad de nuevos procedimientos de consecución de energía que sean capaces de ayudar a disminuir esa dependencia hacia las fuentes no renovables, aplicado al suministro eléctrico de una pequeña población en España mediante energía undimotriz.

### **1.3. Objetivos**

El proyecto fin de grado a realizar persigue el desarrollo y dimensionamiento de un parque de olas para proveer de electricidad a una pequeña ciudad costera situada en el Mar Cantábrico. El objetivo del trabajo es realizar los cálculos y el dimensionamiento de un sistema de columna de agua oscilante de estructura flotante (OWC) que se adapte a las necesidades del emplazamiento.

Además, con este proyecto se pretende ayudar al crecimiento de esta fuente renovable en nuestro país ya que en la actualidad no se encuentra desarrollada. El aumento en el uso de esta nueva tecnología tiene como finalidad aumentar la energía generada procedente de energías renovables. Del mismo modo, se debe tener en cuenta que en las zonas costeras de la Península Ibérica existe una gran cantidad de energía explotable puesto que se trata de uno de los lugares del planeta donde mayor potencial undimotriz existe.

Por otro lado, el desarrollo de este parque de olas permitirá que a medida que se vaya desarrollando esta energía, pueden probarse, por ejemplo, nuevas turbinas para conocer sus rendimientos con un prototipo a escala real.

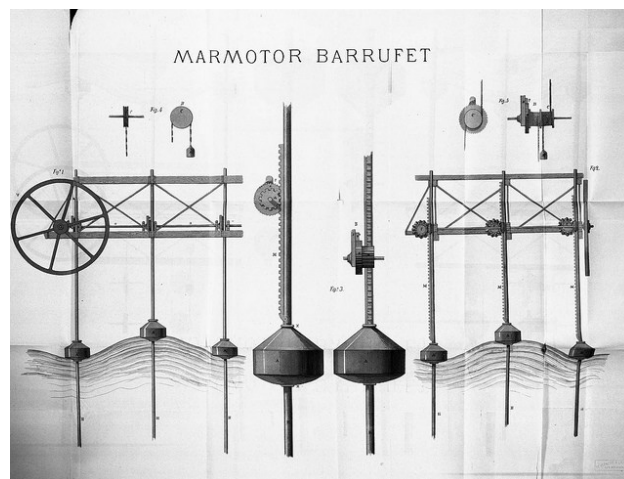


## 2. TEORÍA DE LA ENERGÍA UNDIMOTRIZ

### 2.1. Origen de la energía undimotriz

El primer dispositivo de conversión de energía undimotriz en electricidad tuvo lugar a finales del siglo XIX, en Francia en 1799.

En 1885, José Barrufet y Veciana patentó un dispositivo capaz de aprovechar la fuerza motriz de las olas para obtener electricidad. Este instrumento, conocido como ‘Marmotor’, aprovechaba la energía procedente de las olas mediante un sistema de boyas que describían un movimiento oscilatorio según el flujo de las olas. [4]



*Ilustración 1: Esquema Marmotor Barrufet [fuente: alpoma.net, enero 2013]*

No obstante, el desarrollo de esta energía comenzó a finales de siglo XX, siendo Dinamarca y Escocia los países a la vanguardia de esta tecnología. En 1985 se instaló una planta de energía undimotriz en las costas de Bergen, Noruega [7]. Se trata de una central que combina el sistema de conversión de Columna Oscilante de Agua (OWC, *Oscillating Water Column*) con un sistema denominado “canal rematado en punta” [4]. Escocia por su parte, ha invertido un gran capital económico para impulsar esta nueva tecnología, llegando a desarrollar un dispositivo denominado “pato de Salter”, que se define como unos conos que oscilan con las olas generando electricidad, es conocido con uno de los sistemas más eficientes para la conversión de la energía de las olas.

Por otra parte, cabe destacar la importancia del proyecto realizado en Japón en 1960. Este proyecto consistió en la fabricación de unas boyas que mediante el uso de la energía undimotriz lograban encender las lámparas de las mismas.

## 2.2. Las olas

Las olas se generan como consecuencia del contacto entre el viento y la superficie del océano. La radiación solar que incide sobre la superficie terrestre provoca un calentamiento desigual, generando zonas de alta y baja presión, lo que, a su vez crea un desplazamiento de aire (viento). Por lo tanto, la intensidad del oleaje está condicionada por la intensidad del viento y por su duración. Además, la fuerza del oleaje también depende de la longitud de onda sobre la que incide el viento. [5]

El oleaje funciona como un acumulador de energía ya que es capaz de recibir la energía del viento y transportarla, a la par que la va acumulando. Toda esta energía se desplaza por la superficie de los mares y océanos con mínimas pérdidas. Por consiguiente, en las zonas costeras de los continentes existe una gran acumulación de energía procedente de los océanos. [4]

### 2.2.1. Tipos de olas

Las olas se pueden clasificar en cuatro grupos: olas estacionarias, transitorias, libres y forzadas. [5]

- **Olas estacionarias**: en este tipo de olas existen varios puntos en los que el movimiento es nulo (puntos nodales) y uno o más puntos en los que el desplazamiento es máximo (puntos ventrales). Según las dimensiones geométricas del lugar en el que se producen las olas, se establece una relación entre los nodos y la frecuencia de oscilación.
- **Olas transitorias o progresivas**: son aquellas olas que varían en el tiempo y en el espacio. Pueden generarse en la superficie del mar, olas producidas por el viento; o en el seno de la masa oceánica, producidas debido a la diferencia de salinidad y temperatura entre las masas de agua.  
Dentro de esta clasificación se pueden distinguir las ondas largas, que son las ondas solitarias y los tsunamis, que avanzan desde el epicentro hasta la costa de manera progresivas; y las olas de viento que son las que más energía poseen y sus utilizadas para la obtención de electricidad.
- **Olas libres**: son aquellas que se generan debido a una perturbación instantánea dejando que la ola evolucione libremente.
- **Olas forzadas**: la perturbación se aplica de manera continua.

### 2.2.2. Olas de viento

Son generadas debido a la acción del viento sobre la superficie del océano. Durante el contacto entre el viento y la superficie se crean olas aleatorias, es decir, olas que, aunque exista una dirección predominante, no tienen una dirección definida. Conforme las olas se alejan de la zona en la que sopla el viento, se van agrupando según sus longitudes de onda para formar olas regulares, aprovechadas para la obtención de energía. [5]



Ilustración 2: Generación de las olas de viento [fuente: Fernández Díez]

Las olas de viento, denominadas ondas cortas, son aquellas en que la velocidad de la misma es independiente de la altura del mar, pero sí depende de la longitud de onda. Una ola de estas características es una onda sinusoidal que queda definida por los siguientes parámetros [5]:

- Desplazamiento vertical de la ola:  $y = \frac{H}{2} \cos \left( \frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T} \right)$
- Periodo (T): tiempo transcurrido entre dos crestas o dos valles consecutivos.  $T = \frac{2\pi}{\omega}$
- Longitud de onda ( $\lambda$ ): distancia entre dos picos o valles consecutivos.  

$$\lambda = \frac{g T^2}{2\pi}$$
- Celeridad (c): velocidad de traslación de la onda.  $c = \frac{\lambda}{T}$
- Altura de onda (H): distancia entre un pico y un valle.

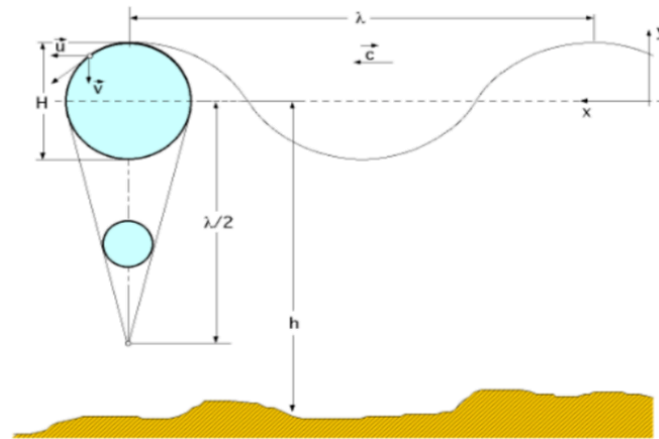


Ilustración 3: Características de una ola corta [fuente: Fernández Díez, 2002]

Las olas contienen tanto energía potencial, debido a la diferencia de altura de las partículas, como cinética, producida como consecuencia del movimiento de las moléculas.

$$E = E_c + E_p = \frac{\rho g \lambda H^2}{8} \quad (1)$$

Como se puede observar de la ecuación anterior, la energía contenida en las olas depende de la altura de las mismas al cuadrado y del periodo.

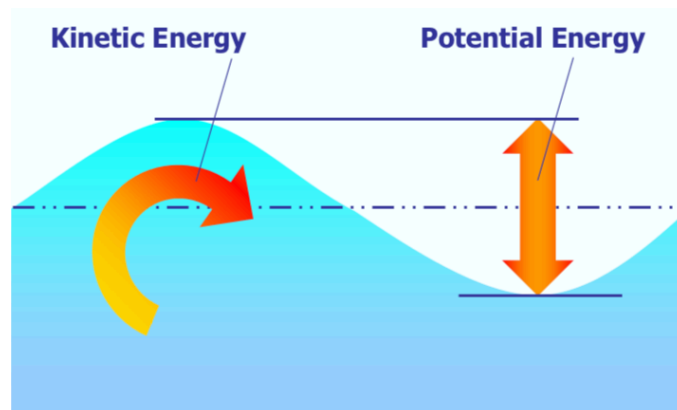


Ilustración 4: Energía de las olas [fuente: Center for Renewable Energy Sources, 2006]

Las moléculas de agua dentro de las olas no se desplazan de forma longitudinal a lo largo del océano, si no que se mueven de manera circular. Dicho movimiento produce que se genere energía cinética en las olas. Tal y como se puede apreciar en la ilustración 5, dependiendo de la distancia entre las moléculas y el fondo marino, los movimientos circulares se irán convirtiendo en elípticos a medida que la distancia hasta



el fondo marino vaya disminuyendo. Por otro lado, la energía potencial se genera debido a la diferencia de altura existente entre las crestas y los valles de las olas, como indica la ilustración 4. [4]

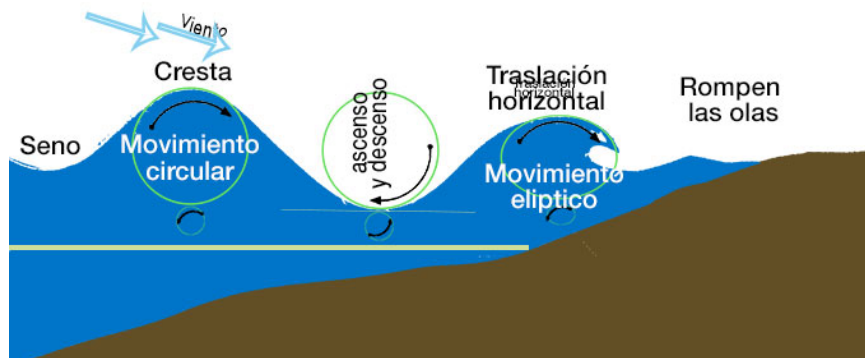


Ilustración 5: Movimiento de las moléculas en las olas [fuente: Masmar.net, 17 noviembre 2013]

### 2.3. Potencial undimotriz

Existe una gran cantidad de energía procedente de las olas capaz de contribuir a la demanda energética actual de las personas. Actualmente, se estima que la energía contenida en los océanos es del orden de 2TW, prácticamente la misma cantidad de electricidad consumida a nivel mundial. Sin embargo, no toda ella es explotable. La capacidad de explotación de este tipo de recurso se encuentra entre el 10% y el 25%. [6].

No obstante, todo este potencial, al igual que ocurre con otras energías renovables, no se encuentra repartido de manera equitativa a lo largo del globo terráqueo. Las zonas con mayor actividad del oleaje se encuentran comprendidas entre los 30° y 60° de latitud [6], tanto en el hemisferio sur como en el norte, coincidiendo con los lugares en los que soplan vientos regulares.

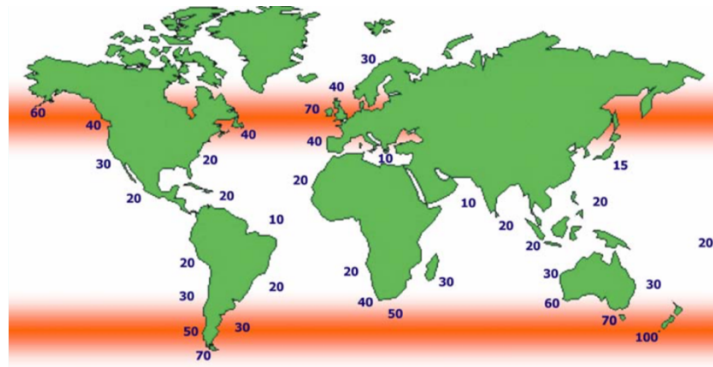


Ilustración 6: Potencial Undimotriz Mundial [fuente: Center for Renewable Energy Sources, 2006]

Por otro lado, tal y como se puede apreciar en la Ilustración 6, en el hemisferio sur destacan las costas de Chile y Australia con un potencial anual superior a los 60 kW/m. En el hemisferio norte, las zonas costeras con mayor potencial undimotriz se encuentran en Reino Unido, Estados Unidos y Canadá.

La ilustración número 7 muestra el potencial undimotriz distribuido a lo largo de la superficie oceánica de manera más detallada. [6]

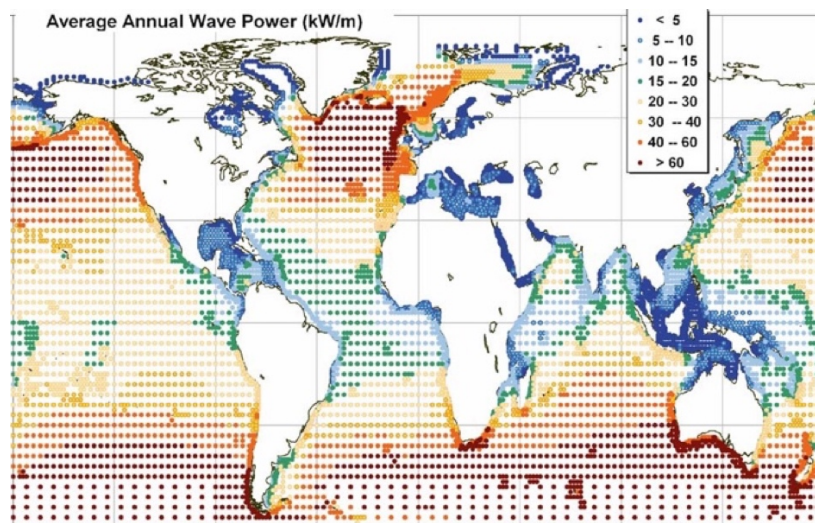


Ilustración 7: Potencial Undimotriz Mundial [fuente: Joao Cruz, 2010]

La costa oeste europea posee una gran cantidad de energía, sobretodo, como ya se ha mencionado anteriormente, en las costas de Reino Unido, llegando a tener un valor máximo de 76 kW/m. Se trata de uno de los mayores potenciales del mundo siendo solamente superado por zonas en Sudamérica o en las Antípodas. Algunos estudios revelan que en la zona oeste europea existe un potencial que gira en torno a los 290 GW [7].

La potencia contenida en las olas se puede obtener mediante la siguiente ecuación [4]:

$$P = \frac{g^2 \rho H^2 T}{32 \pi} \left( \frac{kW}{m} \right) \quad (2)$$

- g: gravedad.  $g=9,81 \text{ m/s}^2$ .
- $\rho$ : densidad del agua del mar.
- H: altura de la ola. Expresada en metros [m].
- T: periodo de la ola. Expresado en segundos [s].

Las olas que se forman con un periodo de entre siete y diez segundos (periodo largo) y una amplitud del orden de los dos metros pueden llegar a contener una cantidad de energía que puede superar los 50 kW por metro de ancho.

Para la estimación del potencial energético existente, también se debe tener en cuenta el factor de planta. El factor de planta, definido por AES GENER, es la relación entre la energía real producida por una central y la energía máxima que se hubiera generado funcionando a plena carga [4]. La ilustración 8 muestra el factor de planta existente a lo largo del planeta. Se observa que las zonas con mayor de planta son las costas Chile, las costas del sur de África y las costas de Australia. En el hemisferio norte este factor de planta es menor que en el sur, no obstante, en las costas del Mar Cantábrico el factor es de aproximadamente un 50%, lo que da lugar a que la extracción de energía en estas zonas costeras sea viable [6].

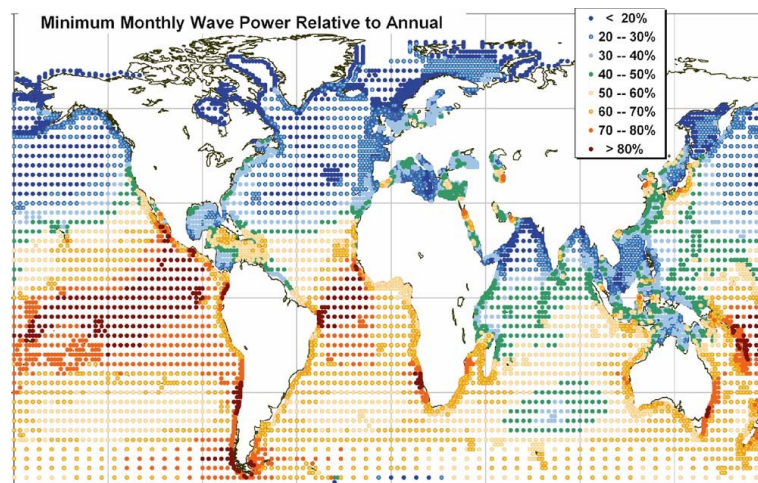


Ilustración 8: factor de planta del potencial undimotriz [fuente: Joao Cruz, 2010]

## 2.4. Clasificación de conversores

Los dispositivos para convertir energía undimotriz en electricidad pueden clasificarse según los siguientes parámetros:

- Distancia a la costa
- Forma geométrica
- Principio de captación
- Sistema de conversión

Sin embargo, ninguno de los métodos de clasificación anteriores es completamente satisfactorio y encontrar uno es complicado. [6].

A continuación, se explicarán las diferentes opciones contenidas en cada clasificación.

### 2.4.1. Según distancia a la costa

Los dispositivos pueden ubicarse a diferentes distancias de la costa [8]:

#### 2.4.1.1. *Dispositivos Onshore*

Se trata de dispositivos que se encuentran fijos en la superficie costera [7]. Como gran ventaja, podría destacarse la facilidad en la instalación y el en mantenimiento al tener una fácil accesibilidad. Además, no necesita ningún tipo de amarres de gran profundidad como tampoco es necesario la colocación de cables eléctricos que vayan por el lecho marino.

Sin embargo, los dispositivos ubicados en la costa tienen una menor potencia procedente de las olas ya que gran parte de la energía que éstas transportan se reduce en los diferentes procesos que experimental el oleaje desde agua profundas

#### 2.4.1.2. *Dispositivos Nearshore*

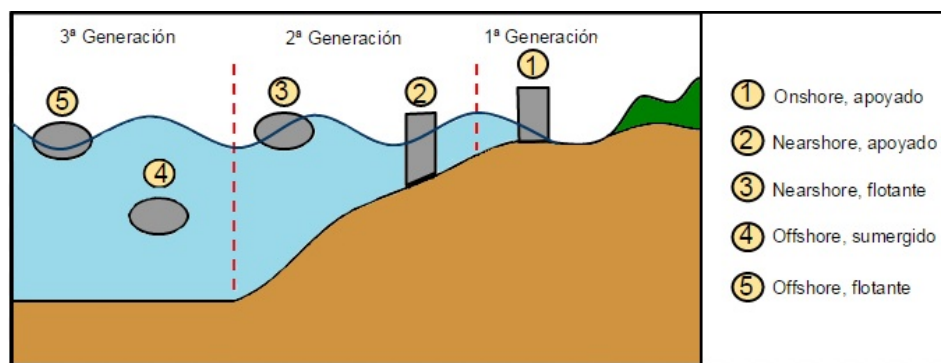
Son aquellos que se encuentran a menos de 500 metros de la zona costera, y que, además, se encuentran a una profundidad comprendida entre 20 y 30 metros [7]. Estos dispositivos poseen prácticamente las mismas ventajas que los dispositivos situados en la costa, pero el hecho de que estén alejados de tierra hace que tengan un mayor potencial energético a su alrededor.

A su vez, estos dispositivos pueden dividirse en dos: aquellos que se encuentran anclados al fondo marino y los que son flotantes.

#### 2.4.1.3. *Dispositivos Offshore*

Estos dispositivos se encuentran mar adentro con profundidades de 40 metros [7]. Explotan los potenciales más grandes. No obstante, su mantenimiento e instalación resultan costosos debido a la necesidad de barcos y equipos especiales para su realización. Además, son dispositivos que deben soportar grandes temporales y clima marino adverso.

Al igual que los dispositivos Nearshore, existen dos tipos de Offshore. Pueden ser flotantes o estar completamente sumergidos.



*Ilustración 9: Dispositivos según su ubicación [fuente: Tecnalia, Energías de las olas: situación y futuro]*

João Cruz [6] afirma que los dispositivos se pueden clasificar según tres generaciones. La primera generación contiene a los dispositivos Onshore y a los Nearshore cuyo principio de funcionamiento es el de Columna Oscilante de Agua (OWC). En la segunda generación se incluyen aquellos dispositivos que son Boyas flotantes que han sido diseñadas para su colocación en zonas Offshore y Nearshore. Se trata de dispositivos relativamente pequeños que no producen mucha electricidad. No obstante, son útiles para periodos de desarrollo cortos y con un coste no muy elevado. Por último, la tercera generación engloba a aquellos dispositivos diseñados a gran escala para zonas Offshore. [6]

## 2.4.2. Según geometría

Esta clasificación describe el principio de funcionamiento, además de dar información acerca de la geometría.

### 2.4.2.1. *Absorbedores puntuales*

Se trata de dispositivos pequeños en el sentido que las medidas del absorbedor son pequeñas en comparación con la longitud de onda [8]. Son dispositivos generalmente circulares capaces de captar energía de todos los frentes posibles lo que hace que tengan una gran capacidad de captar el potencial. Teóricamente, este rendimiento sólo se puede alcanzar si el dispositivo sufre oscilaciones, las cuales tienen una magnitud muy superior a la de la ola incidente [6].

### 2.4.2.2. *Atenuadores*

Son dispositivos mucho más largos que anchos que se colocan de forma alineada con la dirección de avance de las olas [8]. Son estructuras largas, en la mayoría de los casos articuladas, que obtienen la energía de manera progresiva. El movimiento del atenuador debe ser simétrico con respecto al centro del dispositivo, para que así la parte trasera y delantera funcionen igual [6].

### 2.4.2.3. *Terminadores*

Al igual que los atenuadores, tienen una dimensión mucho más grande que la otra. Se coloca de manera perpendicular a la dirección incidente de las olas para poder captar la energía de una sola vez [8].

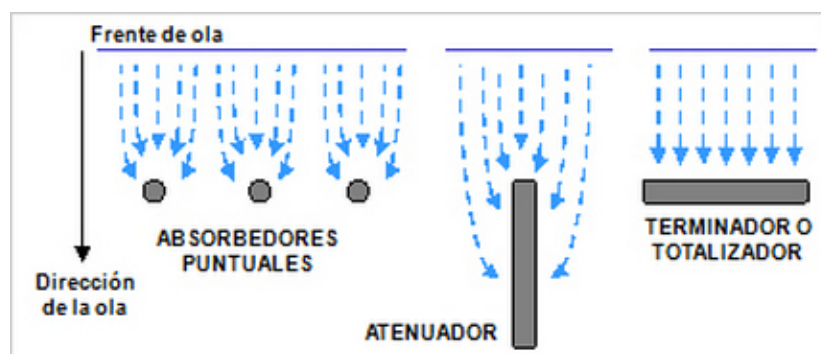


Ilustración 10: Dispositivos según su geometría [fuente: Tecnalia, Energías de las olas: situación y futuro]

### 2.4.3. Según el sistema de conversión

Los dispositivos que aprovechan la energía de las olas también pueden ser clasificados según el método de conversión. Los sistemas de conversión, conocidos como Power Take Off o PTO, aprovechan diferentes flujos de fluido (agua o aire) o el movimiento relativo entre las partes del dispositivo [9].

#### 2.4.3.1. *Turbina neumática*

Las turbinas neumáticas aprovechan un flujo de aire impulsado por las olas. Generalmente se utilizan en dispositivos que utilizan la Columna de Agua Oscilante como principio de funcionamiento [9].

Las turbinas Wells fueron las primeras que se empezaron a desarrollar para su utilización en prototipos y sistemas OWC. Cuentan con álabes simétricos que permiten captar la energía independientemente del sentido de flujo de aire. Este sistema se utiliza en las plantas de Pico, Limpet y Mutriku [7].

Gracias al desarrollo de la tecnología en la energía undimotriz, se han desarrollado diferentes turbinas neumáticas. La turbina *Denniss – Auld* y la turbina *HydroAir* poseen un mejor rendimiento que la turbina Wells. Además, la primera de ellas se está utilizando en el dispositivo OWC flotante MK1.

#### 2.4.3.2. *Circuito hidráulico*

Los circuitos hidráulicos como sistema de conversión permiten transformar la energía que se forma debido al movimiento relativo entre dos cuerpos. La conversión se lleva a cabo mediante un sistema de pistones que comprimen un fluido a través de una bomba que se encuentra conectada a un generador eléctrico. Por otro lado, estos sistemas cuentan con un sistema de acumulación de gas que permite almacenar la energía [9].

Estos circuitos están compuestos por dispositivos convencionales por lo que su producción y mantenimiento no requieren grandes costes. Además, en condiciones nominales de trabajo, ofrecen un buen rendimiento. Sin embargo, requieren un diseño preciso para facilitar las condiciones de estanqueidad, las cuales son necesarias para evitar la contaminación en caso de que se produjera alguna pérdida de fluido.

Como se ha indicado anteriormente, estos sistemas se emplean en dispositivos que aprovechan el movimiento relativo entre dos partes. Algunos de estos dispositivos son las boyas, como PowerBouy; las estructuras flotantes, como pelamis; y las estructuras de fondo marino como BioWAVE o WaveRoller.

#### **2.4.3.3. Turbina hidráulica**

La utilización de turbinas hidráulicas en la obtención de la energía undimotriz es muy similar, debido a su parecido en la funcionalidad, a la que se emplea en la obtención de energía hidráulica [9].

En la actualidad, para los dispositivos que emplean el principio de rebosamiento se utilizan turbinas que funcionan a baja presión y grandes caudales. Además, estos dispositivos cuentan con un depósito que permite acumular el agua procedente del océano y regular el caudal que fluye por la turbina. Para los dispositivos en los que el agua llega a la turbina de forma directa a través de un inyector se emplean turbinas de alta presión, como la turbina pelton.

Como ejemplo de uso de estas turbinas en dispositivos actuales cabe destacar la utilización de la turbina pelton en AquaBouy y la turbina Kaplan (turbina de baja presión) para Wave Dragon.

#### **2.4.3.4. Transmisión mecánica directa**

La transmisión mecánica directa, utilizada en diferentes industrias con buenos rendimientos, es una realidad para la obtención de la energía de las olas. Teniendo en cuenta los dispositivos existentes en otras industrias, mediante la utilización de este sistema se podría obtener un sistema específico para cada dispositivo, con el fin de obtener el mejor rendimiento posible [9].

Como objetivo principal, estos sistemas tienen eliminar etapas en la generación de electricidad para así poder disminuir las pérdidas a lo largo de la conversión. No obstante, con el uso de esta tecnología los costes de mantenimiento podrían ser más elevados que en otros Power Take Off al tener un mayor número de elementos móviles.

El principio de funcionamiento se basa en aprovechar el movimiento vertical de las olas para convertirlo en un movimiento rotatorio que sea capaz de accionar un generador conectado al sistema de transmisión. Por otro lado, también se han



desarrollado los generadores eléctricos lineales en los que al no tener que convertir el movimiento lineal de las olas en rotatorio se obtiene un mayor rendimiento.

La Tabla 1 muestra una comparativa de los diferentes sistemas de conversión actuales. Se observa como las turbinas neumáticas, y en concreto la turbina Wells, son los dispositivos que se encuentran más desarrollados y, por tanto, pueden captar un mayor rango de potencial. Sin embargo, estos sistemas necesitan una gran infraestructura sobre la que emplazarse. Por consiguiente, un proyecto en el que intervengan sistemas neumáticos puede resultar muy costoso a nivel económico.

Por otro lado, los dispositivos que emplean circuito hidráulico requieren una inversión menor, aunque sus rangos de conversión son menores. Estos dispositivos están diseñados para soportar grandes fuerzas, por lo tanto, serán los dispositivos ideales para ubicar en alta mar, ya que serán capaces de soportar las fuertes tormentas.

Propiedades	Turbina neumática	Circuito hidráulico	Turbina hidráulica	Transmisión mecánica directo
Rango de potencias (kW)	400 – 2500	150 – 1000	100 – 350	1 – 500
Rendimiento medio	0.35 – 0.6	0.5 – 0.8	0.9	0.8 – 0.9
Utilización	Alta velocidad	Grandes fuerzas	Grandes fuerzas	Grandes fuerzas
Tamaño	Grande	Pequeño	Grande	Grande
Sistema de almacenamiento energético	Disco de inercia	Tanques de aire o aceite a presión	Depósito de agua	Discos de inercia (rotativos) o supercondensadores (lineales)
Número de componentes	Elevado	Elevado	Medio	Bajo

Tabla 1: Sistemas de conversión. Características [fuente: INABESA, Universidad de Sevilla]

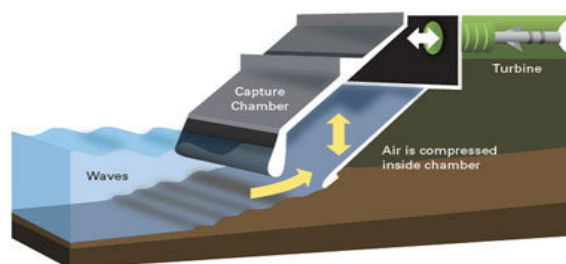
#### 2.4.4. Según el principio de captación

Otro método para clasificar los distintos dispositivos destinados a la generación de electricidad a partir de energía procedente de las olas es teniendo en cuenta su principio de captación. [10]

##### 2.4.4.1. *Columna Oscilante de Agua*

Este funcionamiento se basa en la captación de energía cuando un flujo de aire impulsado por el movimiento de las olas atraviesa una turbina.

Se dispone de una cámara semisumergida con aberturas en la parte inferior y superior. Cuando la ola incide sobre el dispositivo, impulsa la masa de aire a través de una turbina conectada a un generador. Posteriormente, cuando la columna de agua desciende, se crea una depresión en el interior de la cámara generando que el flujo atravesase de nuevo la turbina.

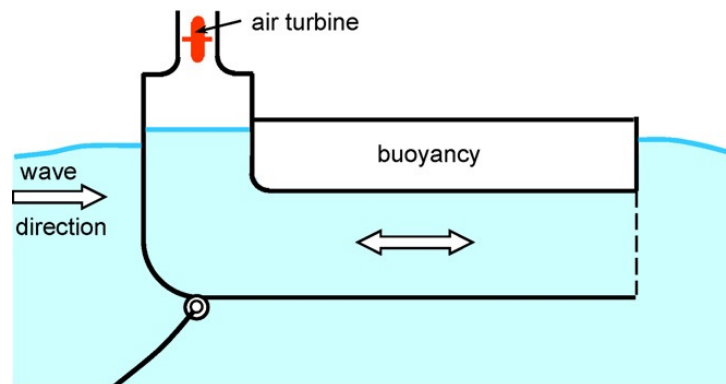


*Ilustración 11: Sistema OWC en la línea de costa [fuente: energyconsulting.wordpress.com]*

Estas turbinas se fabrican con álabes simétricos o auto-rectificables que permiten que el sentido de giro sea siempre el mismo, independientemente del sentido del flujo de aire [6].

La mayoría de los dispositivos OWC se encuentran alojados en la línea de costa o en los rompeolas, como ocurre en la planta de Mutriku o la de Pico, en las Azores. Sin embargo, también se han desarrollado dispositivos Offshore que funcionan con Columna Oscilante de Agua. En lugar de una cámara de aire, existe una cavidad cilíndrica en la cual tienen lugar la subida y bajada del agua. Al igual que los sistemas emplazados

en la costa, disponen de una turbina neumática a través de la cual circula el flujo de aire con el que se genera electricidad.



*Ilustración 12: Sistema OWC flotante [fuente: Falcão, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010]*

Los dispositivos Oceanlinx MK son mecanismos flotantes que emplean la tecnología OWC. El dispositivo MK1 estuvo funcionando desde 2005 hasta 2009 con una capacidad de 250 kW. En 2009 se construyó el MK3 con una potencia unitaria de 250 MW que cuenta con una turbina Denniss – Auld conectada a un generador por la que fluye el aire impulsado por las olas. [11].



*Ilustración 13: Dispositivo MK1 [fuente: Oregon State University]*

#### 2.4.4.2. *Rebosamiento*

El diseño de estos dispositivos consta de rampas que permiten que el agua del océano acceda a una balsa situada a un nivel superior al de la superficie marítima. En la parte inferior del rebosadero, se encuentra una turbina hidráulica por la que circula el agua. Esta turbina está conectada a un generador mediante el cual se produce electricidad. En la instalación puede haber varios rebosaderos a distintos niveles, además de varias turbinas. Este principio es considerado como el paso de la generación hidráulica al mar. Estos dispositivos pueden ser flotantes o estar situados en la costa. Sin embargo, al contrario que los dispositivos OWC, los dispositivos que funcionan por rebosamiento, no se puede usar la teoría de las olas lineal para su dimensionamiento [6].

Dentro de los sistemas de conversión que funcionan mediante el sistema de rebosamiento, podemos encontrar los dispositivos Wave Dragon y Tapchan.

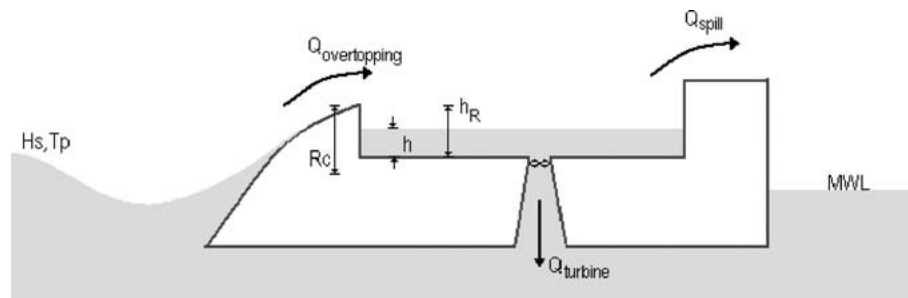


Ilustración 14: Esquema Wave Dragon, Sistema de Rebosamiento [fuente: Joao Cruz, 2010]

**Wave Dragon** se ubica en zonas alejadas de la costa u Offshore unos dos o tres metros por encima de la superficie del agua [6]. Su proceso de funcionamiento se adapta al descrito anteriormente, pero, además, cuenta con dos reflectores de olas que las guían hacia el rebosadero. Una vez que las olas llegan al rebosadero atraviesan las turbinas Kaplan alojadas en la parte inferior.

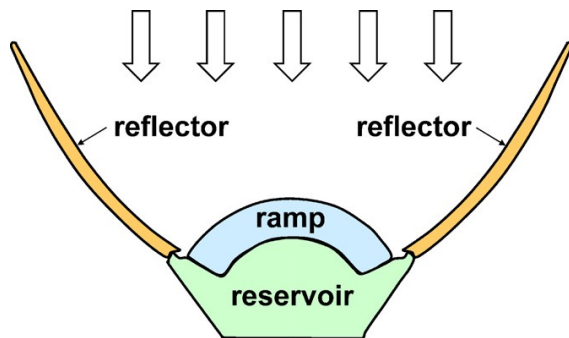


Ilustración 15: Plano de Wave Dragon [fuente: Falcão, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010]



Ilustración 16: Sistema Wave Dragon en Dinamarca [researchgate.net]

**Tapchan** (Tapered Channel Wave Power Device) diseñado en Noruega se ubica en la zona costera [12]. Consta de un canal que se va estrechando hasta llegar a un depósito. La altura de las olas va aumentando según llegan al depósito como consecuencia del estrechamiento del canal. Esto produce que las olas desborden hacia el canal, ubicado varios metros por encima de la superficie marítima. De esta manera, la energía cinética contenida en las olas se convierte en energía potencial. Posteriormente, siguiendo el principio del rebosamiento, el agua contenida en el depósito fluye a través de una turbina Kaplan para generar electricidad.

Los dispositivos Tapchan necesitan una zona costera en la que el rango de las mareas sea menor de un metro. No obstante, estos sistemas superan la demanda de energía ya que en el embalse se puede contener el agua hasta que sea necesaria la producción de energía. [12]

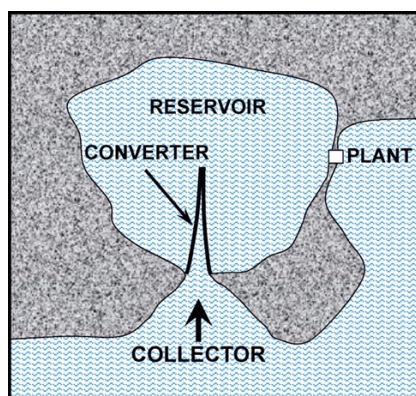


Ilustración 17: Plano Tapchan [Falcão, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010]

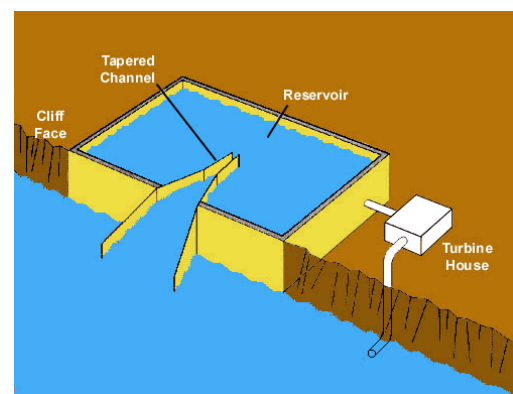


Ilustración 18: Sistema Tapchan [textoscientificos.com]

#### 2.4.4.3. Movimiento oscilatorio

Los dispositivos que obtienen la energía como consecuencia del movimiento oscilatorio generado por el oleaje, aprovechan los movimientos relativos entre las partes [9]. En la ilustración 19 se observan los diferentes movimientos relativos existentes.

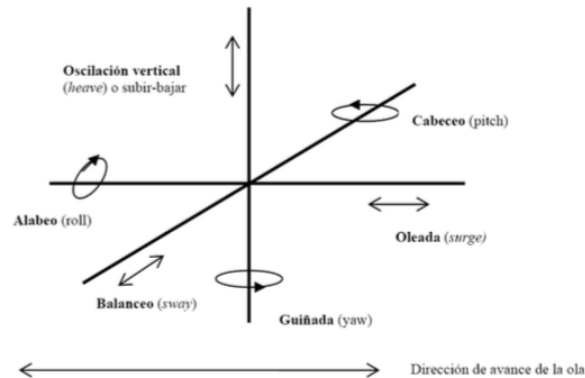


Ilustración 19: Movimientos relativos provocados por el oleaje [INABENSA, Universidad de Sevilla]

Los diseños actuales se dividen en cuatro grupos: movimiento vertical, pudiendo ser flotante o sumergido; y movimiento articulado, que al igual que los dispositivos que aprovechan el movimiento vertical pueden flotantes o sumergidos. [9]

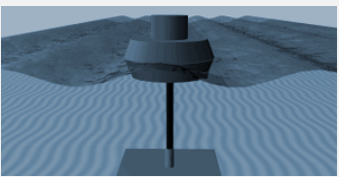
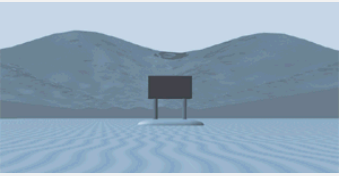
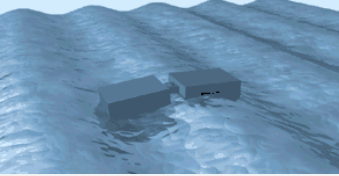
<b>Movimiento vertical flotante</b>	
<b>Movimiento vertical sumergido</b>	
<b>Movimiento articulado flotante</b>	



Tabla 2: Dispositivos con movimiento oscilatorio [fuente: INABESA, Universidad de Sevilla]

A continuación, se explicarán los dispositivos existentes en cada categoría.

#### 2.4.4.3.1. Movimiento vertical flotante

**PowerBouy** es una boya diseñada por Ocean Power Technologies ubicada en zonas Offshore. Haciendo referencia al punto 4.2.2.1., este mecanismo es un absorbedor puntual capaz de obtener energía por todos los frentes. La generación de energía se realiza en la propia boya, que se encuentra sujeta al fondo marino mediante sistemas de amarre tradicionales. PowerBouy cuenta con un sistema eléctrico que se bloquea de manera automáticamente cuando la altura de las olas es excesivamente grande y deja de producir electricidad. Una vez que las olas vuelven a su tamaño normal, se reanuda la marcha y continua la generación. La electricidad es transportada a tierra por medio de cables subacuáticos. [7].

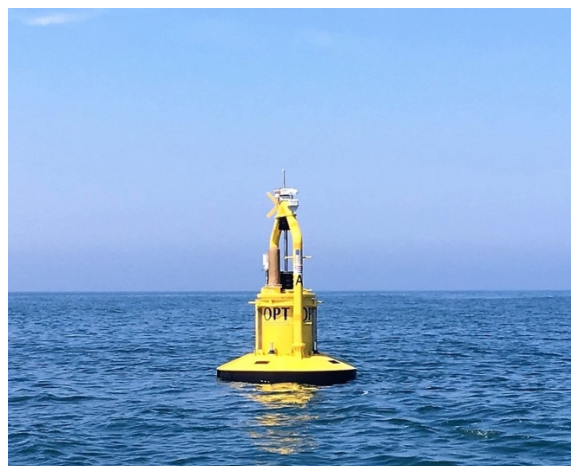


Ilustración 20: Sistema PowerBouy [fuente: oceanpowertechnologies.com]

Otro dispositivo que es un cuerpo flotante es el **Wavebob**. Se trata de una boya diseñada para zonas alejadas de la costa, preferiblemente aquellas donde la profundidad esté en torno a los 70 metros. Su diseño permite tener bajos costes de mantenimiento y operación al tener un controlador autónomo en él que permite

conocer la potencia saliente. Se utiliza un sistema hidráulico con alternadores síncronos para la conversión de energía cinética contenida en las olas en electricidad. Cada boya es capaz de obtener 1.5 MW, procedente de tres alternadores de 0.5MW. [7].

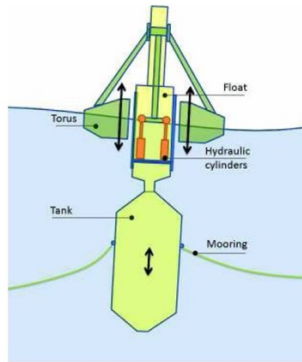


Ilustración 21: Funcionamiento WaveBob  
[fuente: deepreachtch.com]



Ilustración 22: Sistema WaveBob [fuente: sysla.no]

Continuando en la línea de boyas generadoras, otro dispositivo es **AquaBouy**. La electricidad se genera debido al movimiento vertical de las olas. Un pistón recibe dicho movimiento e impulsa agua a través de dos mangueras que actúan como bombas. El agua a presión fluye por un tubo hasta llegar a un pequeño depósito colocado en la parte superior del mecanismo, donde se aloja una turbina Pelton por la cual pasa el agua. La turbina se encuentra conectada a un generador [8].



Ilustración 23: Sistema AquaBouy [waterpowermagazine.com]



#### 2.4.4.3.2. Movimiento vertical sumergido

**Archimedes Wave Swing (AWS)** aprovecha el movimiento vertical del oleaje. El dispositivo cuenta con dos cilindros presurizados. Uno de ellos se encuentra anclado al fondo marino y el otro asciende y desciende debido a la diferencia de presión hidrostática que se crea debajo de las ondas de las olas. La generación de electricidad se lleva a cabo mediante un generador lineal acoplado al dispositivo [7].

Por otro lado, se ha desarrollado también el dispositivo AWS II que funciona con el mismo principio pero que a diferencia de su predecesor no cuenta con la parte fija que se ancla al fondo marino [13].

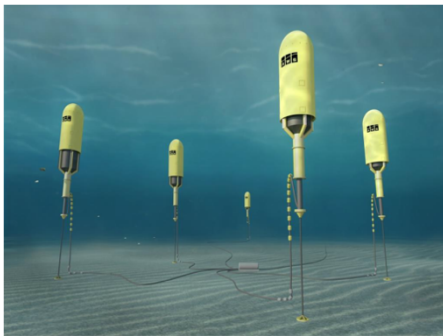


Ilustración 24: Dispositivo AWS II [awsocan.com]



Ilustración 25: Dispositivo AWS [center for renewable energies, 2006]

#### 2.4.4.3.3. Movimiento articulado flotante

**Pelamis** es uno de los dispositivos más desarrollados en la actualidad. Es un dispositivo flotante y articulado formado por secciones cilíndricas que están unidas mediante juntas articuladas. Los arietes hidráulicos, que soportan los movimientos de las olas, bombean aceite a alta presión a través de motores hidráulicos conectados a los generadores para producir electricidad. Se pueden unir varios dispositivos y conectarlos a tierra mediante un solo cable [7].



Ilustración 26: Sistema Pelamis [centre for renewable energies, 2006]

Pelamis se clasifica también como un atenuador capaz de captar la energía tanto del movimiento horizontal como del vertical [6].

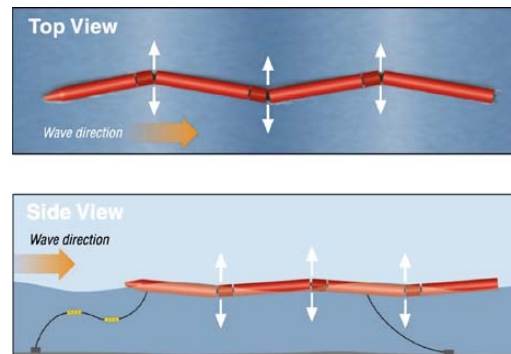


Ilustración 27: Movimientos del dispositivo Pelamis (Vistas: planta y alzado) [Joao Cruz, 2008]

El **Pato Salter** es un dispositivo flotante que aprovecha el cabeceo del oleaje a medida que la ola atraviesa el dispositivo. La conversión de energía en electricidad se da mediante un circuito hidráulico. Se trata de un sistema que presenta un buen rendimiento. Su nombre procede de la similitud de su movimiento para captar energía con la de un pato al desplazarse. Actualmente, el funcionamiento del pato salter se emplea en el dispositivo **weptos**, que cuenta con dos brazos que varían su ángulo según el oleaje. [4]

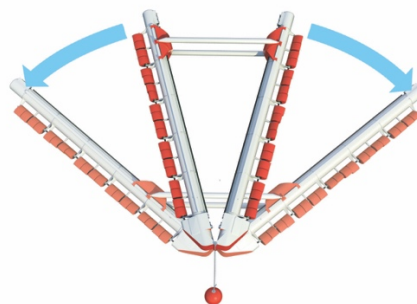


Ilustración 28: Dispositivo WEPTOS [weptos.com]

#### 2.4.4.3.4. Movimiento articulado sumergido

**WaveRoller** es un dispositivo diseñado por AW Energy Oy. Es un plato que se coloca en profundidades menores a los veinte metros. Dicho plato se encuentra amarrado al fondo marino en posición vertical, por lo que las olas generan un movimiento en el dispositivo hacia atrás y hacia delante, aprovechando el balanceo (sway). La energía cinética que transmiten las olas al plato se recoge por medio de pistones que bombean

un fluido. La conversión en electricidad puede obtenerse de dos formas: insertando un generador al plato o creando un sistema hidráulico cerrado que se conecte con un sistema de turbina generador ubicado en la costa. La potencia nominal de cada plato es de unos 350 kW aproximadamente. [7].

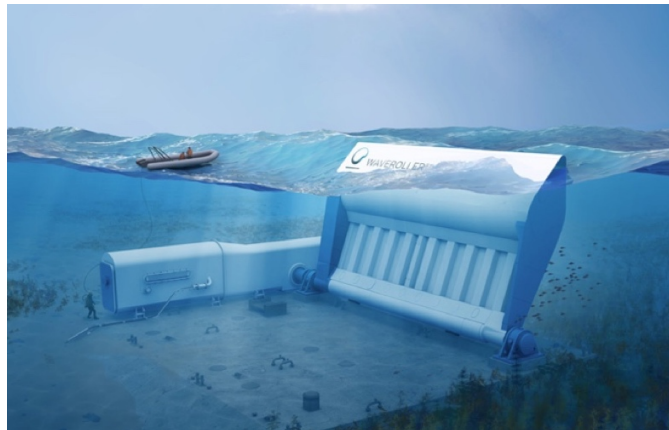


Ilustración 29: Sistema WaveRoller [aw-energy.com]

**Oyster** fue diseñado por la compañía Aquamarine y tiene un funcionamiento similar al WaveRoller. Es un dispositivo anclado al suelo marino que obtiene la energía cinética contenida en las olas media un balanceo (sway) hacia atrás y adelante [7]. Se ubica en zonas cercanas a la costa con una profundidad entre los diez y los doce metros. La generación de electricidad se produce cuando dos pistones hidráulicos, impulsados por el balanceo del dispositivo, bombean agua a alta presión hasta una turbina ubicada en la línea de costa, que, a su vez, está conectada a un generador. En la actualidad, Oyster genera un 64 GW con dispositivos ubicados a lo largo de todo el globo terráqueo. [4]

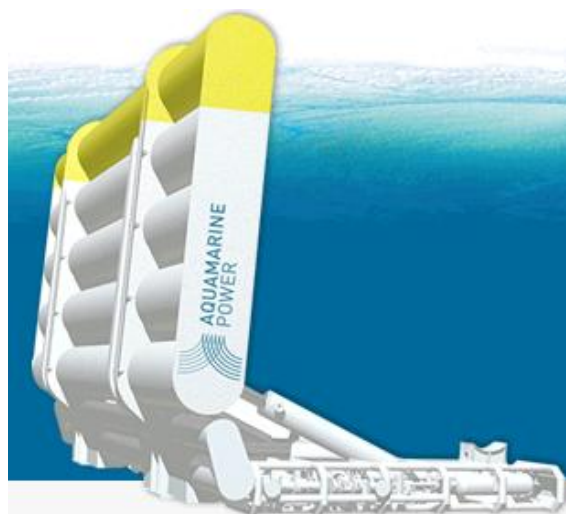


Ilustración 30: Dispositivo Oyster [reuk.co.uk]

El **BioWAVE**, es un dispositivo inspirado en el movimiento de las algas que funciona de manera similar a los dos anteriores. El principio de funcionamiento es el mismo utilizado en el dispositivo Oyster y el WaveRoller. Sin embargo, la obtención de electricidad se realiza en el propio dispositivo gracias al dispositivo O-Drive, que utiliza un sistema de pistones. Cada dispositivo BioWAVE puede producir hasta 250 kW o lo que es lo mismo, suministrar energía a 200 familias. [15]



*Ilustración 31: Dispositivo BioWave  
[bps.energy/biowave]*



*Ilustración 32: Dispositivo O-Drive [bps.energy]*

### 2.4.5. Resumen de la clasificación de los dispositivos

A continuación, se muestra la Tabla 3. En esta tabla se realiza un resumen de los diferentes dispositivos de conversión de energía undimotriz comentados anteriormente.

Los dispositivos más empleados en la actualidad son los del tipo OWC emplazados en la superficie costera y los pelamis. Los primeros han tenido grandes rendimientos gracias al uso de turbinas neumáticas Wells, aunque todavía se espera que su desarrollo sea mayor para que puedan convertirse en una alternativa real a los combustibles fósiles.

No obstante, como se observa en la tabla, el desarrollo de los dispositivos referentes a esta tecnología ha sido notable durante las últimas décadas. Muchos de ellos están siendo modificados para que puedan soportar las condiciones marítimas sin sufrir daños en su estructura y, además, obtener un buen rendimiento en la conversión de energía.

Dispositivo	Distancia a la costa	Forma geométrica	Principio de captación	Sistema de conversión
<b>OWC</b>	OnShore	Terminador	OWC	Turbina neumática
<b>OWC flotante (Oceanlinx MK)</b>	Nearshore	Terminador	OWC	Turbina neumática
<b>Wave Dragon</b>	Offshore	Terminador	Rebosamiento	Turbina hidráulica
<b>TAPCHAN</b>	Onshore	Terminador	Rebosamiento	Turbina hidráulica
<b>PowerBouy</b>	Offshore	Abosorbedor puntual	Movimiento vertical flotante	Circuito hidráulico
<b>WaveBob</b>	Offshore	Abosorbedor puntual	Movimiento vertical flotante	Circuito hidráulico
<b>Aquabouy</b>	Offshore	Abosorbedor puntual	Movimiento vertical flotante	Turbina hidráulica

<b>Pelamis</b>	Offshore	Atenuador	Movimiento articulado flotante	Circuito hidráulico
<b>WaveRoller</b>	Nearshore	Abosorbedor puntual	Movimiento articulado sumergido	Circuito hidráulico
<b>Oyster</b>	Nearshore	Abosorbedor puntual	Movimiento articulado sumergido	Turbina hidráulica
<b>BioWAVE</b>	Nearshore	Abosorbedor puntual	Movimiento articulado sumergido	Circuito hidráulico
<b>Archimedes Wave Swing</b>	Offshore	Absorbedor Puntual	Movimiento vertical sumergido	Transmisión mecánica (generador lineal)
<b>Weptos (pato Salter)</b>	Offshore	Atenuado	Movimiento articulado flotante	Circuito hidráulico

*Tabla 3: Resumen de la clasificación de los dispositivos actuales [fuente: elaboración propia]*

## 2.5. Ventajas e inconvenientes.

La energía undimotriz presenta diferentes ventajas e inconvenientes que se analizarán a continuación.

Se trata de una fuente de energía limpia que no emite ningún tipo de contaminante gaseoso que puedan incrementar el efecto invernadero o producir contaminantes secundarios, y tampoco produce ningún tipo de residuo químico que pueda ser perjudicial para la flora o fauna acuática. Además de ser una energía limpia, es renovable, ya que las olas son originadas por el viento incidente en la superficie del océano, y el viento a su vez es originado debido a la diferencia de temperatura con la que el sol calienta la superficie terrestre.

Como ya se ha comentado con anterioridad, el potencial undimotriz existente en el planeta es muy alto, que sumado a la fácil de predicción del oleaje hace que la energía undimotriz pueda ser una alternativa al uso de combustibles fósiles.

La producción de electricidad procedente de las olas puede utilizarse para abastecer pequeñas poblaciones remotas costeras a las que no es posible acceder con la red eléctrica.

Por otra parte, el transporte de la energía de los sistemas OWC es sencillo y barato al estar emplazados en la superficie costera. Los dispositivos OWC emplazados en diques amortiguan el oleaje facilitando así la entrada de embarcaciones a los puertos.

Aunque el impacto visual que producen los dispositivos de undimotriz es evidente, es mucho menor que el impacto visual provocado por otras energías renovables, como, por ejemplo, los aerogeneradores empleados en la energía eólica.

En cuanto a los inconvenientes cabe destacar el alto coste que requieren los dispositivos, no sólo en su desarrollo, si no también en su mantenimiento, ya que existen diferentes factores que pueden deteriorar los dispositivos. La acción continuada del oleaje sobre los dispositivos y las grandes tormentas que éstos deben soportar pueden provocar daños estructurales o de funcionamiento. Además, la alta salinidad contenida en el agua marina provoca corrosión en los dispositivos. El coste no es el único inconveniente en el mantenimiento de los dispositivos, la accesibilidad a los mismo también puede condicionar su producción energética.

El uso de boyas para la predicción del oleaje facilita la obtención de energía mediante sistemas undimotrices, sin embargo, el potencial undimotriz se encuentra repartido de forma desigual a lo largo de los océanos lo que implica que no todos los emplazamientos son válidos para la colocación de un dispositivo. Este potencial no depende solamente de la ubicación sino que su distribución es irregular a lo largo de los doce meses del año, teniendo los mayores potenciales en invierno.

Actualmente, la tecnología undimotriz se encuentra en vías de desarrollo y existen muy pocos precedentes de dispositivos que sigan funcionando hoy en día, lo que dificulta el desarrollo de nuevas centrales.

Tanto los dispositivos onshore como offshore pueden provocar impactos en el medioambiente. Estos impactos pueden ser a nivel visual o afectando la vida de la flora y la fauna del ecosistema en el que se implante el dispositivo undimotriz. Además, se debe tener en cuenta que en cualquier dispositivo ubicado en el mar existe la posibilidad de que crezca vegetación marina o que fauna acuática habite ahí, pudiendo deteriorar el dispositivo.

En los dispositivos Onshore existe un menor potencial que en dispositivos ubicados mar adentro debido al choque de las olas con el fondo marino. Los dispositivos OWC ubicados en la costa producen un ruido excesivo que puede provocar alteraciones en tanto en la fauna como en la población humana. En estos dispositivos, además de los impactos ambientales que pueden generar, también existen conflictos turísticos ya que la construcción de un dique para poder construir la central puede quitar las playas a los habitantes de la localidad.

Los mayores inconvenientes en los dispositivos Offshore son que pueden afectar a la navegación de embarcaciones y la necesidad de un cable acuático ubicado en el fondo marino que respete el medio ambiente para el transporte de la electricidad hasta la superficie terrestre.



### **3. Selección de la tecnología**

#### **3.1. Justificación**

La elección de la tecnología OWC se ha realizado en función de los siguientes parámetros:

- Como se ha contención en la Tabla 3, la tecnología OWC se encuentra bastante desarrollada en comparación con el resto de dispositivo, ya que muchos de ellos se encuentran en fases de desarrollo. Por otro lado, la viabilidad de este tipo de centrales queda demostrada ya que las plantas OWC existentes suministran electricidad a la red.
- La central se sitúa en la costa y, por tanto, los costes en la instalación y en el mantenimiento de esta se ven reducidos, ya que, el transporte de materiales hasta la zona es más barato.
- La tecnología OWC, cómo ya se ha explicado con anterioridad, consiste en hacer fluir una masa de aire impulsada por las olas a través de una turbina neumática. Es por ello que, el desgaste de los componentes del sistema es menor al no estar en contacto directo con el agua del mar.
- La instalación de la planta undimotriz se puede llevar acabo en una superficie ya construida, por ejemplo, un dique, y aprovechar dicho espacio para la generación de electricidad de forma limpia.
- Por otro lado, las turbinas de la central serán de tipo Wells, y, cómo se explicará más adelante, este tipo de turbinas tienen un buen rendimiento, son capaces de tener una velocidad de rotación alta para obtener la máxima potencia de olas con una velocidad baja. Y, también, son sencillas de diseñar.

#### **3.2. Situación actual de dispositivos OWC**

Una vez vistas las diferentes formas de clasificación de los dispositivos undimotriz, nos centraremos en aquellos que emplean la tecnología OWC y se encuentran ubicados en zonas onshore. Las plantas más relevantes en este aspecto son las de LIMPET, Pico y Mutriku.

### 3.2.1. Planta de LIMPET

La planta de LIMPET, cuyas siglas provienen de “Land Installed Marine Power Energy Transmitter”, se encuentra en la isla de Islay, en la costa oeste de Escocia. El desarrollo y diseño de la planta fue llevado a cabo por la empresa inglesa Wavegen y la universidad de Belfast. [6]

La construcción de la central tuvo lugar entre 1998 y 2001 con el fin de sustituir al prototipo a escala que contaba con una potencia de 75 kW. Su inauguración se llevó a cabo en diciembre del año 2000 y fue la primera planta de energía undimotriz en suministrar electricidad a la red eléctrica.

La extracción de la energía procedente de las olas se realiza mediante dos turbinas neumáticas Wells, cada una con una potencia de 250 kW, teniendo la planta un total de 500 kW de potencia.

LIMPET ha sido un referente en la tecnología OWC, ya que, por ejemplo, la planta de Mutriku se basa en ésta. No obstante, la electricidad suministrada a la red ha sido menor de la esperada debido a un menor rendimiento en la conversión de la energía.

La central de LIMPET, a pesar de lo citado anteriormente, fue todo un éxito en cuando a la obtención de electricidad procedente de las olas. Tanto la turbina como el rompeolas han sobrevivido a varios temporales, lo que sentó un precedente para la posible explotación de la energía de las olas con poco mantenimiento. Desde su construcción, la planta ha servido como centro de ensayos donde diferentes, tanto mecánicos (turbinas) como eléctricos (generadores) se han probado en condiciones reales para poder obtener datos reales del funcionamiento de los mismos.



*Ilustración 33: Planta de LIMPET [fuente: wavepower.ek.la]*

### 3.2.2. Planta de Mutriku

La planta de Mutriku, Guipúzcoa, es la primera central undimotriz que suministra electricidad a la red. Su construcción comenzó en 2008 y fue llevada a cabo por la misma empresa que diseñó LIMPET, Wavegen. Desde su inauguración en julio de 2011, la central se encuentra gestionada por el Ente Vasco de la Energía (EVE). [15]

La planta consta de un grupo de 16 turbinas Wells con una potencia de 18,5 kW cada una, llegando a los 296 kW en total. El coste total de la construcción ascendió a 6,7 millones de euros, de los cuales 4,4 millones se destinaron a la construcción del dique.

La generación de electricidad en Mutriku también ha sido menor que las previsiones iniciales. En un principio, se estimaba una producción cercana a los 600000 kWh, sin embargo, la producción actual es de 300000 kWh. Este bajo rendimiento se debe a dos factores: primeramente, sólo se encuentran funcionando 14 de las 16 turbinas, ya que los laterales de la central no se encuentran completamente sellados y en el caso de que estuvieran funcionando se perdería presión; segundo, algunas de las turbinas no han funcionado al total de su capacidad ya que se han estado ensayando diferentes mejoras.

Al igual que la planta de LIMPET, la central de Mutriku está enfocada a la posibilidad de ensayar nuevos dispositivos en condiciones reales de funcionamiento.



Ilustración 34: Planta de Mutriku [fuente: eve.eus]

### 3.2.3. Planta de Pico

La planta undimotriz de Pico, ubicada en las Azores, se construyó desde 1995 hasta 1999, sin embargo, debido a diferentes problemas provocados inundaciones su puesta en marcha se retrasó hasta el año 2003. Su emplazamiento se decidió teniendo en cuenta el alto potencial undimotriz existente en la zona norte de las costas de Pico. Además, aunque el rompeolas se encuentra en zonas acantiladas, el acceso para su mantenimiento era sencillo [7].

La central fue diseñada por el Instituto Superior Técnico (PT) con la cooperación de la Comisión Europea. La planta consta de una turbina neumática de 400 kW de potencia a través de la cual circula el flujo de aire impulsado por las olas.

La motivación inicial de este proyecto era poder demostrar la posibilidad de abastecer energéticamente pequeñas redes con el fin de poder implantar más centrales con esta en diferentes lugares apartados del continente, como las islas [16].



*Ilustración 35: Planta de Pico [pico-owc.net]*

## 4. Emplazamiento.

Como se describe en el apartado 3 de este documento, la finalidad de emplear la tecnología OWC es aprovechar emplazamientos costeros, como diques de abrigo, para la generación de electricidad.

Teniendo en cuenta la necesidad de buscar un dique de abrigo para emplazar la central, el emplazamiento elegido ha sido el pueblo de Bermeo. Además de que Bermeo cuenta con un dique de abrigo con unas dimensiones lo suficientemente grandes como para poder instalar la central, se ha seleccionado como emplazamiento por los siguientes motivos:

- El País Vasco es la comunidad autónoma con mayor implicación en el tema de energías renovables. El EVE (Ente Vasco de Energía) ha realizado numerosos planes de energías para sustituir el uso de combustibles fósiles.
- La costa vasca presenta unos altos niveles de potencial undimotriz que pueden ser aprovechados para la generación de electricidad.
- La costa vasca se encuentra dentro de la Red de Áreas Marinas Protegidas de España (RAMPE) [17]. No obstante, Bermeo se encuentra fuera de dicha protección, por lo que la construcción de una central undimotriz sería viable.



*Ilustración 36: Mapa de Áreas Marinas Protegidas en España [geoportal]*

El proyecto se llevará a cabo en el dique del Puerto, por lo que será necesaria una concesión por parte del ayuntamiento de Bermeo y del Gobierno Vasco para la modificación del dique y la futura construcción de la planta undimotriz en el mismo.



*Ilustración 37: Mapa de Bermeo [fuente: google maps]*

El dique de Bermeo, que protege el puerto y la costa del pueblo, tiene unas dimensiones de 540 metros de largo y un ancho máximo de 17,65 metros [19]. Se trata de un dique de gran longitud que permite poder emplazar las turbinas en la parte más alejada de la costa, para disminuir los ruidos posibles. Además, esta gran longitud, permitirá poder ampliar la central en el futuro, cuando la tecnología OWC se encuentre más desarrollada y sus rendimientos sean mejores.

Una vez calculada la demanda eléctrica de la población, se realizan los cálculos del potencial undimotriz para comprobar si es posible suministrar dicha energía con el recurso energético disponible en la zona.

Los datos obtenidos del flujo undimotriz son comparados con los datos facilitados por el EVE (Ente Vasco de la Energía) [24] sobre la cantidad de recurso energético disponible en Mutriku. Esta comparación nos muestra que el desarrollo de la central en la localidad es viable.

## 5. Cálculos

### 5.1. Demanda energética

La finalidad de este proyecto es suministrar electricidad a Bermeo, un pueblo costero en Guipúzcoa. Para ello, es necesario conocer la demanda eléctrica de la población.

Para dicho estudio, se tendrán en cuenta los gastos de consumo privado por cada hogar y los gastos de consumo público.

Para establecer el consumo medio de cada hogar nos basados en el estudio realizado por el IDAE sobre '*Consumos del sector residencial en España*' [19]. Este documento establece que el consumo medio de electricidad de un hogar es de 3.487 kWh. No obstante, para el cálculo del consumo por vivienda utilizaremos el consumo medio según la zona climática, siendo éste de 0,799 tep (tonelada equivalente de petróleo) para la zona del Atlántico Norte.

En Bermeo hay unos 16.776 habitantes, por lo que, para obtener el consumo total en los hogares, se supone una media de cuatro habitantes por hogar, es decir, tendremos unos 4194 hogares en Bermeo a los que suministrar electricidad.

$$\begin{aligned} \text{Consumo Hogares} &= 0,799 \text{ tep} * \frac{11630 \text{ kWh}}{1 \text{ tep}} * 4194 \text{ hogares} \\ &= 38.972.199,98 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \end{aligned}$$

Por otro lado, el estudio del consumo público se ha obtenido a partir de la auditoria energética y lumínica realizada por la empresa AAC Centro de Acústica Aplicada SL para el ayuntamiento de Bermeo [20].

La auditoria se realizó en el año 2010 para conocer el consumo energético procedente del alumbrado público con el fin de mejorar la eficiencia energética de Bermeo, así como poder reducir la contaminación lumínica existente. Para ello, se tuvieron en cuenta los datos procedentes de los 38 centros de mando del alumbrado que hay en la localidad.

Parámetros		Bermeo
Nº de puntos de luz		2096
Consumo Alumbrado Público (kWh/año)		1.467.945,54
Consumo Alumbrado Público (€/año)		188.193,63
Nº habitantes		16.776
Consumo energético	€/hab. año	11,05
	kWh/hab. Año	86,21

Tabla 4: Consumo del Alumbrado Público en Bermeo [fuente: ACC centro de acústica]

$$\text{Consumo Alumbrado Público Bermeo} = 1.467.945,54 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

$$\text{Consumo Total Bermeo} = 40.440.145,32 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

Actualmente, la obtención de electricidad procedente de la energía undimotriz no se encuentra muy desarrollada y los sistemas de conversión undimotrices no son capaces de obtener una cantidad de energía tan grande como para poder suministrar electricidad para satisfacer tanto el consumo privado como el público. Es por ello, que diseño de la central y, por consiguiente, el diseño de la turbina, estarán enfocados a poder suministrar la energía necesaria para el alumbrado público.

Por otro lado, se debe tener en cuenta, cómo ya se ha comentado en las desventajas de esta tecnología, que el potencial undimotriz en esta localidad no se encuentra repartido de forma equitativa a lo largo de todos los meses del año. En invierno se obtiene un potencial mayor que en verano coincidiendo con días más cortos en inviernos, y, por tanto, mayor demanda de electricidad para mantener el alumbrado público.

Es necesario conocer la curva de la demanda energética de Bermeo para poder realizar los cálculos de dimensionamiento de la turbina. Teniendo en cuenta que la central va a suministrar la energía necesaria para el alumbrado público, debemos estudiar la curva de demanda del alumbrado para un día tipo.



Las horas de utilización del recurso energético en invierno serán aproximadamente desde las 19:00 hasta las 8:00 y en verano desde las 21:30 hasta las 7:00.

Suponiendo que la mitad del año se emplea el horario de invierno y la otra mitad el horario de verano, existen en total 4106 horas de funcionamiento del alumbrado público al año. Con los datos de consumo obtenido gracias a la auditoria ACC, el consumo realizado durante cada hora es de 357,5 kW.

En las graficas siguientes se muestra el consumo de un día tipo de verano y otro de invierno, en función de las horas de funcionamiento.



Ilustración 38: Consumo del alumbrado público en invierno en Bermeo [fuente: elaboración propia]

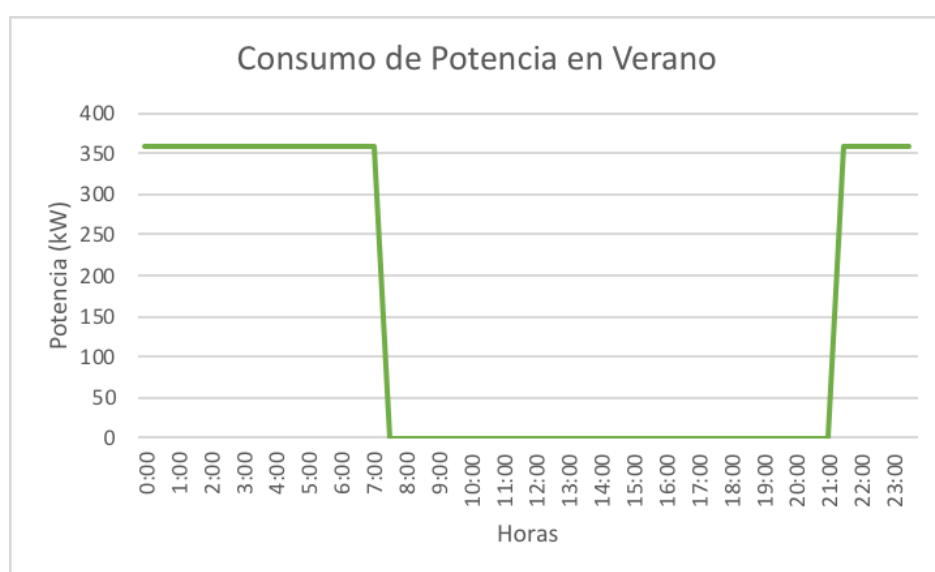


Ilustración 39: Consumo del alumbrado público en verano en Bermeo [fuente: elaboración propia]

## 5.2. Potencial Undimotriz

Existe un alto potencial undimotriz en las costas españolas, sobre todo en las costas del Mar Cantábrico. Una de las ventajas de la energía undimotriz es la fácil predicción de la altura del oleaje y del periodo del oleaje gracias a los datos recogidos por las numerosas boyas y puntos SIMAR que se encuentran en los mares.

El potencial undimotriz es directamente proporcional al cuadrado de la altura del oleaje y al periodo del oleaje, relacionados de la siguiente forma [4]:

$$P = \frac{g^2 \rho H^2 T}{32 \pi} \left( \frac{kW}{m} \right) \quad (3)$$

Donde:

- g: gravedad.  $g=9,81 \text{ m/s}^2$ .
- $\rho$ : densidad del agua del mar.
- H: altura de la ola. Expresada en metro [m].
- T: periodo de la ola. Expresado en segundos [s].

La densidad del agua del mar varía en función de la temperatura y la salinidad del agua. Durante los meses del año la salinidad del Mar cantábrico en Bermeo varía mínimamente, por lo tanto, se empleará un valor de 35,5 g/L. Por el contrario, la variación de la temperatura del agua si es notable. Los datos de la temperatura se han obtenido a partir de la página de puertos del estado. En la siguiente tabla aparece el cálculo de la densidad en función de estos parámetros. El cálculo de la densidad se ha realizado a partir de un Excel desarrollado por Environmental Fluid Mechanics [21].

Mes	Temperatura Media del Agua (°C)	Salinidad (g/L)	Densidad (Kg/m³)
Enero	13,9	35,5	1026,54
Febrero	13,6	35,5	1026,61
Marzo	15,8	35,5	1026,05
Abril	16,1	35,5	1025,97
Mayo	19,5	35,5	1025,05
Junio	23,3	35,5	1023,93

Julio	23,1	35,5	1023,99
Agosto	24,6	35,5	1023,53
Septiembre	22,5	35,5	1024,17
Octubre	20,7	35,5	1024,7
Noviembre	18,1	35,5	1025,44
Diciembre	15,4	35,5	1026,16
Media			1025,18

*Tabla 5: Densidad del agua del mar en Bermeo [fuente: elaboración propia, Datos: puertos del estado]*

Para los cálculos de Potencial Undimotriz se ha empleado una densidad media de  $1025 \text{ kg/m}^3$ .

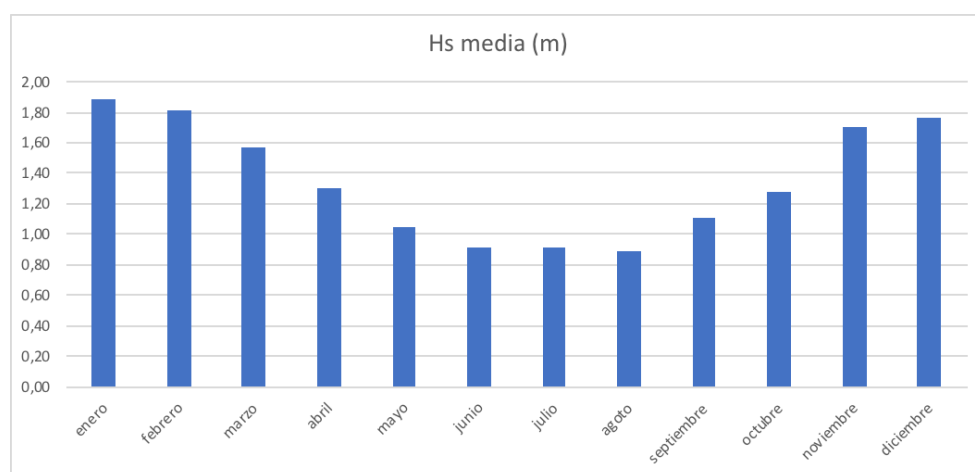
Los datos para calcular el potencial se obtienen de los puntos SIMAR. Estos datos son series temporales que no tienen origen en la naturaleza, si no que proviene de datos de simulación. [22]

Los datos existentes en Puertos del Estado proceden de dos modelados diferentes: SIMAR 44 y WANA. El primero obtiene los datos a partir del conjunto de puntos SIMAR que cubren todo el litoral español mostrando el nivel del mar, oleaje y demás parámetros del clima marino. Su periodo operativo fue desde 1958 hasta 1999 [22]. El segundo, son las series que funcionan desde el año 2000 hasta la actualidad. La predicción y medición de estos datos se ha realizado en conjunto por Puertos del Estado y la Agencia Estatal de Meteorología. A diferencia de los datos facilitados por SIMAR-44, los datos de WANA no son datos de predicción basados en un modelo si no que son datos de análisis.

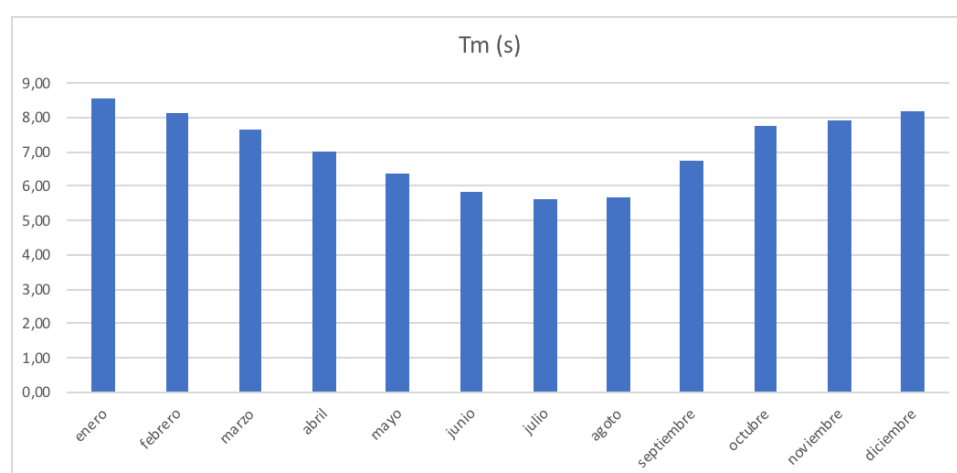
Para el cálculo del potencial undimotriz existente en Bermeo se emplean los datos recogidos por el punto SIMAR 3163035, que tiene una latitud de  $43,46^\circ \text{ N}$  y una longitud de  $-2,71^\circ \text{ W}$ . Para calcular dicho flujo energético, emplearemos los datos de Altura significativa (Hs) y Periodo medio (Tm).

- La altura significativa es la media aritmética del tercio de olas más altas registradas en un muestreo. [23]
- El periodo medio es la media de los periodos registrados en una serie temporal.

Con el fin de obtener los datos con la mayor fiabilidad posible, se ha realizado la media de los datos de altura significativa y periodo medio de los últimos 20 años. Estos datos se muestran a continuación en las ilustraciones 40 y 41.



*Ilustración 40: Media desde 1998 hasta 2007 de la altura significativa de las olas en Bermeo [fuente: elaboración propia, Datos: Puerto del estado]*



*Ilustración 41: Media desde 1998 hasta 2007 del Periodo medio de las olas en Bermeo [fuente: elaboración propia, Datos: Puerto del estado]*

Una vez realizada la media de la altura y el periodo del oleaje, se calcula el potencial undimotriz disponible en la costa de Bermeo. Para los resultados distinguimos entre los meses de invierno (diciembre, enero, febrero), de primavera (marzo, abril, mayo), de verano (junio, julio, agosto) y de otoño (septiembre, octubre, noviembre).

Estación	Altura Media	Periodo	Gravedad	Densidad	Potencial Medio
Invierno (DEF)	1,82 m	8,28 s	9,81 m/s <sup>2</sup>	1025 kg/m <sup>3</sup>	27,09 kW/m
Primavera (MAM)	1,30 m	7,02 s	9,81 m/s <sup>2</sup>	1025 kg/m <sup>3</sup>	12,35 kW/m
Verano (JJA)	0,90 m	5,72 s	9,81 m/s <sup>2</sup>	1025 kg/m <sup>3</sup>	4,60 kW/m
Otoño (SON)	1,37 m	7,48 s	9,81 m/s <sup>2</sup>	1025 kg/m <sup>3</sup>	14,44 kW/m

Tabla 6: Potencial Undimotriz en Bermeo por Estaciones [fuente: elaboración propia]

A continuación, se establece una comparativa de los datos obtenidos en la costa de Bermeo con los datos de potencial undimotriz de la central de Mutriku facilitados por el EVE. [24]

	Bermeo	Mutriku
Potencial Medio en Invierno	27,09 kW/m	44 kW/m
Potencial Medio en Primavera	12,35 kW/m	18 kW/m
Potencial Medio en verano	4,60 kW/m	9 kW/m
Potencial Medio en otoño	14,44 kW/m	20 kW/m

Tabla 7: Potencial Undimotriz en Bermeo y Mutriku a una profundidad indefinida [fuente: elaboración propia, Datos Mutriku: EVE]

Se observa en la tabla como el potencial undimotriz a una profundidad indefinida es algo menor al existente en la localidad de Mutriku, por tanto, a nivel energético, la implantación de una central puede resultar viable.

Por otro lado, también se puede observar como la irregularidad en el potencial es notable, llegando hasta los 27 kW/m en invierno y en verano el potencial disponible es de una tercera parte, teniendo en total una media anual de 14,61 kW/m.

No obstante, a medida que se acerca a la costa, el flujo energético disminuye. Según los datos disponibles de Mutriku, el potencial se ve reducido en torno a un 50%.

	Bermeo	Mutriku
Potencial Medio en Invierno	13,54 kW/m	18 kW/m
Potencial Medio en Primavera	6,17 kW/m	8,3 kW/m
Potencial Medio en verano	2,30 kW/m	4,8 kW/m

<b>Potencial Medio en otoño</b>	7,22 kW/m	9,2 kW/m
---------------------------------	-----------	----------

*Tabla 8: Potencial Undimotriz en Bermeo y Mutriku en la costa [fuente: elaboración propia, Datos Mutriku: EVE]*

El flujo medio anual en la costa de Bermeo es de 7,30 kW/m, por lo que, como se ha comentado anteriormente, la generación eléctrica es viable. No obstante, en la siguiente gráfica se observa como el potencial medio en los meses de verano es muy bajo, lo que puede provocar dificultades a la hora de la producción energética. Es por ello que, durante alguno de los meses de verano, algunas cámaras de la central se podrían emplear como infraestructuras para ensayos de nuevos componentes con fin de mejorar la tecnología OWC. Además, durante dichos meses se pueden llevar a cabo las revisiones de mantenimiento, tanto en el dique como en las turbinas, y reparar los daños que se hayan podido causar durante las tormentas de invierno.

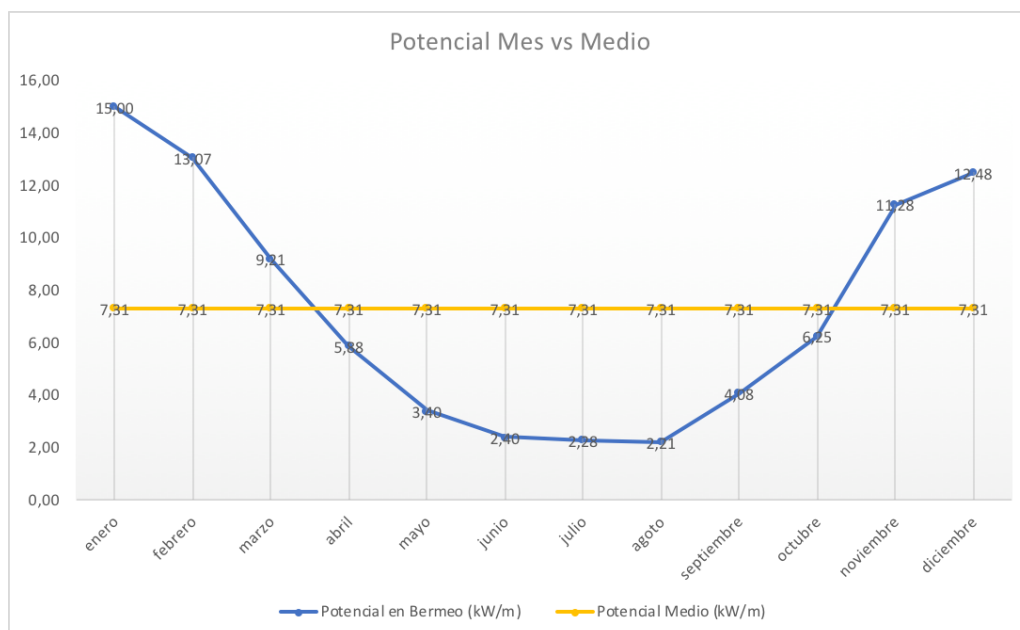
Aunque el potencial medio en Bermeo es menor que en Mutriku, es importante tener en cuenta la gran longitud del dique y la posibilidad de añadir numerosas cámaras con el fin de generar más electricidad.

Como se explica en el apartado 5.3.3. con el fin de aprovechar el máximo potencial disponible, la central se emplazará en el extremo más alejado del dique. El diseño de la central consta de 19 cámaras para aprovechar el espacio disponible de la central. Las cámaras tendrán una boca de cámara de cinco metros de ancho.

La potencia disponible se calcula como el potencial por los metros de ancho de cámara disponibles. Por lo tanto, teniendo un potencial medio de 7,30 kW/m, 19 cámaras y un ancho de 5 metros cada cámara, la potencia total disponible es de 693,5 kW.

$$Potencia = 7,30 * 5 * 19 = 693,5 \text{ kW}$$

A continuación, se muestra una comparativa del potencial disponible cada mes y el potencial medio anual en Bermeo.



*Ilustración 42: Potencial Undimotriz en Bermeo por meses y Potencial Undimotriz medio anual [fuente: elaboración propia]*

### 5.3. Diseño y dimensionamiento de la central

El desarrollo de la central constará de dos partes: una primera que consistirá en una modificación del dique de abrigo del puerto para poder introducir las cámaras; y una segunda que consistirá en el diseño de una turbina Wells que se ubicarán en dichas cámaras.

#### 5.3.1. Puerto de Bermeo

Actualmente el puerto de Bermeo es uno de los puertos con más actividad marítima del País Vasco. Esta actividad se remonta hasta la Edad Media, cuando la pesca y el comercio tuvieron un gran auge. Es por ello, que, con el fin de recuperar su carácter comercial, en agosto de 2001 tuvo lugar un concurso convocado por el Gobierno Vasco y el Ayuntamiento de Bermeo que obtuvo la UTE para desarrollar el área de Portu Zaharra de Bermeo. [18]

Hoy en día, el puerto consta de tres astilleros privados, seis carros varaderos, una rampa de varada, grúas, talleres de reparación, tomas de combustible y electricidad, etc.

La ampliación del dique de abrigo no supone ninguna variación en la actividad del puerto ni en ninguno de los servicios, ya que las obras se realizan en la parte exterior del mismo, zona que tampoco tiene repercusión para la entrada de barcos al puerto.

Las características del dique son las siguientes:

- Coordenadas: 43° 25' N; 2° 43' W.
- Longitud: 540 m.
- Anchura: 17,65 m.
- Altura máxima: 12,8 m.
- Carrera de marea: 4,8 m.



El dique de Bermeo cuenta con una gran actividad tanto comercial como recreativa. Es por ello que, el dique se encuentra dividido en varias zonas, que quedan definidas en la Ilustración 42 [18]:

- La zona roja se encuentra habilitada como zona comercial y de pasajeros.
- La zona morada está destinada como zona de reparaciones para las diferentes embarcaciones del puerto.
- La zona verde se encuentra disponible para embarcaciones de recreo
- Las zonas naranjas son utilizadas para el amarre de las embarcaciones pesqueras.

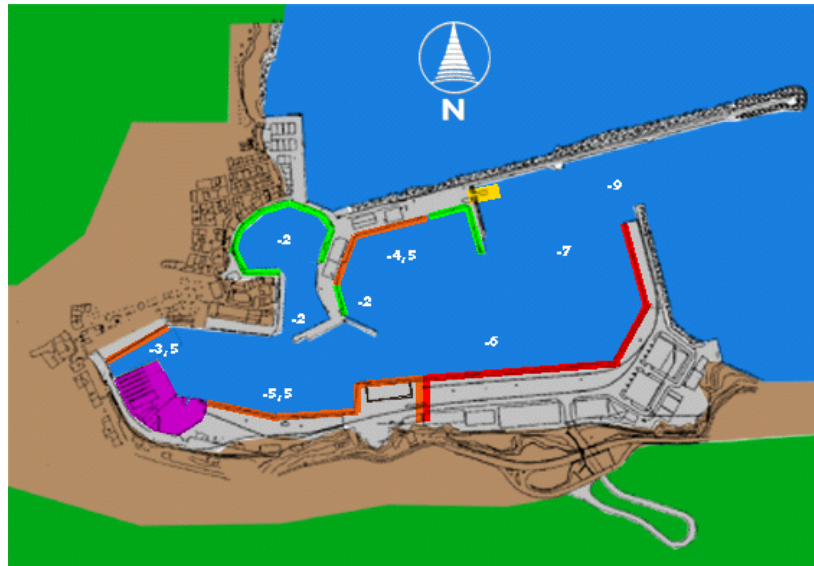


Ilustración 43: Plano del Puerto de Bermeo [fuente: <http://www.euskadi.eus/informacion/puerto-de-bermeo-vizcaya/web01-a2garrai/es/>]

### 5.3.2. Modificación del dique

Las obras para la modificación del dique se llevarán a cabo en el extremo más alejado de la costa de Bermeo en lugar de en todo el dique. Esto se debe a que al tratarse de una energía que no se encuentra muy desarrollada la inversión necesaria es muy elevada y es preferible tener una central más reducida con vistas a una futura ampliación cuando su funcionamiento y rendimiento queden demostrados.

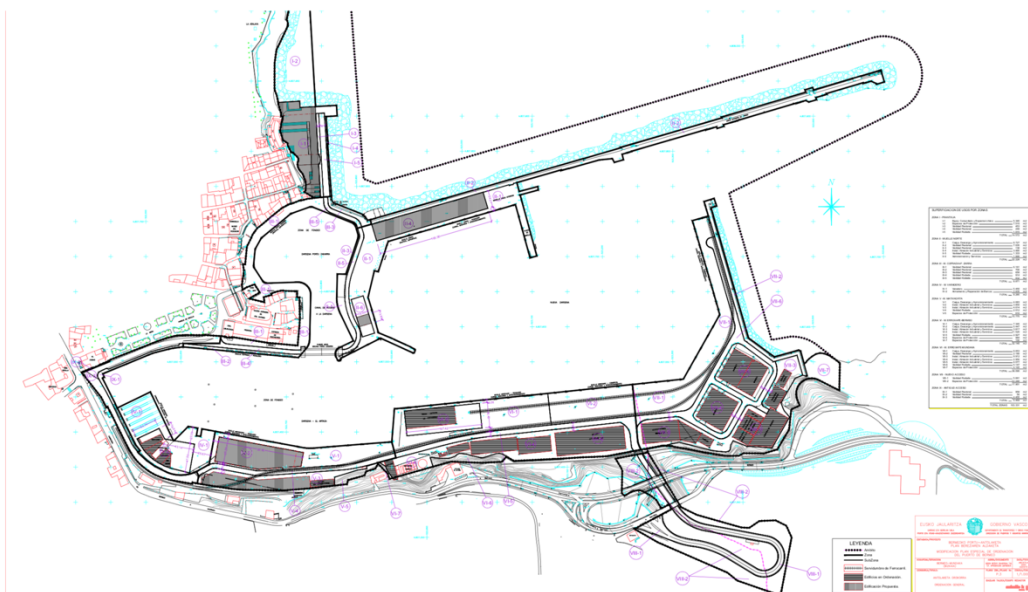


*Ilustración 44: Emplazamiento de la planta undimotriz en el dique de abrigo [fuente: google maps]*

Las obras consistirán en incrementar el ancho del dique en 13,8 metros y la altura en 1,7 metros, para dar lugar a la construcción de las cámaras de aire. Se construirán 19 cámaras, además de acondicionar una sala de mandos para poder controlar las diferentes variables de la central una vez que se encuentre en funcionamiento. Por otro lado, se modificará el exterior del dique para facilitar el acceso a la sala de control y a las cámaras y así poder realizar las tareas de mantenimiento de manera más sencilla.

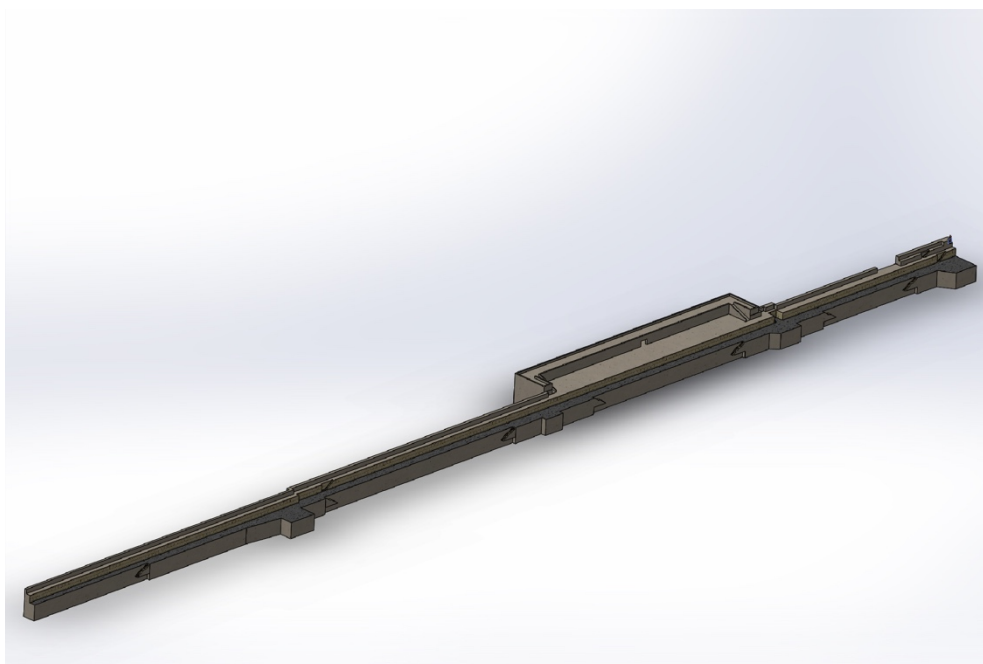
La modificación del dique dará lugar a una nueva forma de aprovechar el espacio del puerto de Bermeo, además, de las ya mencionadas anteriormente. Esta ampliación no influirá en la vida comercial y deportiva del puerto. Aunque, se debe de tener en cuenta que la posible reflexión de las olas al incidir en la central pueda dificultar la navegación. No obstante, esta será mínima ya que la obra nueva no varía bruscamente la forma del dique.

En el documento de planos, se pueden observar los planos antes y después de la ampliación. A partir de los planos del dique en AutoCAD, facilitados por el Gobierno Vasco, se ha llevado a cabo una reconstrucción de este en SolidWorks.



*Ilustración 45: Plano del Puerto de Bermeo [fuente: Gobierno Vasco]*

Una vez realizado el diseño del dique original, se ha observado que la zona más alejada del dique es la óptima para el emplazamiento de la central para obtener un mayor potencial, ya que al alejarnos de la costa las pérdidas de potencial producidas por el contacto de las olas con el fondo marino se ven reducidas. Además, al encontrarse más alejado del pueblo se consigue disminuir los ruidos posibles ruidos generados por las turbinas que puedan afectar a la población.



*Ilustración 46: Reconstrucción del dique de abrigo de Bermeo con la implantación de la central [fuente: elaboración propia]*

La modificación del dique ha consistido en la construcción de 19 cámaras de columna oscilante de agua con las siguientes dimensiones

- Ancho de la cámara: 5 metros.
- Largo de la cámara: 3 metros.
- Altura de la cámara: 8,51 metros.
- Número de cámaras: 19.

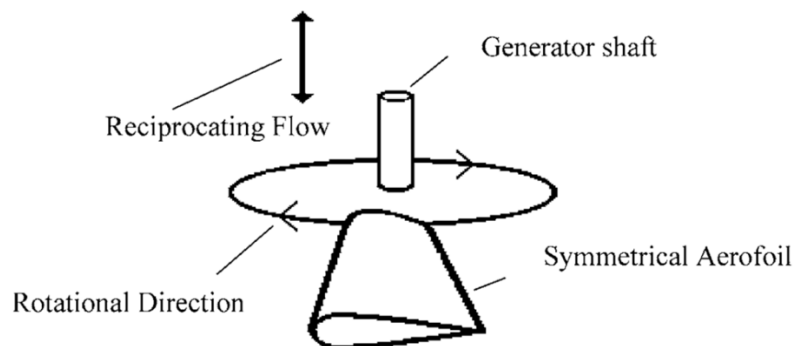
Para establecer las características geométricas de la cámara, se ha partido de los datos geométrico de las cámaras de Mutriku, de la altura actual de dique y del espacio disponible para la central.

Estos parámetros son necesarios para conocer la velocidad de entrada de las olas en la cámara y con ello poder calcular la eficiencia de la misma.

### 5.3.3. Turbina Wells

#### 5.3.3.1. Estudio aerodinámico

La turbina Wells es una turbina neumática diseñada por Alan A. Wells en la Universidad de Queens, Belfast. La turbina utiliza álabes simétricos, generalmente del tipo NACA 00xx, colocados perpendicularmente al flujo de aire incidente alrededor de un rotor circular. Los álabes simétricos permiten que el giro de la turbina sea siempre en el mismo sentido independientemente de cual sea el sentido del flujo de aire incidente. Esto permite que la generación de electricidad mediante estas turbinas sea constante. [6]



*Ilustración 47: Funcionamiento de una Turbina Wells [fuente: Joao Cruz, 2010]*

El flujo de aire incidente en los álabes genera fuerzas de sustentación y de arrastre, normal y perpendicular a la velocidad relativa respectivamente que crean un par de giro que da lugar a la rotación de la turbina.

Con el fin de poder conocer el par de giro y la diferencia de presiones que se genera en el interior de la turbina en función de la velocidad de entrada del aire, se estudian los triángulos de entrada de velocidades en los álabes. [25]

El par generado en el rotor de la turbina produce una variación de en la dirección del flujo de aire, lo que provoca una componente de energía cinética rotacional o velocidad inducida ( $U_t$ ). Esta velocidad inducida produce una variación en el triángulo de velocidad ideal a la entrada, variando el ángulo de entrada.

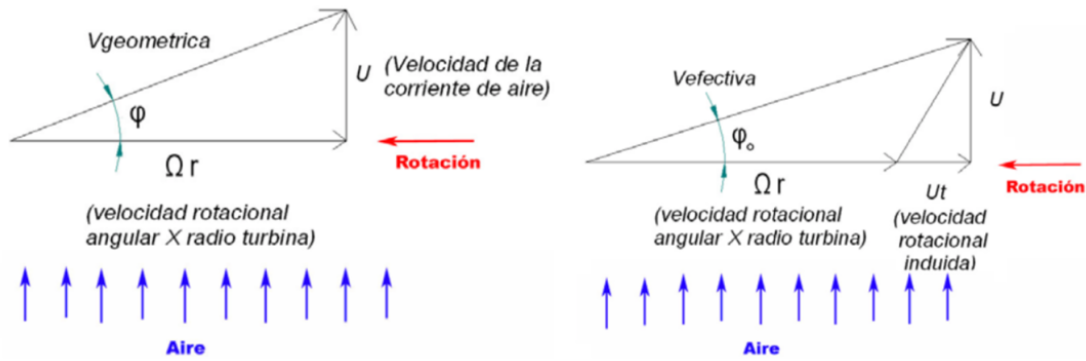


Ilustración 48: Triángulos de velocidades ideal (izquierda) y real (derecha) a la entrada [fuente: X. Salueña; J.A. Ortiz; A. Raso]

El ángulo de ataque del perfil simétrico,  $\alpha$ , es el formado entre la cuerda del álabe y la fuerza de arrastre (Drag, D) generada por el flujo de aire que entra. Por otro lado, este ángulo es el mismo que el que se forma por la bisectriz de los ángulos de la velocidad geométrica,  $V_{GEO}$ , y la velocidad efectiva,  $V_{EFEC}$ .

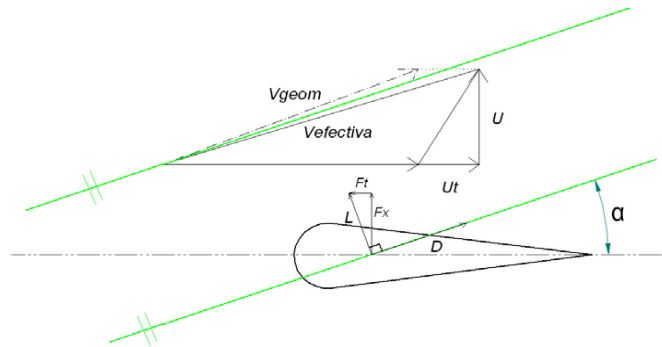


Ilustración 49: Relación del ángulo de ataque en función del triángulo de velocidades y de las fuerzas generadas en el perfil [fuente: X. Salueña; J.A. Ortiz; A. Raso]

Las fuerzas de sustentación (L) y arrastre (D) generadas a partir de sus coeficientes, la longitud de la cuerda, la densidad del aire y la velocidad efectiva, dan lugar a una fuerza tangencial ( $F_T$ ) y una normal ( $F_x$ ) al perfil del álabe. La componente  $F_x$  variará su sentido en función de la dirección de la corriente de aire. La componente tangencial,  $F_T$ , tendrá siempre el mismo sentido independientemente de la dirección de la velocidad de aire, lo que supone que el giro del rotor se produzca siempre en el mismo sentido.

$$D = \frac{1}{2} * \rho * V_{EFEC}^2 * c * C_D \quad [N] \quad (4)$$

$$L = \frac{1}{2} * \rho * V_{EFEC}^2 * c * C_L \quad [N] \quad (5)$$

$$F_T = L * \sin(\alpha) - D * \sin(\alpha) \quad [N] \quad (6)$$

$$F_x = L * \cos(\alpha) + D * \cos(\alpha) \quad [\text{N}] \quad (7)$$

Los coeficientes de sustentación ( $C_L$ ) y de arrastre ( $C_D$ ) dependen del perfil del álabe seleccionado, del ángulo de entrada y del número de Reynolds.

Una vez conocidas las fuerzas de sustentación y de arrastre es posible calcular el par generado en el rotor de la turbina en función del radio de los álabes, y, con ello, conocer el rendimiento de la misma.

$$T = (L * \sin(\alpha) - D * \cos(\alpha)) * r \quad [\text{Nm}] \quad (8)$$

$$\eta = \frac{\Omega * T}{Q * \Delta P} \quad (9)$$

Donde:

- $\Omega$ : velocidad angular de rotación (rad/s)
- T: Par de giro (Nm)
- Q: Caudal de aire a la entrada de la turbina (m<sup>3</sup>/s)
- $\Delta P$ : diferencia de presión antes y después del álabe (Pa)

#### **5.3.3.2. Análisis adimensional**

El funcionamiento de una turbina Wells queda determinado por varios grupos de números adimensionales que se encuentran en función de la densidad,  $\rho$ , y la viscosidad cinemática del aire,  $\nu$ , de la velocidad de entrada del aire, U, del radio de la turbina, R, la diferencia de presión producida en los álabes,  $\Delta P$ , el momento generado en el rotor de la turbina, T, de la cuerda del perfil, c, y la velocidad angular de esta,  $\Omega$ . [25]

$$\text{Coeficiente de Flujo} \rightarrow U^* = \frac{U}{\Omega * R} \quad (10)$$

$$\text{Coeficiente de Presión} \rightarrow \Delta P_o^* = \frac{\Delta P}{\rho * \Omega^2 * R^2} \quad (11)$$

$$\text{Coeficiente de Par} \rightarrow T^* = \frac{T}{\rho * \Omega^2 * R^5} \quad (12)$$

$$\text{Número de Reynolds} \rightarrow Re = \frac{(\sqrt{(\Omega * R)^2 + U^2}) * c}{\nu} \quad (13)$$

Por otro lado, la solidez describe la geometría de la turbina mediante la relación entre el área ocupada por las aspas y el área total descrita por el disco. En el caso de las turbinas Wells, el valor de este número adimensional no puede ser menor que 0,6, ya que, en dicho caso, la turbina no sería capaz de arrancar desde el reposo. La solidez se calcula a partir de la siguiente ecuación.

$$\sigma = \frac{B * c}{\pi * R * (1 + h)} \quad (14)$$

Donde:

- B es el número de álabes
- C es la longitud de la cuerda
- R es el radio de la turbina
- h es la relación entre los diámetros del cubo y del disco.  $h = \frac{D_{cubo}}{D_{ext}}$

#### 5.3.4. Diseño turbina

Para el diseño de la turbina partimos del estudio realizado por R. Curran y L. M. C. Gato [26] en el que establecieron números adimensionales para diferentes tipos de turbinas Wells. Por una parte, ensayaron turbinas monoplaneo y biplaneo con y sin guías. Y, por otro lado, ensayaron turbinas Wells de contra rotación.

En dichos ensayos se observa como el rendimiento de las turbinas Wells monoplaneo asciende en función del coeficiente de flujo hasta un valor determinado de este. A partir de dicho valor, el rendimiento de la turbina desciende. Además, el coeficiente de presión aumenta casi proporcionalmente en relación con el coeficiente flujo.

La caída de presión fue tomada como la diferencia entre la presión atmosférica y la presión en la cámara OWC.



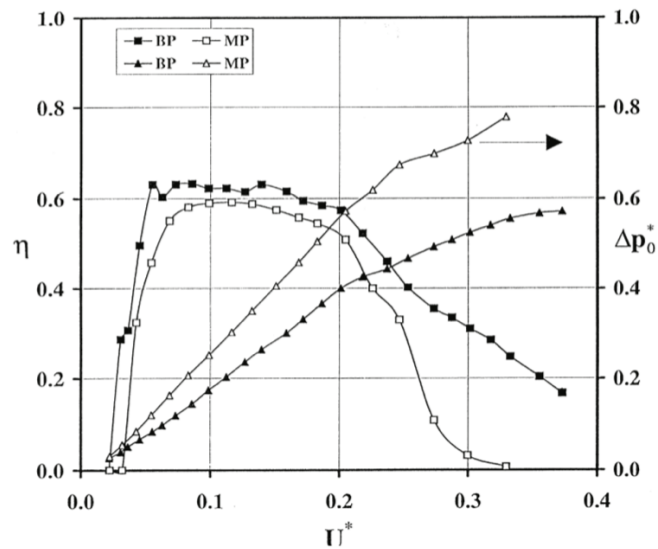


Ilustración 50: Rendimiento y diferencia de presión de las turbinas monoplane (MP) y biplane (BP)

[fuente: Curran, Gato, 1997]

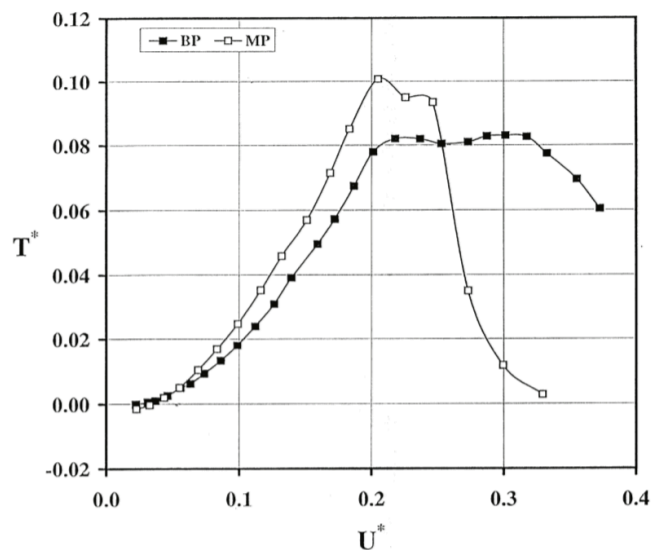


Ilustración 51: Coeficiente de Par para turbinas Wells monoplane (MP) y Biplano (BP) [fuente: Curran, Gato, 1997]

Los números adimensionales obtenidos para una turbina Wells monoplane en su punto de máximo rendimiento, mostrados en las gráficas anteriores, fueron los siguientes:

$\eta_{\text{máx.}}$	0,595
$U^*$	0,12
$\Delta P^*$	0,33
$T^*$	0,04
$h$	0,68

Tabla 9: Parámetros adimensionales de diseño [fuente: Curran y Gato, 1997]

Partiendo de dichos números adimensionales y estableciendo un diámetro exterior de 1 metro, con el fin de que pueda ser fácilmente transportada y dé lugar a ensayar nuevas turbinas ya que su retirada de la cámara es sencilla; y una velocidad nominal de rotación de 3000 rpm, para poder abarcar todo el rango de velocidades a las que gira el rotor en el punto de máximo rendimiento, obtenemos con las ecuaciones (7), (8), (9), (10) los valores de la velocidad, y, por tanto, el caudal, la caída de presión, el diámetro del cubo, y el par.

<b>D<sub>EXTERIOR</sub> (m)</b>	1	<b>Viscosidad cinemática, <math>\nu</math></b>	0,00001516
<b>D<sub>CUBO</sub> (m)</b>	0,68	<b>Densidad del aire, <math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1,19
<b>Número de álabes, B</b>	6	<b>RPM</b>	3000
<b>Solidez, <math>\sigma</math></b>	0,64	<b><math>\Omega</math> (rad/s)</b>	314,16

Tabla 10: Datos de la turbina [fuente: elaboración propia]

<b>U (m/s)</b>	18,85	<b><math>\Delta P</math> (Pa)</b>	9689,48
<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	14,22	<b>T (Nm)</b>	146,81

Tabla 11: Resultados obtenidos a partir de los números adimensionales y las dimensiones de la turbina [fuente: elaboración propia]

Para poder obtener los coeficientes de sustentación y de arrastre, será necesario conocer los valores del ángulo de ataque y del número Reynolds, y, estos se obtienen resolviendo los triángulos de entrada de velocidades, tanto el triángulo ideal como el real.

Conociendo los valores de la velocidad de entrada, la velocidad angular de rotación y el radio de la turbina, obtenemos la velocidad geométrica y el ángulo de entrada en el triángulo ideal,  $\varphi$ .

$$V_{GEO} = \left( \sqrt{(\Omega * R)^2 + U^2} \right) \quad [\text{m/s}] \quad (15)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{U}{\Omega * R} \right) \quad [\text{rad}] \quad (16)$$

Por otro lado, resolvemos el triángulo real de velocidades. Para ello es necesario calcular la velocidad inducida ( $U_t$ ) y la velocidad efectiva.

$$U_t = \frac{\Delta P}{2 * \rho * \Omega * R} \quad [\text{m/s}] \quad (17)$$

$$V_{GEO} = \left( \sqrt{(\Omega * R + U_t)^2 + U^2} \right) \quad [\text{m/s}] \quad (18)$$

$$\varphi_o = \tan^{-1} \left( \frac{U}{\Omega * R + U_t} \right) \quad [\text{rad}] \quad (19)$$

Conocidos los ángulos de entrada de ambos triángulos de velocidades, obtenemos el ángulo de ataque del perfil como la bisectriz entre  $\varphi$  y  $\varphi_o$ .

$$\alpha' = \frac{\varphi + \varphi_o}{2} \quad [\text{rad}] \quad (20)$$

$$\alpha = \alpha' * \frac{180}{\pi} \quad [\text{deg}] \quad (21)$$

Aplicando las ecuaciones anteriores obtenemos los siguientes triángulos de velocidades y el ángulo de ataque del perfil.

$\varphi$ (rad)	0,12	$V_{EPEC}$ (m/s)	183,97
$V_{GEO}$ (m/s)	158,21	$\alpha'$ (rad)	0,11
$U_t$ (m/s)	25,92	$\alpha$ (deg)	6,36
$\varphi_o$ (rad)	0,10	Re	2937535,86

Tabla 12: Triángulos de velocidades real e ideal de la turbina [fuente: elaboración propia]

El perfil empleado para el diseño de la turbina es un perfil simétrico NACA 0018. Una vez obtenidos el ángulo de ataque y el número de Reynolds, los coeficientes de sustentación y de arrastres se obtienen a partir de los coeficientes para diferentes números de Reynolds [27].

Número de Reynolds	Cl	Cd
50000	0,8	0,037
100000	0,86	0,023
200000	0,8	0,017

500000	0,66	0,011
1000000	0,66	0,009

Tabla 13:  $C_d$  y  $C_l$  en función del Número de Reynolds para NACA 0018 [fuente: elaboración propia, datos: [airfoiltools.com](http://airfoiltools.com)]

A continuación, se muestran las graficas correspondientes para cada coeficiente versus el número de Reynolds:

- Coeficiente de sustentación:

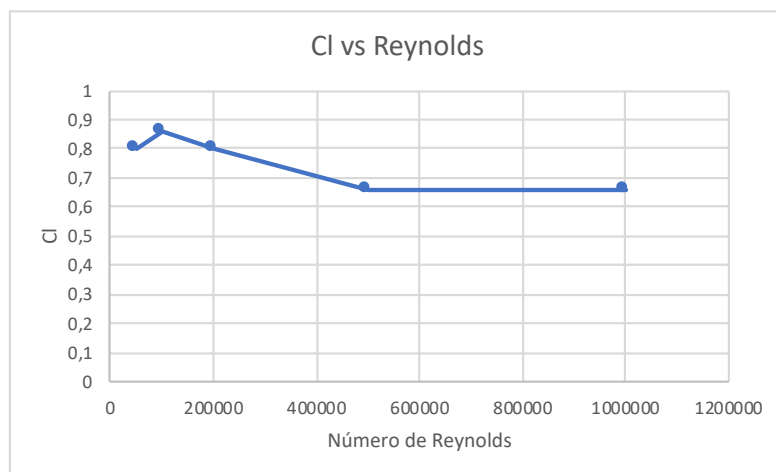


Ilustración 52:  $C_l$  vs Reynolds [fuente: elaboración propia]

- Coeficiente de arrastre:

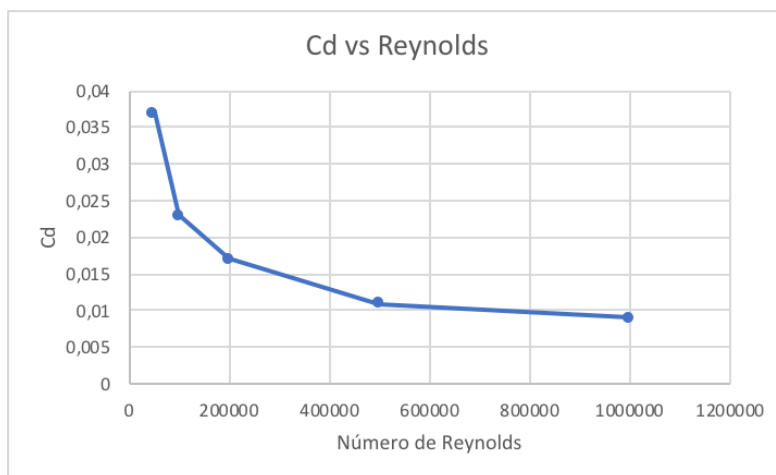


Ilustración 53:  $C_d$  vs Reynolds [fuente: elaboración propia]

Una vez observada la tendencia de las gráficas, se puede ver como el coeficiente de sustentación se encuentra con un valor continuo de 0,66. Por otro lado, se observa como el coeficiente de arrastre va disminuyendo lentamente, por lo tanto, se aproxima a un valor de 0,007.

$$C_L = 0,66$$

$$C_D = 0,007$$

Por último, a partir de la ecuación (14) calculamos la longitud de la cuerda para obtener el diseño geométrico del perfil.

$$c = 0,28 \text{ m}$$

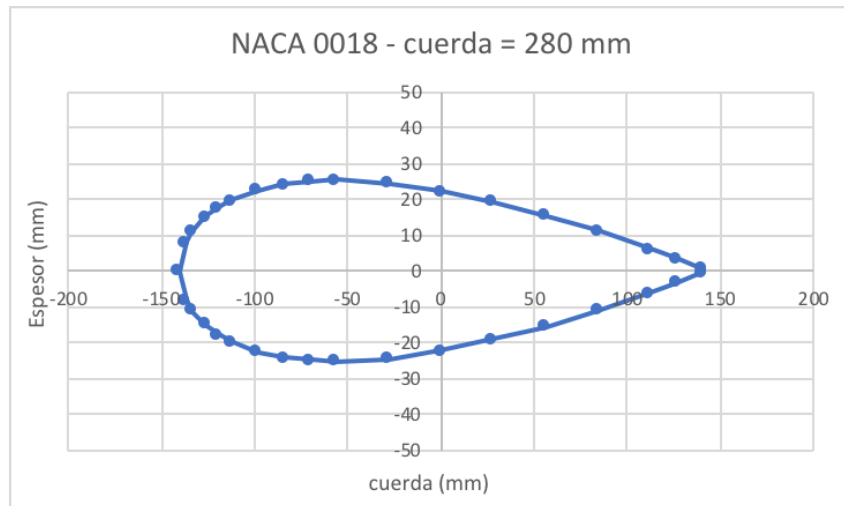


Ilustración 54: Perfil NACA 0018 [fuente: elaboración propia, datos: windandwet.com]

### 5.3.5. Comprobación de la turbina con datos reales

Conocidos los parámetros geométricos de los álabes, de la turbina y de la cámara de *Columna Oscilante de Agua* podemos calcular la velocidad real del flujo de aire en función de la altura y periodo de las olas. Basándonos en los datos obtenidos a través de los puntos SIMAR de puertos del estado y la ecuación 22 obtenemos la velocidad de entrada. [28]

$$U = \frac{8*a*w*c}{\pi*D^2} * \sin \frac{\pi*l}{c*T} \quad (22)$$

Donde:

- a es la amplitud de la ola ( $H_s/2$ ).
- w es el ancho de la cámara.
- l es el largo de la cámara.
- D es el diámetro de la turbina.
- T es el periodo de la ola.
- c es la velocidad de propagación de la ola.  $c = \sqrt{(g * h)}$ , donde h es la altura desde el suelo marino hasta el punto BMVE (Bajamar máxima viva equinoccial).

Datos:

<b>D<sub>EXTERIOR</sub></b>	1 m	<b>BMVE</b>	6 m
<b>Ancho de la cámara, w</b>	5 m	<b>Ángulo de ataque, <math>\alpha</math></b>	6,36°
<b>Largo de la cámara, l</b>	3 m		

Tabla 14: Datos geométricos de la cámara OWC y de la turbina Wells [fuente: elaboración propia]

Periodo del año	Altura (m)	Periodo (s)	U(m/s)
Invierno	1,82	8,28	13,14
Primavera	1,30	7,02	11,05
Verano	0,90	5,72	9,37
Otoño	1,37	7,48	10,94

Tabla 15: Velocidad de entrada en función de los parámetros geométricos de la cámara y de la altura significativa y periodo de las olas [fuente: elaboración propia]

Para obtener el mayor rendimiento de la turbina, fijamos que la relación entre el coeficiente de flujo y la velocidad de rotación angular sea constante.

$$\frac{U^*}{\Omega} = 0,06$$

Con esta relación, los datos de la tabla 12 y las ecuaciones explicadas en el apartado anterior, resolvemos los triángulos de velocidades y obtenemos la potencia útil y el rendimiento de la turbina.

Periodo del año	Potencia útil por turbina (kW)	Rendimiento
Invierno	17,80	36,95 %
Primavera	10,57	36,95 %
Verano	6,40	36,95 %
Otoño	10,26	36,95 %
Media	11,25	

Tabla 16: Potencia útil obtenida en cada turbina según las condiciones reales de oleaje esperadas

Para que las turbinas sean capaces de alcanzar los valores máximos de potencia, tendrán una potencia nominal de 20 kW, teniendo en total 380 kW instalados en la central.

En las siguientes tablas se muestran los resultados de las turbinas para cada una de las cuatro estaciones:

Periodo del año	Altura (m)	Periodo (s)	U (m/s)	$\Omega$ (rad/s)	$\alpha$	$\alpha$ (rad)	$V_{GEO}$ (m/s)	$\varphi$
Invierno	1,82	8,28	13,14	219,00	6,36	0,11	110,29	0,12
Primavera	1,30	7,02	11,05	184,24	6,36	0,11	92,78	0,12
Verano	0,90	5,72	9,37	156,14	6,36	0,11	78,63	0,12
Otoño	1,37	7,48	10,94	182,33	6,361	0,11	91,82	0,12

Tabla 17: Resultados con valores de Altura significativa y Periodo de la ola [fuente: elaboración propia]

Periodo del año	$\varphi_0$ (rad)	Ut (m/s)	$V_{EFEC}$ (m/s)	$\Delta P$ (Pa)	RPM	L (N)	D(N)	Torque (Nm)
Invierno	0,10	18,07	128,24	4708,62	2091,31	1643,44	19,17	81,52
Primavera	0,10	15,20	107,89	3332,54	1759,38	1160,58	13,54	57,57
Verano	0,10	12,88	91,43	2393,35	1490,99	830,19	9,69	41,18
Otoño	0,10	15,04	106,77	3263,85	1741,15	1137,73	13,27	56,44

Tabla 18: Resultados con valores de Altura significativa y Periodo de la ola [fuente: elaboración propia]

### 5.3.6. Resumen de las medidas de la cámara y las turbinas

#### 1. Turbina:

<b>Diámetro Exterior</b>	1 m	<b>Ángulo de ataque</b>	6,36°
<b>Diámetro Cubo</b>	0,68 m	<b>Número de álabes</b>	6
<b>Potencia</b>	20 kW	<b>Tipo de álabe</b>	NACA 0018
<b>Cuerda</b>	0,28 m		

Tabla 19: Dimensiones de la turbina Wells [fuente: elaboración propia]

#### 2. Cámara OWC:

<b>Ancho de cámara</b>	5 m	<b>Altura de la cámara</b>	8,51 m
<b>Largo de cámara</b>	3 m	<b>Número cámaras</b>	19
<b>BMVE</b>	6m		

Tabla 20: Dimensiones de la cámara OWC [fuente: elaboración propia]



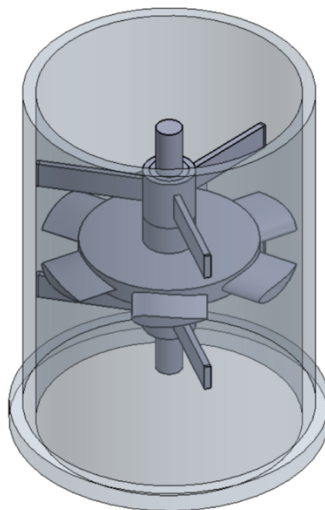
### 5.3.7. Diseño de la turbina

El diseño de la turbina Wells se ha realizado en SolidWorks. Para ello se han diseñado los diferentes componentes de la turbina:

- Se ha diseñado un rotor que contiene los seis álabes con el perfil simétrico NACA 0018.
- Un eje cilíndrico que contendrá a la turbina.
- El tubo de la turbina.
- Dos soportes que sostendrán la turbina en el tubo.

Por otro lado, los componentes de la turbina se fabricarán con acero inoxidable AISI 316 para combatir la corrosión que puede ocasionar la sal existente en el ambiente de la central.

A continuación, se muestra una Ilustración del diseño final de la turbina. Las dimensiones de cada una de las piezas se encuentran de forma detallada en el documento PLANOS de este proyecto.



*Ilustración 55: Diseño final de la turbina [fuente: elaboración propia]*



## **6. Evaluación del Impacto Ambiental**

### **6.1. Introducción**

En este apartado del proyecto se pretenden evaluar los impactos positivos y negativos que pueda sufrir el medio ambiente como consecuencia de las obras y del propio funcionamiento de la central.

Primeramente, se evaluará el marco legal existente en cuanto a los impactos ambientales producidos por Proyectos de Energías Renovables Marinas. Posteriormente, según dicho marco legal, se evaluarán los diferentes efectos potenciales que pueda generar el proyecto, y, por ultimo, se establecerá un plan de vigilancia ambiental y de seguimiento.

### **6.2. Marco legal**

Como consecuencia del deterioro medioambiental producido en el siglo XX, números países decidieron actuar para frenar la degradación del medio. Se tomaron medidas preventivas y correctivas.

A nivel internacional, cabe destacar la *National Environmental Policy Act (NEPA)* que fue promulgada en 1965, y que, actualmente regula los impactos medioambientales en los Estados Unidos [29]. En Europa, la Unión Europea llevó a cabo la Directiva Europea 85/337/CEE, tras introducirse los conceptos de prevención y evaluación del impacto ambiental. La legislación europea ha ido variando e incorporando nuevos planes de prevención, y, en la Directiva 2001/42/CE se establecen los pasos para la autorización de los futuros proyecto establecidos en los anexos I y II.

En España, la regulación de los impactos ambientales tuvo lugar a través del RD 1302/1986. En 2008, debido a las numerosas modificaciones que ha sufrido la legislación, se aprobó el Real Decreto Legislativo 1/2008, por el que se aprueba el texto refundido de la ley de Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos. No obstante, la ley que regula la evaluación del impacto ambiental es la Lay 21/2013, de 9 de diciembre, quedando derogado el Real Decreto 1/2008.

Todas las normativas, tanto europeas como nacionales, buscan establecer un determinado proceso administrativo para la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), además, de los diferentes grupos de proyectos que necesitan someterse a dichos procedimientos.

La instalación de una central undimotriz en el dique de Bermeo pertenece a los proyectos del Anexo II grupo 4.h “*producción de energía en medio marino*”. Estos proyectos, al tener una menor posibilidad de impacto ambiental, serán sometidos a una evaluación de impacto simplificada. No obstante, si la edificación de la central sufre una variación con las condiciones iniciales establecidas, podrá ser objeto de una evaluación ordinaria. [30]

Para la solicitud de evaluación ambiental simplificada se deberán presentar, según la Ley 21/2013, los siguientes documentos:

- Objetivos de la planificación.
- Alcance y contenido del plan.
- Caracterización de la situación del medio antes del proyecto.
- Efectos ambientales previsibles.
- Las medidas previstas para prevenir y reducir los impactos, además de su descripción.

En caso de que algún órgano sustantivo observase la falta de alguno de dichos documentos, el promotor dispondría de un plazo de 10 días para entregarlo.

Cuando el órgano sustantivo disponga de todos los documentos necesarios junto con la solicitud, será remitido al órgano ambiental que en un plazo de veinte días hábiles desde que reciba la solicitud dará un veredicto sobre el proyecto.

## 6.3. Inventario Ambiental

### 6.3.1. Medio físico

#### 6.3.1.1. *Geología*

La superficie terrestre de la costa vasca esta constituida por diferentes materiales geológicos de diferentes periodos. La diversidad de materiales en las diferentes comarcas de la costa vasca es muy notable. Existe materiales procedentes del triásico, como el keuper, del jurásico y de cretácico. No obstante, el estudio geológico se centrará en la región de Bermeo.

Los materiales geológicos que se ubican en Bermeo proceden del cretácico inferior, en concreto del Aptense – Albense inferior. Existen, principalmente, dos tipos de sedimentos que constituyen el suelo de Bermeo, todos ellos de tipo calcáreo-arcilloso: [31]

- Calizas arrecifales masivas con Rudistas (toucasia, sunesi, psudotucasia) con una tonalidad gris claro.
- Calizas para-arrecifales estratificadas en bancos de 20 centímetros a 1 metro. Estas calizas tienen, por un lado, intercalaciones de argilitas margosas y, por otro lado, formaciones negras argiliticas con intercalaciones calcáreo-arenosas y calcáreo-margosas.

Por otro lado, también conviene analizar la estructura tectónica en el País Vasco. En su mayor parte, la estructura tectónica vasca se corresponde con una tectónica de revestimiento. Aunque las capas mesozoica y terciaria se han deformado de diferentes maneras según la composición de los sedimentos, por lo general, las capas han seguido las deformaciones del zócalo.

A lo largo de los años, se han producido pliegues y fractura como consecuencia de los movimientos tectónicos. Estos pliegues se originaron en la dirección de NO a SE debido a los empujes tangenciales de edad pirenaica.

En Bermeo, se observa que el anticlinal de Narvaiz sigue esas direcciones, aunque, en el flanco SO de dicho pliegue, tiene lugar el anticlinal calizo cuya dirección es de norte a sur aproximadamente.

### **6.3.1.2. El paisaje**

Bermeo pertenece a Urdaibai reserva de la biosfera. Se trata de una zona montañosa con una gran red fluvial compuesta por ríos cortos y torrenciales, siendo el río Oka el principal modificador de paisaje.

Bermeo se trata del principal núcleo urbano de esta biosfera, que ha crecido, tanto a nivel físico como económico, alrededor de su puerto. La ciudad es atravesada por el río Artigas que desemboca en el Mar Cantábrico.

Bermeo cuenta con un paisaje marítimo y montañoso. Los montes Sollube y Burgoa forman la cuenca del río Artigua. En las laderas de estas montañas resaltan los diversos caseríos y bosques de eucalipto. [32]

### **6.3.1.3. Climatología**

La comarca de Bermeo se caracteriza por un clima cálido y templado. Se trata de una ciudad con abundancia de precipitaciones, ya que, incluso en los meses de Julio y agosto, las precipitaciones son numerosas, teniendo una precipitación media de 1251 mm.

En cuanto a la temperatura, Bermeo tiene una temperatura media de 14,3 °C. En invierno las temperaturas no son muy frías, con una media de 9,7 °C, y en verano con unas temperaturas máximas en torno a los 25 °C. [33]

### **6.3.2. Medio Biótico**

El municipio de Bermeo presenta una flora y una fauna muy diversa debido a su pertenencia a la biosfera Urdaibai.

#### **6.3.2.1. Flora**

La flora en el municipio de Bermeo es muy abundante debido a la gran cantidad de lluvia que cae a lo largo de todo el año. A la hora de emplazar la central undimotriz, es necesario conocer las diversas especies de flora existentes en la zona, con el fin de conservarlas y que la central no suponga ningún efecto negativo.

La gran mayoría de la flora de Bermeo está compuesta por prado, eucaliptales y pinares de pino radiata con un porcentaje de 18, 15 y 13% respectivamente. No obstante, existen otras especies como los matorrales, los encinares o los castaños, aunque con un menor porcentaje.

Los montes Sollube y Burgoa albergan principalmente pinos radiata, aunque también matorrales y espacios dedicados a la agricultura, por lo que son las especies más factibles de perjudicar con la construcción de la central.

#### **6.3.2.2. Fauna**

La riqueza natural existente en Urdaibai reserva de la biosfera hace que el ecosistema sea idóneo para que diferentes animales habiten en la zona, desde anfibios, pasando por diversos insectos, hasta peces.

En las zonas más cálidas de los ríos de la biosfera, y en concreto en el río Artigua, habitan diferentes anfibios como la rana ágil, la rana común o la rana patilarga. En estas condiciones también se reproduce el sapo partero común. En los ríos también habita el cangrejo de río europeo, debido a la cantidad de nutrientes existentes que le permiten alimentarse con facilidad.

Por otro lado, los numerosos bosques y prados dan lugar a que diferentes mamíferos como jabalíes, ardillas, zorros, comadreja, musarañas, tejones y topos habiten en ellos. Todas estas zonas verdes dan lugar también a que habiten numerosos insectos, de los cuales destacan las arañas y mariposas.

En cuanto a los peces, los principales que habitan en la costa cercana al dique de abrigo son la anguila, el muble y la trucha común.

Por último, existen infinidad de aves que habitan en este hábitat, además de las que pueden pasar por la zona debido a sus flujos migratorios.

### **6.3.3. Medio Socioeconómico**

#### **6.3.3.1. Actividad Pesquera**

La principal actividad económica que se ha desarrollado en la ciudad de Bermeo ha sido la pesca, ya que la ciudad se ha desarrollado en torno al puerto a lo largo de la historia. Durante los años 70, el puerto de Bermeo llegó a ser uno de los puertos pesqueros más importantes de Vizcaya. No obstante, a finales de esta década la pesca sufrió una recesión y los trabajadores de la ciudad vieron la necesidad de especializarse también en otros sectores [35].

Es por ello que, además de la actividad pesquera, Bermeo se caracteriza también por tener gran importancia en cuanto a fábricas de pescado y a venta de piezas de embarcaciones.

En la actualidad, Bermeo cuenta con una flota pesquera con 92 embarcaciones de bajura y 27 atuneros congeladores.

#### **6.3.3.2. Agricultura**

Bermeo se encuentra situada entre montes, por lo que la zona no es la idónea para el sector agrícola, no obstante, el gran número de caseríos que existen en la zona permiten que haya una parte de la población que se dedique a esta actividad. Bermeo cuenta con una producción variada, aunque los principales cultivos son la patata y el maíz.

#### **6.3.3.3. Ganadería**

Al igual que sucede con la agricultura, la orografía no es la ideal para el ganado. Sin embargo, a lo largo de la historia, la producción ganadera en Bermeo ha sido importante. Durante los años 80, llegó a haber 1.200 cabezas de ganado vacuno, además de 150 cerdos, gallinas y conejos.



Actualmente, la ganadería no es una de las principales actividades económicas del municipio, aunque existen varios caseríos que se dedican íntegramente a dicha actividad.

#### **6.3.3.4. Turismo**

Teniendo en cuenta las recesiones en el sector pesquero como consecuencia de diferentes leyes internacionales, y las dificultades para desempeñar la agricultura y la ganadería, la ciudad de Bermeo se ha centrado en desarrollar el turismo.

El municipio de Bermeo cuenta con una línea de costa llena de acantilados, playas y rocas que dan lugar a paisajes preciosos. En esta línea, cuenta con la roca de San Juan de Gaztelugatxe, uno de los lugares más visitados del País Vasco. [38]

## **6.4. Valoración de impactos**

Una vez analizados los posibles medios para los cuales la instalación de la planta undimotriz puede ser perjudicial, valoraremos los impactos que se puedan producir en ellos.

### **6.4.1. Afección a la geología**

La finalidad de la planta es poder aprovechar una obra civil ya realizada para generar electricidad de forma limpia. Por lo que, la construcción de la central será únicamente una pequeña modificación del actual dique de abrigo, por tanto, no se espera que afecte a la geología de la zona.

No obstante, es conveniente realizar un estudio específico de la zona tomando muestras de los sedimentos para poder comprobar si existe impacto o no.

### **6.4.2. Afección a la hidrodinámica**

Durante la obra civil, debido a los transportes existentes en la zona y a la modificación del dique, es posible que la hidrodinámica (oleaje) se vea afectada. Este impacto se da de manera progresiva y puede tener su máximo durante la etapa de funcionamiento de la central.

Por otro lado, no se espera que la central produzca efectos negativos sobre las corrientes o las mareas.

### **6.4.3. Afección a calidad del agua**

Durante la fase de obras, a la hora de dragar y de cimentar existe la posibilidad de que el agua de la zona se enturbie. También durante la fase de obra se puede verter algún contaminante procedente de las embarcaciones encargadas de suministrar materiales.

Por otro lado, durante el funcionamiento del dispositivo se debe controlar que no existan fugas de pinturas ni de fluidos hidráulicos. En nuestro caso, no existe riesgo de enturbiar el agua por motivo de fluidos hidráulicos ya que simplemente se emplea agua dulce para quitar la sal de las turbinas. Tampoco tendremos que preocuparnos de las

posibles fugas en las embarcaciones de mantenimiento debido a que al estar en el dique, las tareas de mantenimiento se realizan desde tierra.

#### **6.4.4. Afección a la ictiofauna**

La obra civil puede traer como consecuencia la migración de diferentes peces que habitan en la zona debido a las vibraciones y al ruido que se generan. Esto puede provocar estrés, cambio en la capacidad auditiva, daños estructurales, efectos visuales o efectos en el comportamiento.

Durante la etapa de funcionamiento de la central, algunos peces pueden empezar a habitar en la zona del dique, aunque hay que tener en cuenta que debido al ruido que generan las turbinas esto es difícil.

#### **6.4.5. Afección a la avifauna**

Tal y como se ha explicado en el inventario ambiental, existe una gran diversidad de aves en la zona de Bermeo. Durante la obra civil es posible que las aves se vean afectadas debido a los ruidos que se generan y a la presencia de embarcaciones. Sin embargo, una vez terminada la obra, la presencia de aves se recupera en la zona.

Al igual que ocurre con los peces, es posible que los ruidos emitidos por las turbinas puedan perjudicar a las aves.

#### **6.4.6. Afección a la pesca**

Con motivo del dragado y de la cimentación la presencia de embarcaciones es necesaria en el dique. Esto puede perjudicar a los pescadores de la zona, ya que se les puede ocasionar dificultades para entrar o salir del puerto. Para poder evaluarlo se debe tener en cuenta el número de capturas, la cantidad de barcos y el uso del área.

Una vez que la central se encuentre construida, ésta no generará efectos en los pescadores al entrar o salir del dique, ya que la parte del dique más cercana a la entrada del puerto se queda intacta. Aunque la actividad económica si se puede ver perjudicada si las obras producen la migración de los diferentes peces de la zona.

#### **6.4.7. Afección al paisaje**

La estructura del dique permanece prácticamente intacta una vez terminadas las obras, por lo que, no se genera ningún impacto visual adicional. Aun así, la altura del dique es de 16 metros, por lo que no se trata de una altura considerable para ocasionar algún impacto.

Sin embargo, durante las obras, la presencia de embarcaciones y grúas para poder mover los materiales pesados puede generar un impacto en el paisaje, y su afección quedará evaluada en función del tiempo de la obra y de la estación del año.

#### **6.4.8. Afección a los recursos arqueológicos subacuáticos**

La cimentación de la central puede ocasionar impactos en los recursos arqueológicos que pudieran existir en la zona. También se pueden dar estos impactos al desenterrar cualquier resto arqueológico que hubiese en la zona. Durante la fase de funcionamiento de la central no se espera ningún efecto sobre los recursos arqueológicos de la zona.

#### **6.4.9. Afección a la actividad portuaria**

Al igual que ocurre con la afección a la actividad pesquera, los efectos notables sobre la actividad portuaria se pueden dar durante la fase de construcción de la central. Las grúas y embarcaciones que se encarguen de la retirada de materiales pueden ocasionar inconvenientes a la hora de entrar y salir del puerto.

Durante la fase de funcionamiento de la central undimotriz no se espera ningún efecto sobre la actividad portuaria ya que la central no tiene contacto directo con la entrada del puerto. Por lo que, las embarcaciones no tendrán ningún problema a la hora de abandonar el puerto.

#### **6.4.10. Efectos positivos de la central**

##### Uso de la energía producida

La finalidad de la central de Bermeo es poder contribuir al uso de las energías renovables. La energía generada a partir de las olas se utilizará para suministrar la electricidad necesaria para el alumbrado público.

### Uso para investigación

Valor añadido gracias al uso de la central como infraestructura de ensayos, donde diferentes desarrolladores y tecnólogos de turbinas, electrónica de potencia o control pueden ensayar sus dispositivos y comprobar el comportamiento en condiciones reales antes de ser instalados en sus respectivos captadores.

### Emisiones de CO2 evitadas

Según los datos facilitados por el EVE, el uso de la tecnología undimotriz evita la emisión de una tonelada de CO<sub>2</sub> por cada MWh generado. Por lo tanto, según los cálculos realizados, la central instalada en Bermeo evitaría una emisión de 1.467 toneladas de CO<sub>2</sub> al año.

### Participación de stakeholders en el proyecto

La tecnología undimotriz no se encuentra muy desarrollada en la actualidad y es necesaria una gran inversión para la construcción de nuevas centrales, que actualmente no producen grandes beneficios económicos. Por lo tanto, la participación de empresas y stakeholders es imprescindible para que el desarrollo de esta tecnología mejore para, en futuro, ser capaces de extraer una mayor cantidad de energía mecánica procedente de las olas.

### Aumento de know-how de las ingenierías y empresas de construcción implicadas

La instalación de la central en Bermeo aumentaría el conocimiento y la experiencia que se tienen sobre la tecnología OWC. Por otra parte, la central funcionaría como infraestructuras de ensayos para que ingenieros e investigadores puedan probar nuevos dispositivos que puedan mejorar la tecnología existente en condiciones reales de funcionamiento.

### Creación de empleo

La obra civil traerá consigo numerosos empleos para la población del municipio. Además, durante la fase de funcionamiento de la central undimotriz, también se crearán empleos para el mantenimiento y limpieza de esta.

### Turismo

La instalación de una planta de energías renovables con una tecnología tan innovadora puede generar que diferentes personas de localidades cercanas quieran ver la central. Esto puede generar un aumento en el turismo de la localidad, que tal y cómo se ha comentado antes, es una de las principales actividades económicas del municipio.

### Distribución intrageneracional

Por otra parte, la construcción de la central se hace con expectativas de que el desarrollo de esta tecnología mejore la eficiencia de la instalación y la tecnología undimotriz se convierta en un sustituto real de los combustibles fósiles en la lucha contra el cambio climático.

## 6.5. Medidas correctoras

### Calidad del agua y la geología

Con el fin de no enturbiar el agua y de no variar la formación de sedimentos en la zona cercana a la obra, los materiales utilizados para la cimentación y el dragado se verterán únicamente en dicha zona.

### Flora

En principio, la flora cercana a la central no sufrirá ningún impacto, no obstante, será necesario controlar que durante la fase de obras no se produzca ningún vertido de material tóxico que pueda perjudicar a la flora más cercana.

### Fauna

Como ya se ha comentado anteriormente, el ruido de las obras puede influir sobre las aves, aunque una vez terminada la obra civil las aves no tendrán ninguna repercusión, es por ello por lo que, la obra se realizará en la época del año con menor número de aves en la zona

Por otra parte, los peces pueden ser perjudicados durante la construcción del dique, pero no se esperan efectos negativos una vez terminada. No obstante, se debe realizar un estudio de sostenibilidad del medio marino una vez que la central esté en completo funcionamiento.

### Pesca

Durante la etapa de obra civil es necesario acordar con los trabajadores pesqueros de la ciudad la disposición de las embarcaciones que estén envueltas en la obra para intentar minimizar las dificultades de navegación que puedan existir a la hora de salir y entrar al puerto.

### Ruido

Durante la fase de obras, el ruido será una molestia tanto para los animales como para las personas. Por lo tanto, se empleará maquinaria regulada que minimice el ruido. Por otro lado, como indica la ley, las obras se realizarán durante el horario diario permitido.

En cuanto al ruido, también se deberá tener en cuenta el ruido que emiten las turbinas cuando el aire fluye por ellas. Es necesario que las turbinas incorporen silenciadores para minimizar las molestias en la población. Existe el precedente de la central undimotriz de Mutriku, dónde los habitantes de la localidad han nombrado la planta como el *Dragón de Mutriku* [39].

#### Recursos arqueológicos subacuáticos

En el caso que, durante las etapas de dragado y cimentación, así como durante el resto de la obra civil, se encontrase algún resto arqueológico sería entregado inmediatamente a la dirección de la obra, para que actué conforme a la legislación vigente.



## **6.6. Plan de Vigilancia Ambiental**

El plan de vigilancia ambiental se estructurará en función de las cuatro fases del proyecto y en cada una de ellas se asegurará el cumplimiento de las medidas correctivas expuestas en el apartado anterior [29].

### **6.6.1. Fase de replanteamiento.**

Durante esta etapa, el documento PVA incluirá todas las medidas preventivas anteriores, además de aquellas sugeridas por la administración pública una vez que la declaración sobre impacto ambiental ha sido tomada.

### **6.6.2. Fase de obras**

El equipo técnico ambiental del proyecto se encargará de hacer visitas a la obra civil con el fin de evaluar los efectos que surgen en el medio y si estos están relacionados por alguna negligencia de los trabajadores. Requerirán especial atención las siguientes actividades:

- Durante la cimentación no se verterá ningún tipo de material fuera de la zona destinada a dicho fin. Además de comprobará la turbidez del agua y los posibles efectos sobre la ictiofauna.
- Se controlarán que los ruidos producidos por la maquinaria y los transportes no supere los límites establecidos.
- También se tendrá especial cuidado con los objetos que puedan ser desenterrados para que no sufran ningún desperfecto. Estos objetos arqueológicos serán entregados a la dirección del proyecto.
- Se intentará perjudicar lo menos posible a los pescadores locales durante la realización de su actividad, así como facilitar la entrada al puerto a dichas embarcaciones.

### **6.6.3. Fase de funcionamiento**

Durante la fase de funcionamiento de la central se realizarán muestreos para comprobar la calidad de agua y verificar que esta sea la adecuada para el baño y la vida marina.

Por otro lado, es necesario realizar un estudio de sostenibilidad para comprobar los posibles efectos que la central ha tenido en los peces y en las aves. En la misma línea, también se realizará un estudio para comprobar si existe algún impacto sobre la flora más cercana.

Por último, se tomarán las medidas acústicas necesarias, siendo obligatorio el uso de silenciadores en las turbinas, para evitar las posibles molestias a la población.

#### **6.6.4. Fase de retirada**

La central se construye con vistas a poder funcionar en un futuro con un mejor rendimiento en cuanto a conversión de energía. No obstante, en el caso en el que su retirada fuese necesaria, se deberán comprobar todos los parámetros explicados anteriormente y verificar que el medio no ha sufrido ningún impacto severo irreversible.

#### **6.6.5. Cambios en la planificación**

El documento de Plan de Vigilancia Ambiental se realiza con la finalidad de proteger el medio, por lo tanto, el documento es susceptible a sufrir modificaciones según las condiciones de la zona e imprevistos que puedan surgir tanto a lo largo de la obra civil como de la fase de funcionamiento.

#### **6.6.6. Registro y trazabilidad**

Teniendo en cuenta las posibles modificaciones que pueda sufrir el PVA, se realizará un registro de estas, además de un registro de todas las actividades desempeñadas para prevenir los impactos ambientales.

Los registros se mostrarán en un informe anual en el que se presentan los valores de las muestras tomadas y se valora si las medidas preventivas y correctivas tomadas son correctas o si, por el contrario, éstas necesitan modificaciones para alcanzar los niveles deseados.

## 6.7. Conclusiones

Aunque durante la fase de obra civil el medio pueda verse afectado de manera directa, una vez terminada esta etapa y con la central en funcionamiento, se observa que los efectos sobre el medio biótico son mínimos. Además, existen beneficio para el medio socioeconómico del municipio.

Por otro lado, la instalación de la central supone un avance en el ámbito de las tecnologías renovables y de la generación eléctrica de forma limpia, lo que ayuda a evitar toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub>

En conclusión, la construcción e instalación de una planta undimotriz en Bermeo es viable a nivel de impacto ambiental.



## Referencias

- [1] RES, Las energías renovables tienen mucha historia, 13 de febrero de 2015. <https://www.ecointeligencia.com/2015/02/energias-renovables-historia/>
- [2] Jaime González Velasco, Energías renovables, Reverté, 2009.
- [3] Red Eléctrica de España, El sistema eléctrico español 2016.
- [4] Seminario: Mercado de Energía Convencional y Renovable para Ingenieros Civiles, Facultad de ciencias físicas y matemáticas de la universidad de Chile, Energía undimotriz, 8 de mayo de 2015.
- [5] P. Fernández Díez, Energía de las olas, Capítulo IV.
- [6] Joao Cruz, Ocean Wave Energy Current Status and Future Prepectives, Springer, 2010.
- [7] Centre for Renewable Energy Sources, Ocean Energy Conversion in Europe, Recent advancements and prospects, 2006.
- [8] Tecnalía, Energías de las olas: situación y futuro.
- [9] INABESA, Universidad de Sevilla, Línea de Negocio Energías del Mar, Energía undimotriz.
- [10] A. Falcao, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, 2009
- [11] Javier González Cubero, Análisis de los Requisitos Eléctricos para el Diseño de un Parque Offshore de Energía Undimotriz, Proyecto Fin de Grado, Universidad de Sevilla, 2010.
- [12] Dispositivos de generación de energía a través de las olas, textos científicos.
- [13] AWS, [www.awsocan.com](http://www.awsocan.com)

- [14] BPS, <http://bps.energy/biowave>
- [15] Ente Vasco de Energía, EVE, [www.eve.eus](http://www.eve.eus)
- [16] PICO PLANT
- [17] Ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente, Gobierno de España, Red de Áreas Marinas Protegidas de España (RAMPE).
- [18] Departamento de Desarrollo Económico e Infraestructuras, Puerto de Bermeo (Vizcaya), <http://www.euskadi.eus/informacion/puerto-de-bermeo-vizcaya/web01-a2garrai/es/>
- [19] IDAE, Consumos del Sector Residencial en España Resumen de Información Básica
- [20] AAC Acústica, Informe Técnico, Auditoria energética y lumínica del alumbrado exterior público en Bermeo, 29 de septiembre de 2011.
- [21] IfH, Environmental Fluid Mechanics, <http://www.ifh.uni-karlsruhe.de/science/envflu/research/brinedis/density.htm>
- [22] Puertos del Estado, Ministerio de Fomento, conjunto de datos SIMAR, 25 de junio de 2015, [http://calipso.puertos.es/BD/informes/INT\\_8.pdf](http://calipso.puertos.es/BD/informes/INT_8.pdf)
- [23] Nortek, ¿Iniciándose en olas?, <http://www.nortek-es.com/es/producto/sistemas-de-onda/bfiniciandose-en-olas>
- [24] Nereida MOWC, OWC integration in the new Mutriku breakwater, publishable final activity report, septiembre 2012.
- [25] X. Salueña; J.A. Ortiz; A. Raso, DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO A PEQUEÑA ESCALA DE UNA TURBINA DE AIRE, PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA MARINA, A BAJO COSTE MEDIANTE TÉCNICAS DE PROTOTIPADO RÁPIDO, II CONGRÉS UPC SOSTENIBLE 2015.
- [26] R. Curran, L.M.C. Gato, The energy conversion performance of several types of Wells turbine designs, 1997.

- [27] Airfoil Tools, [www.airfoiltools.com](http://www.airfoiltools.com)
- [28] Aitor J. Garrido, Erlantz Otaola, Izaskun Garrido, Jon Lekube, Francisco J. Maseda, Pedro Liria, and Julien Mader, Mathematical Modeling of Oscillating Water Columns Wave-Structure Interaction in Ocean Energy Plants, Hindawi, 2015.
- [29] Azti Tecnalía, Acciona energía, Ministerio de economía y competitividad, Guía para la elaboración de los estudios de impacto ambiental de proyectos de energías renovables marinas.
- [30] BOE, Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.
- [31] IGME, Mapa geológico de España, síntesis de la cartografía existente BERMEO, 1971.
- [32] Urdaibaiko Galtzagorria, Urdaibai Reserva de la Biosfera, Rasgos del paisaje, <http://www.urdaibai.org/es/geografia/paisaia.php>
- [33] CLIMA: BERMEO, <https://es.climate-data.org/location/14618>
- [34] Naturaleza, espacios naturales, flora y fauna de Bermeo (Vizcaya), <http://www.naturaspain.com/naturaleza-flora-y-fauna-en-el-municipio-de-bermeo.html>
- [35] Bermeoko Udala, Pesca, <http://www.bermeo.eus/456.html?L=2>
- [36] Bermeoko Udala, Agricultura, <http://www.bermeo.eus/457.html?L=2>
- [37] Bermeoko Udala, Ganadería, <http://www.bermeo.eus/458.html?&L=2>
- [38] Oficina de turismo de Bermeo.
- [39] Visita a la Central Undimotriz de Mutriku.





## Anexos

### Tablas de datos de Altura significativa en Bermeo

Hs (m)	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
enero	1,75	1,74	1,24	1,52	1,29	1,70	1,48	1,71	2,10	2,20
febrero	0,82	1,26	1,64	1,18	1,85	1,34	0,90	1,10	1,94	2,54
marzo	1,07	1,32	0,90	1,04	1,12	1,16	1,22	0,65	1,72	2,48
abril	1,53	1,12	1,01	1,15	1,16	0,80	1,25	1,07	1,30	0,83
mayo	0,68	0,77	0,78	0,64	1,22	0,89	0,96	0,60	1,27	1,67
junio	0,70	0,80	0,78	0,67	0,91	0,63	0,61	0,52	0,83	0,91
julio	0,61	0,70	0,68	0,83	0,81	0,58	0,71	0,75	0,82	1,12
agoto	0,79	0,52	0,59	0,75	0,70	0,46	0,76	0,79	1,07	1,29
septiembre	1,06	1,14	0,86	0,76	0,51	0,59	0,91	0,81	1,34	1,12
octubre	1,28	1,24	1,74	1,11	0,96	0,96	1,09	0,85	1,33	1,19
noviembre	1,33	1,19	1,82	1,19	1,73	1,41	0,89	1,44	1,97	1,22
diciembre	1,53	1,85	1,32	0,79	1,18	1,09	1,65	1,68	1,53	2,29

Tabla 21: Valores mensuales de altura significativa de 1998 a 2007 [fuente: elaboración propia, datos: Puertos del Estado]

Hs (m)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Hs media (m)
enero	2,35	2,48	1,40	1,28	2,01	2,45	3,16	1,70	2,56	1,70	1,89
febrero	1,68	1,31	1,51	2,45	1,61	2,38	3,44	2,12	3,06	2,12	1,81
marzo	2,75	1,59	1,19	1,41	1,52	1,42	2,30	2,09	2,26	2,09	1,57
abril	1,51	1,21	1,07	1,41	1,97	1,86	1,48	1,77	1,37	1,27	1,31
mayo	0,77	1,20	1,04	1,37	0,93	1,74	1,25	0,99	1,08	0,99	1,04
junio	1,01	0,63	1,10	1,12	1,11	1,28	0,85	1,36	1,09	1,36	0,91
julio	1,04	0,93	1,14	1,31	0,95	0,88	0,98	1,17	1,00	1,17	0,91
agosto	1,28	0,87	0,86	0,86	1,11	1,06	0,98	0,98	1,12	0,98	0,89
septiembre	1,37	0,91	1,12	1,42	1,40	1,19	0,99	1,60	1,54	1,60	1,11
octubre	1,22	0,90	1,44	1,37	1,47	1,27	1,64	1,59	1,39	1,59	1,28
noviembre	1,80	2,52	2,26	1,67	2,09	2,50	2,13	1,60	1,68	1,60	1,70
diciembre	1,96	1,63	1,16	2,64	2,31	2,27	2,34	2,23	1,58	2,23	1,76

Tabla 22: Valores mensuales de altura significativa de 2008 a 2017 [fuente: elaboración propia, datos: Puertos del Estado]

### Tablas de datos de Periodo en Bermeo

Tm (s)	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
enero	8,45	9,70	8,26	8,95	9,18	8,59	7,98	8,80	9,22	8,84
febrero	7,86	6,87	9,73	8,53	9,30	8,20	7,24	6,59	7,58	9,17
marzo	7,45	7,94	6,87	8,19	8,22	8,91	8,08	7,85	6,99	8,36
abril	8,48	7,78	7,32	6,98	8,27	6,85	7,90	7,34	7,01	5,37
mayo	5,48	6,95	7,64	6,20	7,13	6,90	6,80	5,83	6,51	6,88
junio	5,97	5,90	7,13	5,65	6,61	6,26	5,93	5,86	5,47	5,72
julio	5,73	5,91	4,97	5,88	5,64	5,68	6,07	5,35	5,07	6,05
agoto	5,90	5,82	5,42	6,33	5,76	5,52	6,81	5,87	5,10	5,49
septiembre	7,21	8,81	7,40	6,01	5,88	6,06	7,54	7,05	7,06	5,62
octubre	7,65	8,85	9,08	9,41	7,90	6,73	7,76	8,29	8,25	6,78
noviembre	7,97	7,28	8,66	7,29	9,71	9,07	6,82	7,45	8,46	6,12
diciembre	9,82	8,82	9,39	6,35	8,21	6,76	9,07	6,78	8,75	9,40

Tabla 23: Valores mensuales de periodo de 1998 a 2007 [fuente: elaboración propia, datos: puertos del estado]

Tm (s)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Tm (s)
enero	9,87	8,58	5,97	6,65	8,12	8,82	9,95	8,80	9,27	6,98	8,55
febrero	10,24	5,41	6,29	10,10	6,51	7,08	10,17	7,61	8,98	8,71	8,11
marzo	7,94	6,52	5,79	7,00	7,65	6,57	8,90	7,97	7,20	8,85	7,66
abril	6,80	5,78	5,64	7,29	6,70	7,57	7,37	7,39	6,66	5,77	7,01
mayo	5,69	6,17	5,16	7,49	5,70	6,71	5,88	6,78	5,95	5,83	6,38
junio	5,39	4,75	5,61	6,00	5,80	6,07	5,05	6,03	5,45	6,45	5,86
julio	5,94	5,29	6,59	5,57	5,43	5,24	5,27	5,52	5,57	5,85	5,63
agoto	6,65	5,14	5,12	4,52	5,97	5,40	5,84	6,13	5,65	5,26	5,69
septiembre	6,83	5,05	6,35	7,75	6,38	6,35	6,63	5,97	7,49	7,17	6,73
octubre	7,74	5,88	6,92	7,92	7,37	7,36	9,08	7,16	7,25	7,89	7,76
noviembre	6,36	8,85	7,50	9,85	8,40	7,19	8,85	8,95	6,94	6,98	7,94
diciembre	6,88	6,77	5,68	8,34	8,19	9,46	7,86	9,93	9,63	7,66	8,19

Tabla 24: Valores mensuales de Periodo de 2008 a 2017 [fuente: elaboración propia, datos: puertos del estado]

### Coordenadas (x,y) del perfil NACA 0018

X (mm)	Y (mm)	Z(mm)
140,5	0,53109	0
126,45	3,4001	0
112,4	6,10332	0
84,3	11,05735	0
56,2	15,44376	0
28,1	19,23445	0
0	22,31421	0
-28,1	24,461	0
-56,2	25,29843	0
-70,25	25,04272	0
-84,3	24,18286	0
-98,35	22,53058	0
-112,4	19,73744	0
-119,425	17,703	0
-126,45	14,98292	0
-133,475	11,02082	0
-136,9875	7,98321	0
-140,5	0	0
-136,9875	-7,98321	0
-133,475	-11,02082	0
-126,45	-14,98292	0
-119,425	-17,703	0
-112,4	-19,73744	0
-98,35	-22,53058	0
-84,3	-24,18286	0
-70,25	-25,04272	0
-56,2	-25,29843	0
-28,1	-24,46105	0
0	-22,31421	0
28,1	-19,23445	0
56,2	-15,44376	0
84,3	-11,05735	0
112,4	-6,10332	0
126,45	-3,4001	0
140,5	-0,53109	0

Tabla 25: Coordenadas perfil NACA 0018 [fuente: elaboración propia, datos: windandwet.com]



# **DOCUMENTO 2**

## **PLANOS**





# Índice

PLANO Nº 1: Plano de situación

PLANO Nº 2: Plano de conjunto de la Turbina Wells

PLANO Nº 3: Plano del eje de la Turbina

PLANO Nº 4: Plano del rotor de la Turbina

PLANO Nº 5: Plano del soporte de la Turbina

PLANO Nº 6: Plano del tubo de la Turbina

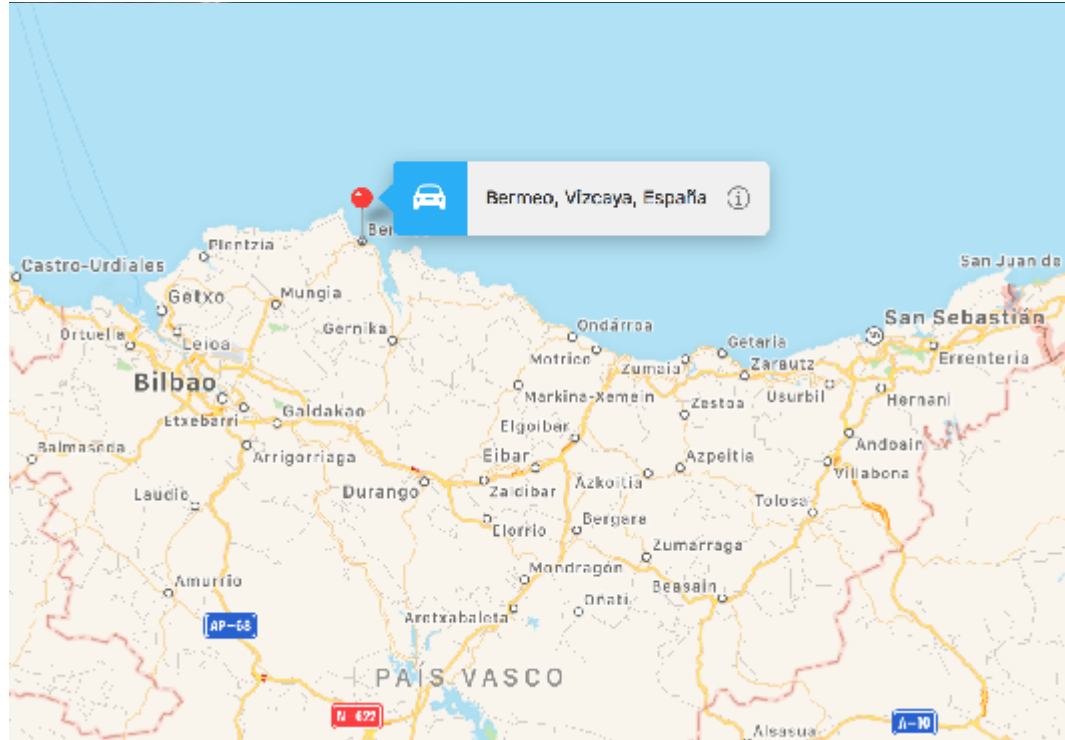
PLANO Nº 7: Plano original del dique de abrigo de Bermeo.

PLANO Nº 8: Plano de la cámara OWC

PLANO Nº 9: Plano de la Central Undimotriz de Bermeo

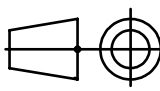
PLANO Nº 10: Comparativa del dique de abrigo de Bermeo con y sin la central.

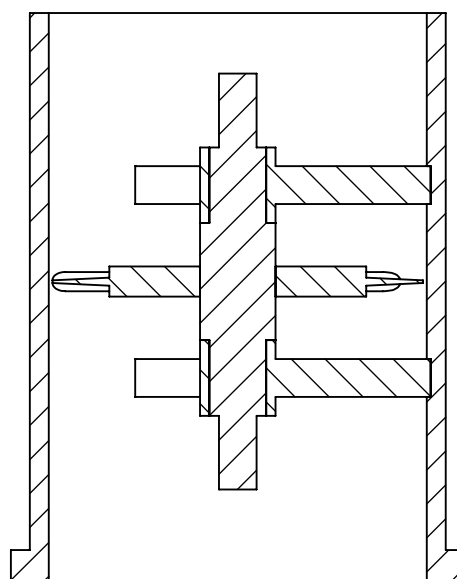
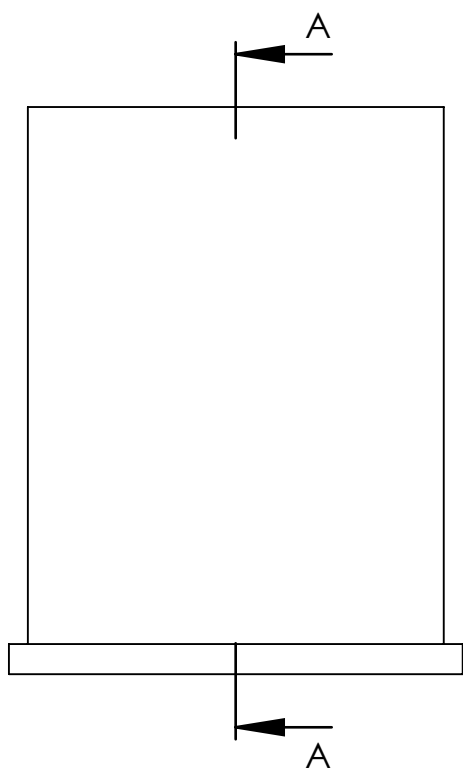
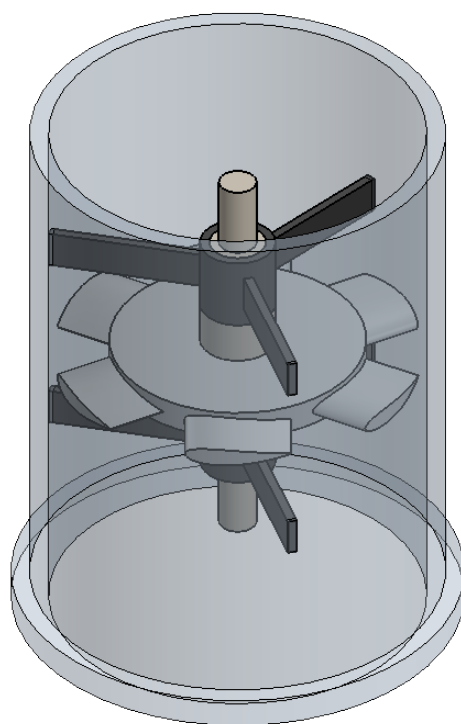
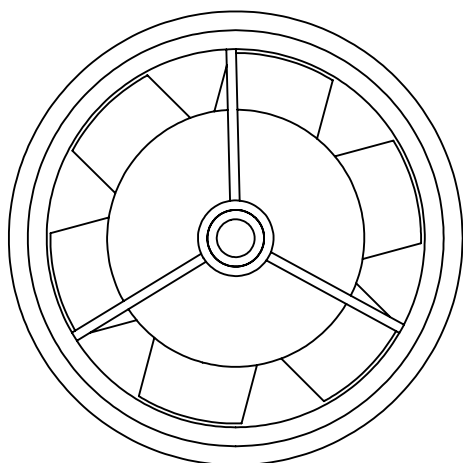




CENTRAL UNDIMOTRIZ

BERMEO

MATERIAL	Tol. No indicadas UNE EN 22768-f		PLANO DE SITUACIÓN	
TOLERANCIA				
	NOMBRE	FECHA	I.C.A.I	
DIBUJADO	JAIME RUIZ QUIRANTE	18/07/18		
COMPROBADO			Nº DE PLANO	
ESCALA	FIRMA			
			1	



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 20

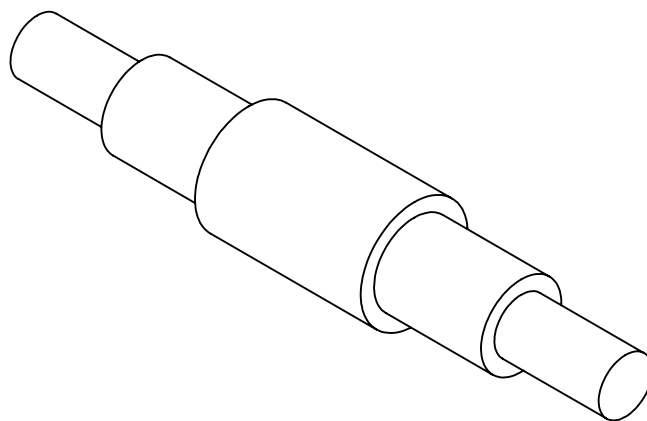
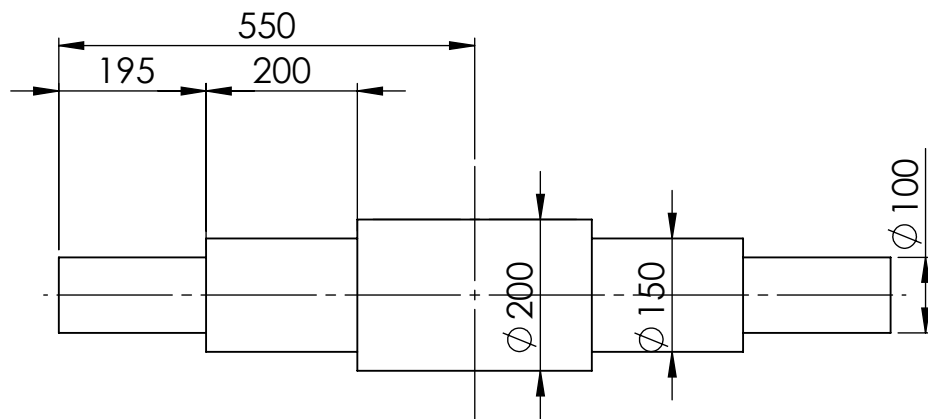
MATERIAL	AISI 316	
TOLERANCIA	Tol. No indicadas UNE EN 22768-f	
	NOMBRE	FECHA
DIBUJADO	JAIME RUIZ QUIRANTE	18/07/18
COMPROBADO		
ESCALA	FIRMA	
1:20		

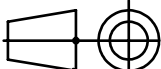
**TURBINA WELLS**

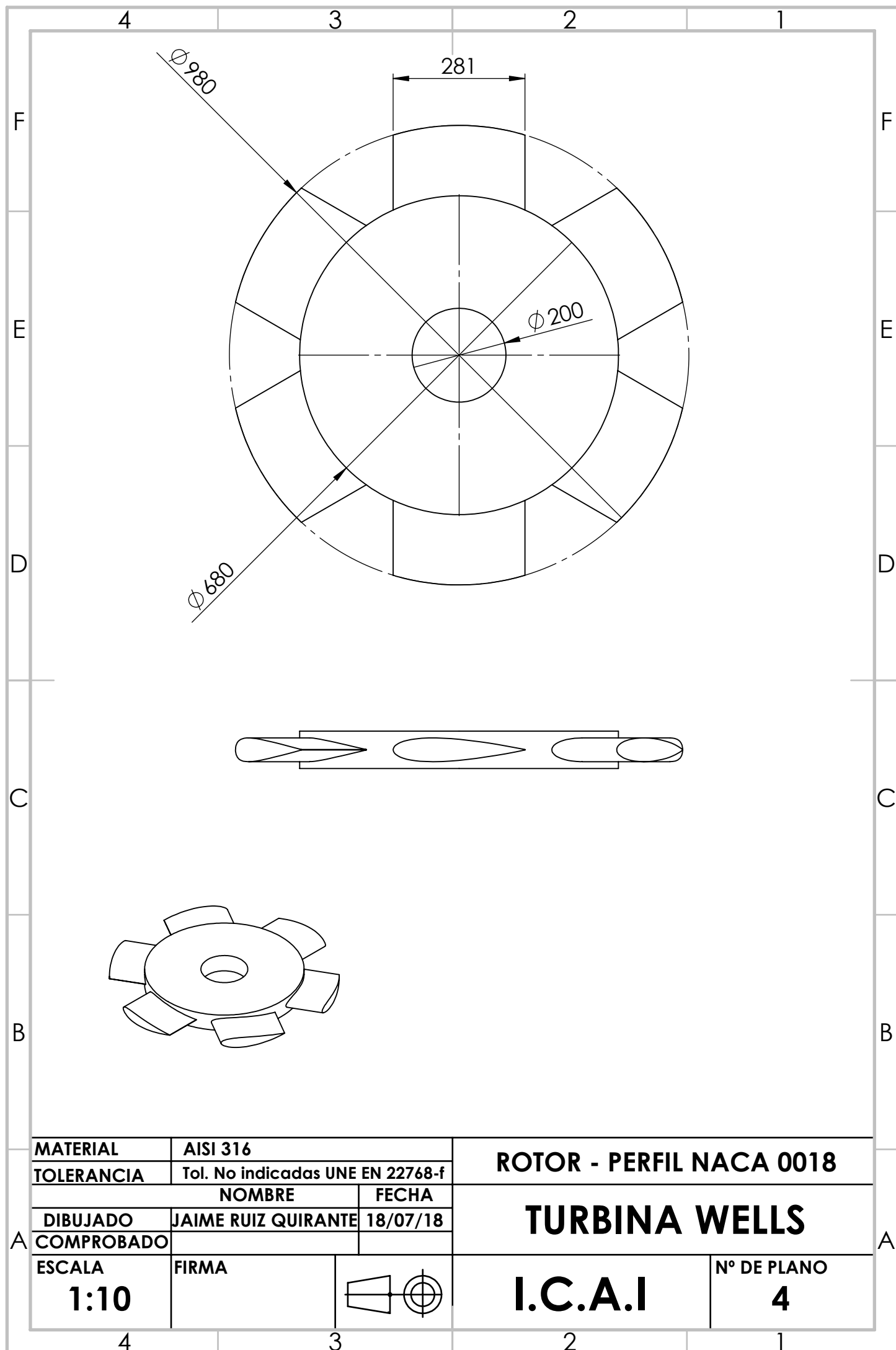
**TURBINA WELLS**


**I.C.A.I**

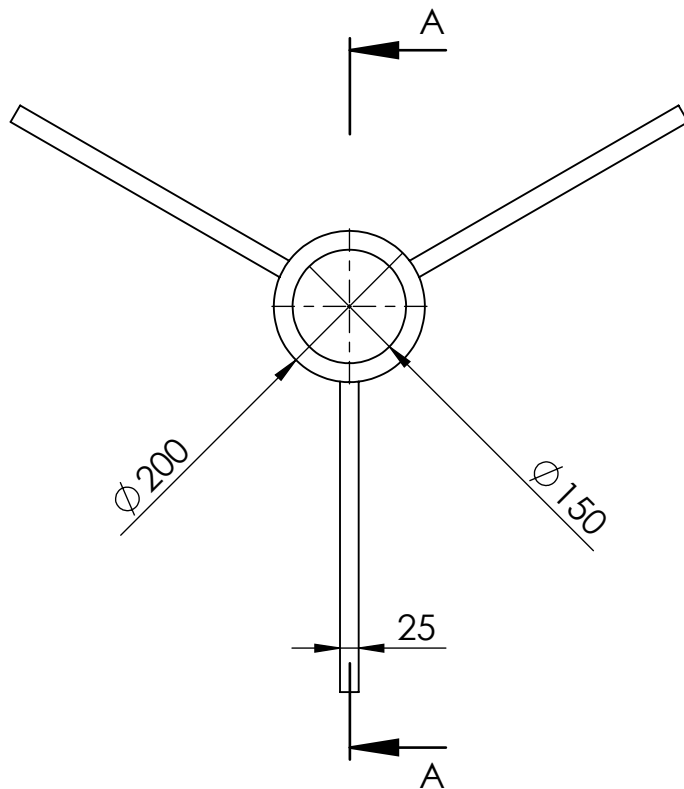
Nº DE PLANO  
**2**



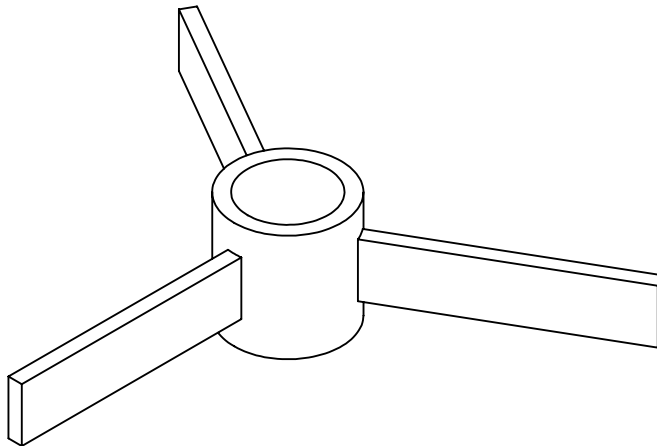
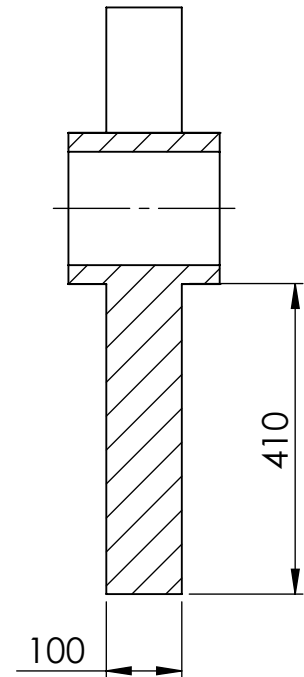
MATERIAL	AISI 316		EJE	
TOLERANCIA	Tol. No indicadas UNE EN 22768-f			
NOMBRE		FECHA	TURBINA WELLS	
DIBUJADO	JAIME RUIZ QUIRANTE	18/07/18		
COMPROBADO				
ESCALA	FIRMA		I.C.A.I	Nº DE PLANO
1:10			3	



MATERIAL	AISI 316		ROTOR - PERFIL NACA 0018	
TOLERANCIA	Tol. No indicadas UNE EN 22768-f			
NOMBRE		FECHA	TURBINA WELLS	
DIBUJADO	JAIME RUIZ QUIRANTE	18/07/18		
COMPROBADO				
ESCALA	FIRMA		I.C.A.I	Nº DE PLANO
1:10			4	



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 10



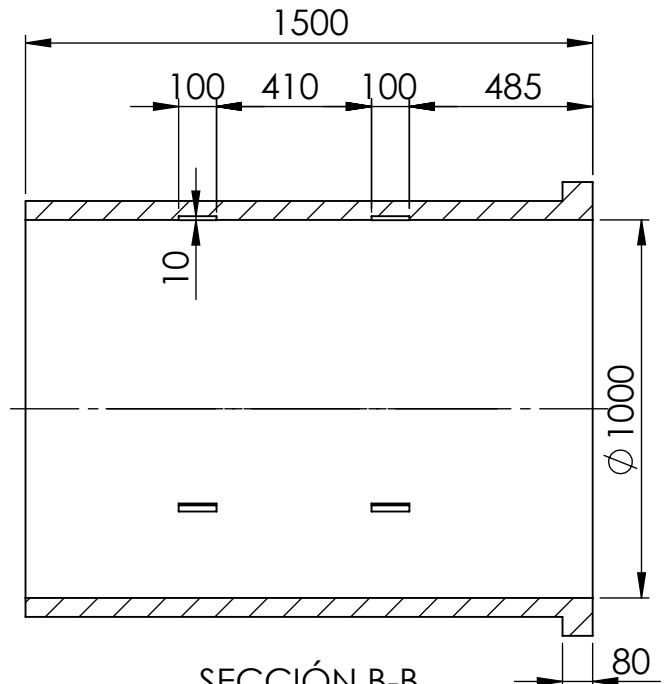
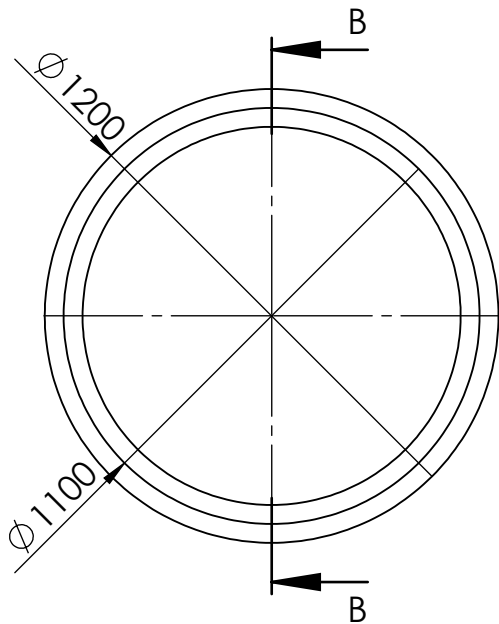
MATERIAL	AISI 316	
TOLERANCIA	Tol. No indicadas UNE EN 22768-f	
	NOMBRE	FECHA
DIBUJADO	JAIME RUIZ QUIRANTE	18/07/18
COMPROBADO		
ESCALA	FIRMA	
1:10		

**SOPORTE**

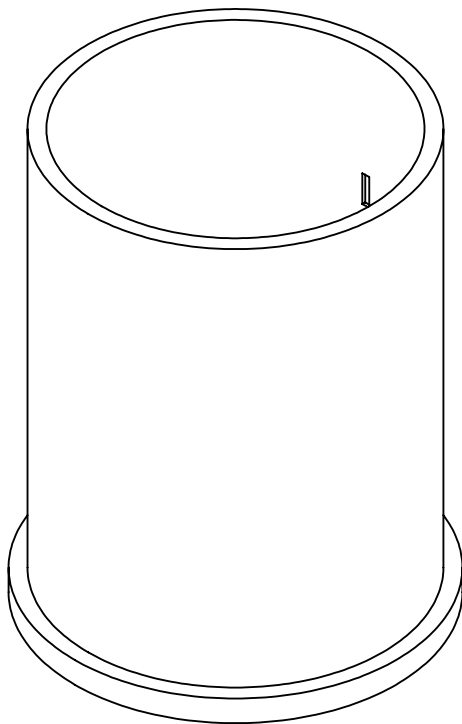
**TURBINA WELLS**

**I.C.A.I**

Nº DE PLANO  
**5**



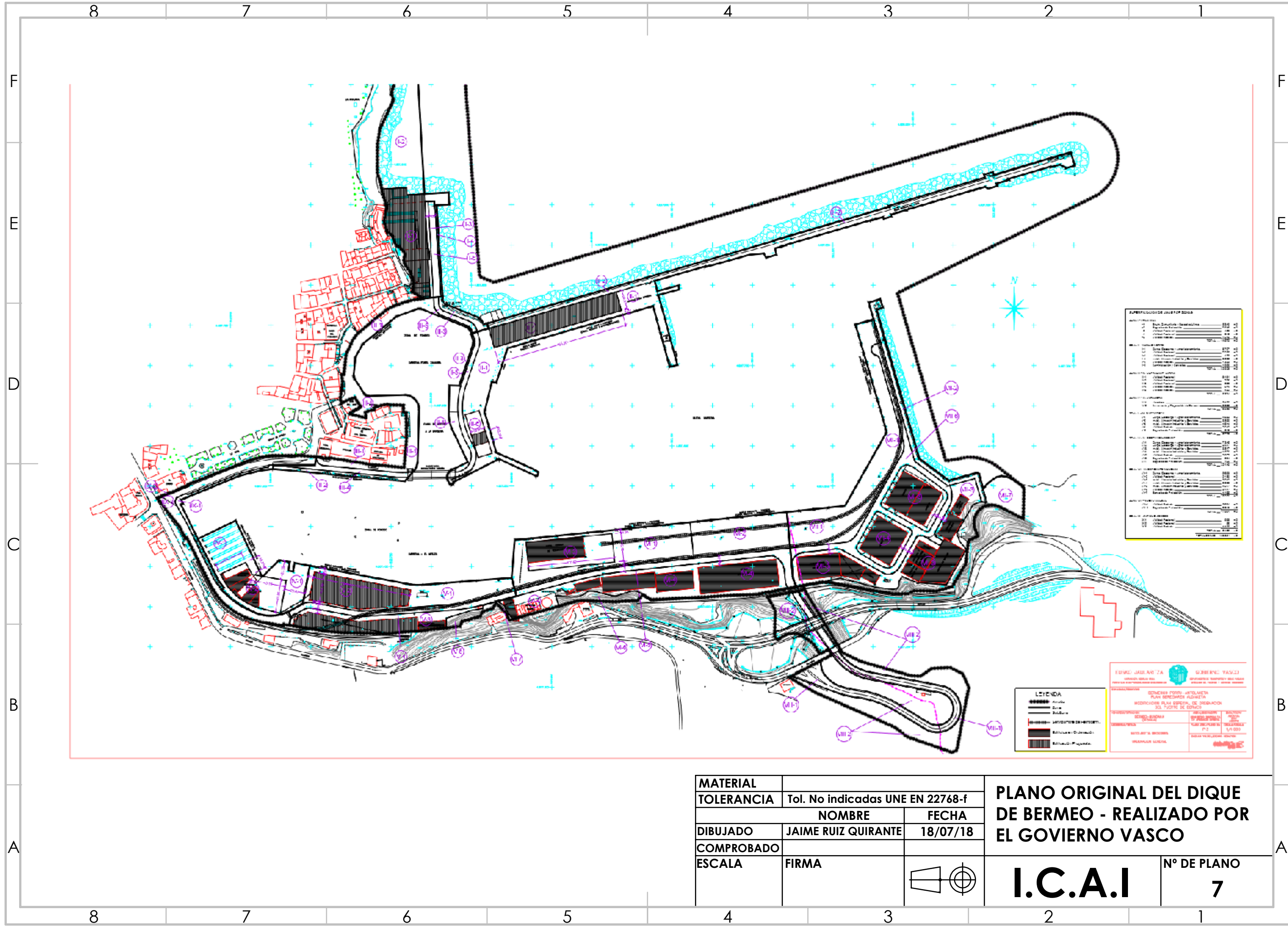
SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 20



MATERIAL	AISI 316	
TOLERANCIA	Tol. No indicadas UNE EN 22768-f	
	NOMBRE	FECHA
DIBUJADO	JAIME RUIZ QUIRANTE	18/07/18
COMPROBADO		
ESCALA	FIRMA	
1:20		

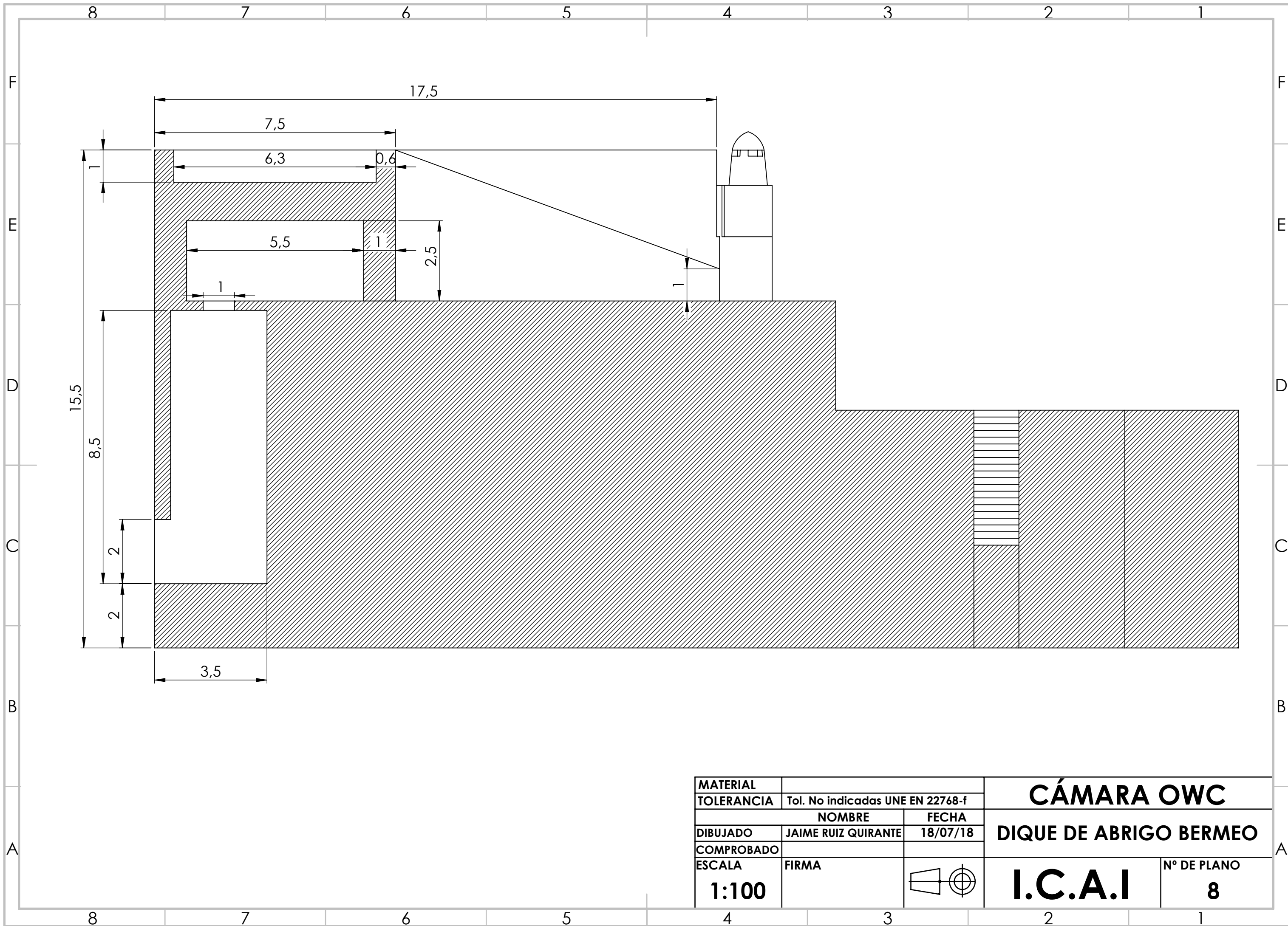
TUBO	
TURBINA WELLS	
I.C.A.I	Nº DE PLANO 6

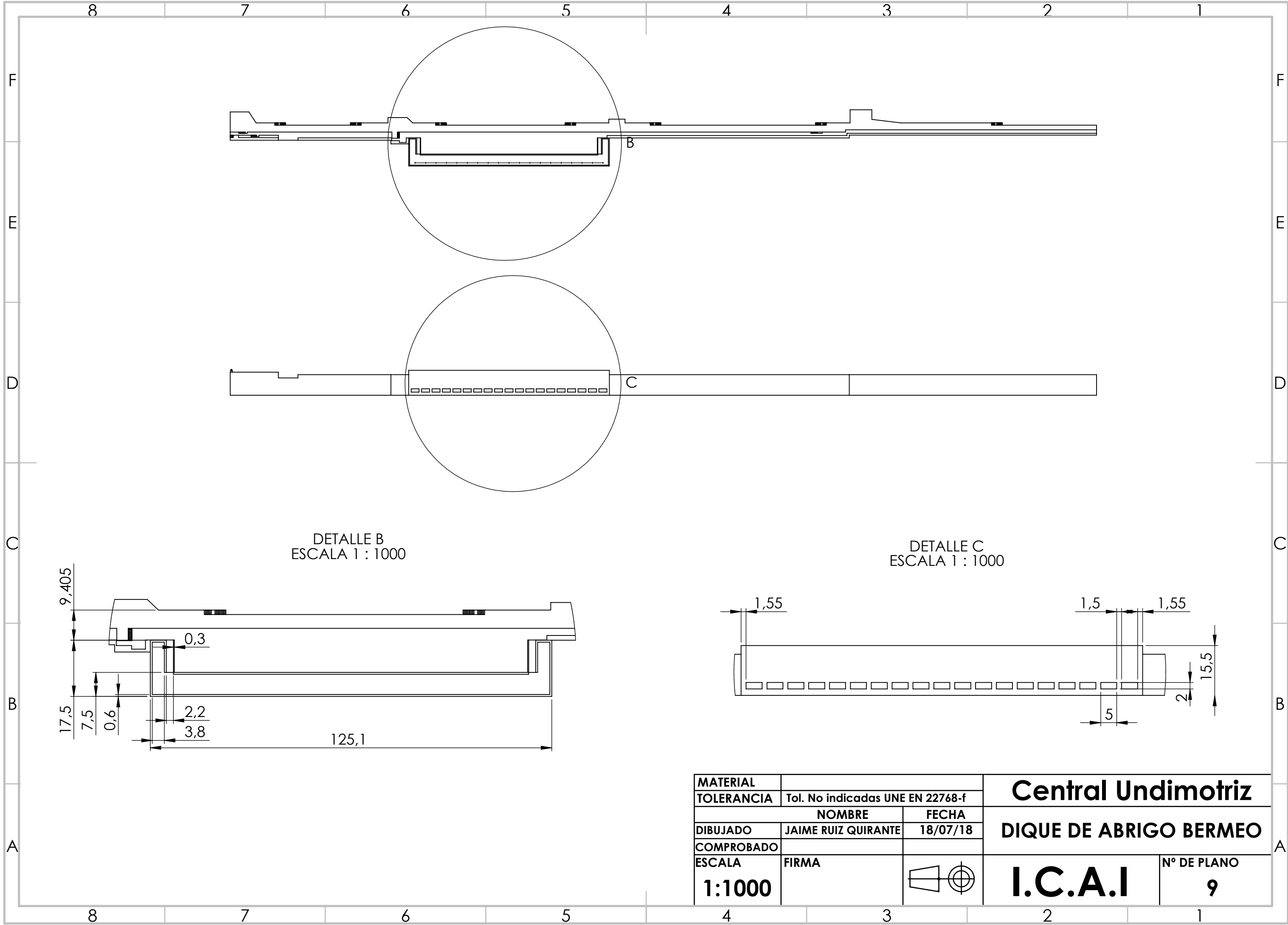




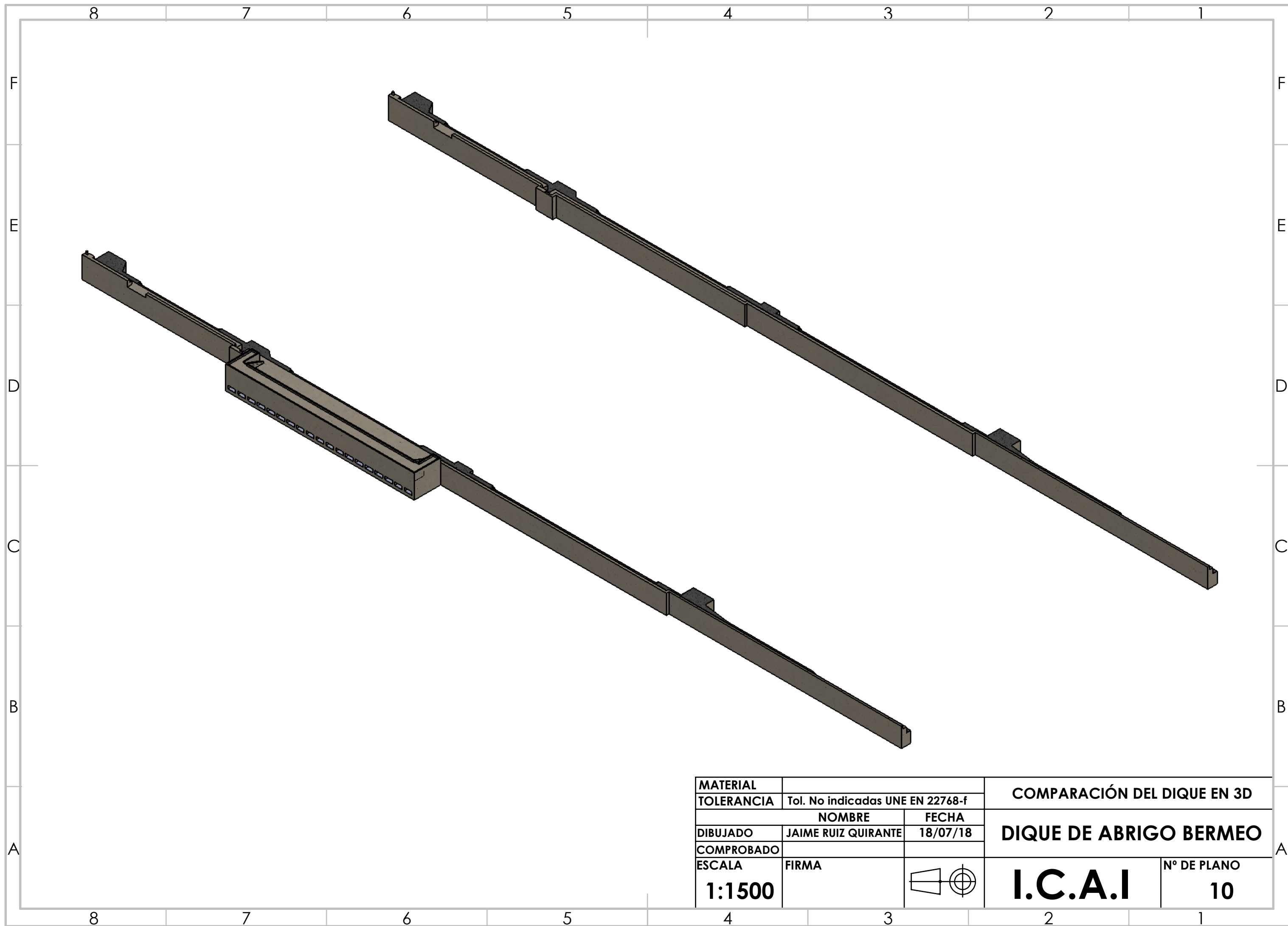
MATERIAL	Tol. No indicadas UNE EN 22768-f	
TOLERANCIA	NOMBRE	FECHA
DIBUJADO	JAIME RUIZ QUIRANTE	18/07/18
COMPROBADO		
ESCALA	FIRMA	

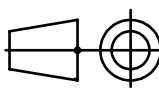
PLANO ORIGINAL DEL DIQUE DE BERMEO - REALIZADO POR EL GOBIERNO VASCO	
I.C.A.I	Nº DE PLANO 7





MATERIAL			Central Undimotriz	
TOLERANCIA	Tol. No indicadas UNE EN 22768-f			
NOMBRE		FECHA	DIQUE DE ABRIGO BERMEO	
DIBUJADO	JAIME RUIZ QUIRANTE	18/07/18		
COMPROBADO			I.C.A.I	
ESCALA	FIRMA			
1:1000			I.C.A.I	Nº DE PLANO 9



MATERIAL			COMPARACIÓN DEL DIQUE EN 3D	
TOLERANCIA	Tol. No indicadas UNE EN 22768-f			
	NOMBRE	FECHA		
DIBUJADO	JAIME RUIZ QUIRANTE	18/07/18	DIQUE DE ABRIGO BERMEO	
COMPROBADO				
ESCALA	FIRMA		I.C.A.I	Nº DE PLANO
1:1500				10

# **DOCUMENTO 3**

## **PLIEGO DE** **CONDICIONES**



# Índice

<b>1. Definición y alcance del pliego .....</b>	<b>133</b>
<b>2. Condiciones generales .....</b>	<b>133</b>
<b>2.1. Condiciones generales facultativas .....</b>	<b>133</b>
2.1.1. Obligaciones y derechos del contratista.....	133
2.1.2. Obligaciones y facultades de la dirección facultativa.....	134
2.1.3. Recepción provisional de la obra .....	135
2.1.4. Periodo de prueba.....	135
2.1.5. Recepción definitiva.....	135
<b>2.2. Condiciones generales legales .....</b>	<b>135</b>
2.2.1. Contratista .....	135
2.2.2. Contrato .....	135
2.2.3. Adjudicación .....	136
2.2.4. Arbitraje y jurisdicción competente.....	136
2.2.5. Responsabilidades del contratista .....	136
2.2.6. Subcontratas.....	136
2.2.7. Impuesto.....	137
2.2.8. Seguro .....	137
2.2.9. Daños a terceros .....	137
2.2.10. Causas de rescisión de contrato .....	137
<b>3. Condiciones particulares.....</b>	<b>138</b>
<b>3.1. Ensayos y controles .....</b>	<b>138</b>
<b>3.2. Subcontratación.....</b>	<b>138</b>
<b>3.3. Materiales y suministros.....</b>	<b>139</b>
<b>3.4. Personal.....</b>	<b>139</b>
<b>3.5. Inspección y vigilancia .....</b>	<b>140</b>
<b>3.6. Limpieza de las obras.....</b>	<b>140</b>
<b>3.7. Prórroga por causa de fuerza mayor.....</b>	<b>141</b>
<b>3.8. Mejoras del proyecto.....</b>	<b>141</b>
<b>3.9. Condiciones Técnicas .....</b>	<b>141</b>
3.9.1. Características técnicas .....	142
<b>3.10. Condiciones legales.....</b>	<b>142</b>
3.10.1. Competencia sobre el puerto de Bermeo .....	142
3.10.2. Régimen jurídico.....	143
3.10.3. Solicitud de la concesión.....	143
3.10.4. Tasas .....	143
3.10.5. Régimen de la concesión tras la autorización: .....	144
<b>Anexo I .....</b>	<b>146</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>150</b>





## 1. Definición y alcance del pliego

El objetivo de este pliego de condiciones es establecer las condiciones mínimas necesarias para la realización de este. Estas condiciones se fijarán para mantener los niveles de calidad y seguridad.

Este documento abarca los sistemas mecánicos derivados del diseño y de la construcción de la turbina y la realización de la obra civil para la modificación del dique de abrigo.

## 2. Condiciones generales

### 2.1. Condiciones generales facultativas

#### 2.1.1. Obligaciones y derechos del contratista

Las obligaciones generales del contratista son las siguientes:

- a) El contratista debe tener total conocimiento de la legislación actual y realizar las obras conforme a la normativa legal.
- b) El contratista tiene la obligación de conocer el proyecto en todas sus partes.
- c) Debe seguir en todo momento las indicaciones establecidas por el director facultativo o por la dirección de obras.
- d) El contratista tiene la obligación de acondicionar un local en el que se puedan realizar las consultas del proyecto.
- e) El contratista debe estar presencial durante el periodo de obras. En caso de que esto no fuera posible designará responsables o representantes en la obra. Aún así, el contratista debe estar localizable.
- f) El contratista tiene la obligación de establecer un Libro de Órdenes e Incidencias en el que se muestren las indicaciones del proyecto, así como las modificaciones que pueda sufrir el mismo.
- g) Es obligación del contratista reponer todos aquellos materiales que no se adapten a las condiciones establecidas en el proyecto, además de reponer aquellos materiales que se vean deteriorados durante la realización de las obras.
- h) Tiene obligación de informar antes de la realización de algún control, certificación o prueba. Así mismo, debe realizar las inspecciones necesarias para garantizar la calidad del proyecto.

- i) El contratista debe cumplir con los plazos establecidos para la finalización de las obras.
- j) El contratista tiene derecho a ingresar los pagos del proyecto en el plazo establecido. Al igual que tiene derecho a una indemnización por los trabajos realizados necesarios para la finalización del proyecto que no estuvieran estipulados en el mismo.
- k) Una vez finalizadas las obras, el contratista tiene la obligación de la limpieza del terreno, además, de cualquier reparación necesaria en el medio causada por la realización de las obras.
- l) Durante la fase de obras, el contratista debe realizar controles en función de la legislación vigente para garantizar la calidad de la obra realizada y la seguridad de los trabajadores.

#### 2.1.2. Obligaciones y facultades de la dirección facultativa

- a) La dirección facultativa del proyecto debe supervisar la obra y todos los aspectos que puedan reducir la calidad y la seguridad del proyecto durante la realización del mismo.
- b) Debe conocer la legislación actual para tramitar los certificados especificados en esta.
- c) Tiene la obligación de asegurar que el desempeño del proyecto se realice conforme a las condiciones pactadas.
- d) La dirección facultativa debe responsabilizarse de las interpretaciones de las indicaciones facilitadas en el proyecto al ser el máximo responsable técnico.
- e) Debe comprobar periódicamente el avance de los trabajos para cerciorarse de que el contratista cumpla con los plazos. Así mismo, deberá informar al cliente de los avances y de los posibles inconvenientes que puedan surgir a lo largo de las obras.
- f) En relación a los inconvenientes que puedan surgir durante el desarrollo del proyecto, la dirección facultativa debe proporcionar las soluciones técnicas necesarias para la finalización del proyecto.

### 2.1.3. Recepción provisional de la obra

Con la finalización de las obras, la dirección facultativa procederá a inspeccionar los posibles defectos en la obra y en los que se hayan podido ocasionar en los alrededores de esta. Una vez realizada la inspección, se fijarán las medidas correctivas necesarias y los plazos para la reparación.

### 2.1.4. Periodo de prueba

La propiedad tiene un plazo para verificar el correcto funcionamiento de las obras realizadas por el contratista. Este plazo oscilará entre los seis y doce meses. Este periodo conlleva una retención económica que se estipula en las condiciones particulares del proyecto.

### 2.1.5. Recepción definitiva

Una vez terminado el periodo de prueba y la pertinente inspección para comprobar que no existe ningún defecto debido al funcionamiento, se procederá a la firma final de la recepción. En el caso de que en la recepción provisional hubiese defectos y hayan sido reparados durante el periodo de prueba, el gasto de dichas obras se descontará de la fianza.

## 2.2. Condiciones generales legales

### 2.2.1. Contratista

Los contratistas de la obras pueden ser aquellos ciudadanos, españoles o extranjeros, con posesión de sus derechos civiles y que sus empresas se encuentren legalmente constituidas en España.

Quedan excluidas aquellas personas que hayan sido procesadas por algún delito criminal y aquellas personas que en contratos anteriores no hubiesen cumplido con los requisitos establecidos de forma voluntaria.

### 2.2.2. Contrato

El contrato del proyecto podrá ser de los siguientes tipos:

- Contrato a precio alzado: en el que se estima una cifra determinada para la realización de las obras y no variará durante las mismas por ningún motivo.

- Contrato por unidades de obra: aquel en el que el pago realizado por el proyecto se hace por unidad de concepto de trabajo terminado.
- Contrato por administración: durante la realización de las obras se van contando los materiales usados, el consumo realizado y el jornal desempeñado por los trabajadores.

No obstante, el tipo de contrato quedará establecido en las condiciones legales particulares del proyecto, que se podrá acordar entre el propietario y el contratista.

### 2.2.3. Adjudicación

Se realizará mediante uno de los siguientes criterios:

- Precio más bajo
- Oferta económica más ventajosa
- Adjudicación directa

### 2.2.4. Arbitraje y jurisdicción competente

La propiedad y el contratista se someterán a arbitrajes llevados a cabo por mediadores para resolver los problemas.

### 2.2.5. Responsabilidades del contratista

El contratista será el responsable del pago a los trabajadores y de los materiales necesarios para la finalización del proyecto, así como, también se hace responsable de la situación legal y laboral del personal de la obra.

Por otro lado, también es responsable de la ejecución del proyecto y del resultado final de acuerdo con lo establecido en las condiciones del proyecto, independientemente de la opinión del ingeniero.

### 2.2.6. Subcontratas

La contratación de terceras empresas por parte del contratista para realizar trabajos queda determinada en las condiciones particulares de este documento. No obstante, el contratista continúa siendo el responsable de la obra y debe asegurar la calidad de los trabajos subcontratados.

### 2.2.7. Impuesto

Además de los pagos comentados anteriormente en el Pliego, el contratista se hace responsable del cumplimiento del pago de los impuestos necesarios durante el desarrollo del proyecto.

### 2.2.8. Seguro

El contratista tiene la obligación de tener un seguro que cubra los posibles daños a terceros y los posibles accidentes de trabajo.

### 2.2.9. Daños a terceros

El contratista será el responsable de los accidentes laborales que sucedan durante el periodo de obras. Por consiguiente, el contratista será el responsable económico de las indemnizaciones correspondientes a los daños y perjuicios ocasionados durante la construcción.

### 2.2.10. Causas de rescisión de contrato

Será causa justificada para la rescisión de contrato las siguientes:

- Debido a un retraso excesivo en los plazos estipulados en el contrato.
- Por abandono de las obras sin causa justificada.
- El no comienzo de la obra por parte del contratista dentro de los plazos establecidos en el Pliego de condiciones.
- Fallecimiento o incapacidad del contratista.
- La quiebra del contratista. No obstante, tanto en la muerte como en la quiebra, los herederos o síndicos pueden realizar una oferta a la Propiedad y ésta la puede aceptar o denegar.

### 3. Condiciones particulares

#### 3.1. Ensayos y controles

Para garantizar la calidad de la obra el contratista deberá realizar los siguientes ensayos y controles:

- Se comprobarán los efectos que la obra pueda producir sobre los peces existentes en las cercanías del dique para garantizar los mínimos daños posibles.
- Se realizará un estudio del suelo marino para verificar que la modificación del dique no supone ningún cambio en las propiedades geológicas de este.
- Se controlarán los posibles daños que se puedan causar tanto en la entrada del dique de abrigo como en las zonas del dique anexas a la central undimotriz.
- Se realizarán ensayos de los materiales empleados en la obra para garantizar que las características de estos sean las adecuadas según la norma.
- Se comprobará el sellamiento del cuarto de turbinas para verificar la presión necesaria para el correcto funcionamiento de las turbinas y evitar pérdidas de aire que disminuyan la generación eléctrica de la central.
- Se verificará que las turbinas se encuentren correctamente emplazadas y que en la unión de las turbinas con el suelo no exista ningún hueco que permita pérdidas de aire.

#### 3.2. Subcontratación

Según lo estipulado en las condiciones generales del proyecto, existe la posibilidad de que el contratista subcontrate alguno de los trabajos de la obra. En este aspecto, el diseño y montaje de la turbina puede ser subcontratado a una empresa especializada en el ámbito de las turbinas Wells.

No obstante, la calidad de la turbina será responsabilidad del contratista. Si el diseño de la misma no fuese de acuerdo a lo estipulado en los planos y en la memoria del proyecto, los gastos derivados de la construcción de la turbina por segunda vez correrán a cargo del contratista.

En el caso de que la construcción de las turbinas se realice a través de una tercera empresa, se deberán realizar los controles pertinentes para garantizar tanto el ángulo de ataque del álabe como el buen funcionamiento de la turbina en condiciones reales.

### 3.3. Materiales y suministros

Los materiales necesarios para la obra civil son responsabilidad del contratista. Este deberá disponer de todos en función de las fases del proyecto. La procedencia de los materiales será según la elección del contratista, siempre y cuando, cumplan con los requisitos de calidad exigidos en el proyecto.

Asimismo, el contratista deberá disponer de todos los elementos necesarios para la realización de los análisis descritos en el apartado de 'Ensayo y Controles' y reponer aquellos que sufran desgaste.

Por otro lado, el contratista se encargará de disponer de los vehículos adecuados para el transporte de materiales, así como de acondicionar la ruta de entrada de entrada de los vehículos a la zona de obras. Además, deberá disponer de las grúas y maquinaria necesaria para la realización de las obras.

El contratista deberá procurar los equipos de seguridad cumpliendo con la normativa actual para garantizar la seguridad y la higiene de los trabajadores. Por consiguiente, el contratista tiene obligación de sustituir cualquiera de los equipos de seguridad en el caso de que alguno de estos sufriera algún desperfecto que pudiera resultar perjudicial para la salud de los trabajadores. Los gastos de esta actividad serían asumidos por el contratista.

También es obligación del contratista acondicionar el local destinado a las consultas del proyecto y disponer de una copia del proyecto, incluyendo los planos, a disposición del ingeniero en todo momento.

Por último, los residuos procedentes de la obra se agruparán de forma ordenada en una zona habilitada para ello. Su retirada al vertedero o al punto designado para ello se realizará conforme a las indicaciones del ingeniero.

### 3.4. Personal

El personal contratado para la realización de las obras deberá estar cualificado en función de las tareas que vaya a desempeñar y el grado de complejidad de estas. Asimismo, deberá contar con la suficiente experiencia en el sector para poder realizar los trabajos según las especificaciones técnicas. En todo momento, al frente de la obra deberá estar un ingeniero superior para asegurar la calidad de los trabajos realizados. En el caso de que dichos trabajadores no estuviesen desempeñados de la manera correcta, el ingeniero superior tiene la obligación de ordenar que se realicen de nuevo.

El personal recibirá el salario establecido por el convenio salarial del sector de la construcción y edificación, siendo de obligado cumplimiento el pago de estos por parte del contratista. Además, el contratista deberá realizar los pagos correspondientes a la administración pública, incluyendo los pagos a la Seguridad Social.

Las jornadas de trabajo no deberán exceder las horas establecidas en el convenio salarial. Por tanto, el contratista deberá contratar a los trabajadores necesarios para la finalización del proyecto en los plazos establecidos.

El personal tiene la obligación de actuar conforme a lo establecido en el proyecto y desempeñar las actividades establecidas por el ingeniero.

Los despidos de personal deben de ser por causa justificada y puesto en conocimiento del ingeniero para valorar si dicha causa es aceptable o no.

Para la entrada al recinto de las obras es obligatorio que el personal quede correctamente identificado y con su correspondiente autorización, con el fin de evitar la entrada a personas ajenas a la obra que pueda perjudicar la realización de los trabajos, además de poner el riesgo su propia seguridad como la de los propios trabajadores.

El personal de la obra deberá atender correctamente a los técnicos ajenos al personal que se encuentren en la zona de obra realizando los ensayos descritos anteriormente en el documento. Asimismo, deberán facilitar a los técnicos su trabajo para reducir el tiempo de los mismo y que no se produzcan demoras en las distintas partes del proyecto.

Por último, el personal de obra deberá llevar siempre consigo todos los elementos de seguridad necesarios establecidos por la normativa vigente con el fin de evitar los accidentes laborales.

### **3.5. Inspección y vigilancia**

Durante el transcurso de las obras, el contratista debe asegurarse de que los requisitos de calidad se cumplen. En el caso de que los resultados obtenidos a partir de los ensayos sean desfavorables, tanto el ingeniero como el contratista, deben asegurar de que se vuelven a realizar dichos trabajos para cumplir con los requisitos establecidos en el proyecto.

El contratista tiene la obligación de asegurarse de que la realización de las obras cause los mínimos daños posibles a las zonas adyacentes del dique. En el supuesto de que las zonas cercanas al emplazamiento de la central sufrieran algún impacto, por mínimo que fuese, el contratista tiene la obligación de tomar las medidas correspondientes para repararlo. Asimismo, el contratista deberá de asumir los gastos correspondientes a la reparación de la zona.

### **3.6. Limpieza de las obras**

El contratista debe asegurarse del acabado externo de la central y del dique sea acorde con el aspecto del resto del dique. Además, se deberá retirar todo el material



excedente y los residuos, con especial atención a aquellos materiales que puedan resultar tóxicos y perjudiciales para la salud de la población y de los animales que habitan en las cernías del dique.

La retira de los vehículos utilizados para el transporte de materiales será obligación del contratista, al igual que la retirada de las grúas y maquinaria empleada en las actividades de la obra.

### **3.7. Prórroga por causa de fuerza mayor**

Si por una causa de fuerza mayor, como puede ser la climatología de la zona, el contratista no puede cumplir con los plazos establecidos en el contrato, se le puede otorgar una prórroga para finalizar los mismos.

No obstante, estas causas de fuerza mayor deberán ser valoradas por el ingeniero para establecer si son motivo suficiente para el retraso en los plazos. En caso de que sea motivo suficiente, se le concederá una prórroga proporcional al contratista para la finalización de las obras. En caso contrario, el incumplimiento de los plazos supondrá un coste para el contratista.

### **3.8. Mejoras del proyecto.**

El contratista tiene el derecho de proponer diferentes mejoras para que la realización de la obra se haga de una manera más eficiente. Además, también puede proponer mejoras para el funcionamiento de la central

Estas sugerencias serán trasladadas a la Propiedad para su valoración. En caso de aceptar dichas mejoras, estas se realizarán en función del presupuesto del proyecto.

### **3.9. Condiciones Técnicas**

El proyecto se basa en la remodelación de un dique de abrigo para poder instalar una central de energía undimotriz para poder abastecer a la población local.

Las obras en el dique de abrigo de Bermeo comenzarán con la debida señalización y vallado de la zona de trabajo, tanto en el dique como por mar, para evitar cualquier accidente. Para comenzar, será necesaria la retirada del hormigón excedente que se encuentran en la zona de emplazamiento de la central. Una vez retirado el hormigón, se procederá a las pertinentes actividades en el suelo marino para garantizar la estabilidad de la planta. Estas actividades quedarán designadas por la dirección facultativa.

Posteriormente, se construirán las cámaras de *Columna Oscilante de Agua* donde se emplazarán las turbinas. En todo momento se seguirán las indicaciones establecidas en el documento *Planos*. Es necesario mantener las medidas geométricas establecidas, ya que una mínima variación de las mismas puede provocar un descenso en la potencia disponible, debido a que la potencia existente depende tanto de las características de las olas, como de el ancho y el largo de la cámara OWC.

Las turbinas podrán ser diseñadas por la empresa del contratista, si tuviese los medios necesarios para ello, o bien, se pueden subcontratar a una empresa especializada en el sector, como se ha establecido en el apartado de subcontrata.

Los componentes que se deben fabricar esta detallados en los planos del documento. Estos son el rotor de la turbina, el eje, el tubo y el soporte que unirá el eje y el rotor con el tubo.

Una vez emplazadas las 19 turbinas en sus respectivas cámaras, se comprobará el adecuado sellamiento de la sala para que no se produzca perdidas de presión.

### 3.9.1. Características técnicas

Las turbinas tendrán un diámetro de cubo de 0,68 metros y un diámetro exterior de 1 metros. Los álabes del rotor se fabricarán con un perfil simétrico del tipo NACA 0018, con un ángulo de ataque de 6,36° y una cuerda de 0,28 metros.

Por otro lado, las cámaras tendrán un ancho de 5 metros, un largo de 3 metros y una altura de 8,5 metros.

Según las dimensiones de las turbinas y de las cámaras se espera una potencia media de 13 kW por turbina, con una potencia máxima útil de 20,57 kW durante los meses de invierno. Por lo tanto, serán turbinas con una potencia nominal de 25 kW con el fin de poder captar todo el recurso disponible de los mese de invierno.

## 3.10. Condiciones legales

### 3.10.1. Competencia sobre el puerto de Bermeo

En primer lugar, hay que comprobar a quien corresponde la titularidad del puerto de Bermeo.

El artículo 10 del Estatuto de Autonomía para el País Vasco establece que la Comunidad Autónoma del País Vasco tiene competencia exclusiva en materia de puertos que no sean de interés general, mientras que la competencia exclusiva en puertos de interés nacional corresponde al Estado (art 149.1.20º Constitución Española).

El Anexo I de la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante, cuyo texto refundido fue aprobado por Real Decreto Legislativo 2/2011, de 5 de septiembre, contiene la lista de puertos de interés nacional, entre los que no se encuentra Bermeo.

Por lo tanto, la competencia exclusiva corresponde a la Comunidad Autónoma del País Vasco. Se aplica su legislación y, con carácter subsidiario, la normativa estatal.

### 3.10.2. Régimen jurídico

En primer lugar, hay que tener en cuenta el Decreto 236/1986, de 21 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de Actividades Portuarias. El artículo 6 dispone que “la ocupación del dominio público portuario con obras o instalaciones de carácter permanente que suponga uso privativo de la zona ocupada o condicionen de forma determinante el futuro portuario del espacio ocupado, estará sujeta a la oportuna concesión administrativa, que será tramitada de acuerdo a la legislación vigente”.

### 3.10.3. Solicitud de la concesión

El Decreto Legislativo 2/2007, de 6 de noviembre, de aprobación del Texto Refundido de la Ley del Patrimonio de Euskadi regula las concesiones en los artículos 66 y siguientes.

Existe publicado una solicitud de concesión demanial, para su autorización por el gobierno vasco, que se acompaña como Anexo. Además del formulario, indica la documentación que debe acompañarse, que se refiere tanto a los datos de la persona solicitante, como del proyecto.

### 3.10.4. Tasas

El Decreto Legislativo 1/2007, de 11 de septiembre, de aprobación del texto refundido de la Ley de Tasas y Precios Públicos de la Administración de la Comunidad Autónoma del País Vasco dedica el Capítulo I del Título X a la tasa por Servicios Generales y Específicos en los puertos de titularidad de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

Entre los hechos imponibles se encuentra las concesiones (tarifa C-1). Esta tarifa comprende la ocupación o utilización del dominio público portuario en virtud de una concesión. El sujeto pasivo es el titular de la concesión.

El devengo se produce en el momento del otorgamiento del título de concesión administrativa. La liquidación de la tasa podrá realizarse en el momento del devengo. Cuando las concesiones se otorguen por periodos anuales o superiores, se practicarán liquidaciones con carácter anticipado.

La base imponible es la superficie en metros cuadrados del dominio público portuario ocupado y la duración de la ocupación.

El art 196 establece con carácter general las siguientes tarifas en el puerto de Bermeo:

Superficie no edificada	12'37 euros/m <sup>2</sup> /año
Superficie edificada	24'71 euros/m <sup>2</sup> /año.

Además, añade que cuando el destino de la ocupación sea el desarrollo de una actividad comercial o industrial no relacionada directamente con la prestación de actividad portuaria, la tarifa a aplicar será la resultante de incrementar en un 50% la que le sea de aplicación del cuadro anterior.

Las cuantías de las concesiones administrativas se revisarán anualmente en función de la actualización de las tasas por servicios portuarios por la ley competente para ello.

En el primer año del otorgamiento de la concesión, la determinación de la cuantía de la tasa será proporcional al periodo en vigor durante dicho año, aplicándose el prorrateo correspondiente al importe obtenido según los apartados anteriores de este artículo. Asimismo, este criterio de prorrateo se aplicará en el último año de vigencia de la concesión.

### 3.10.5. Régimen de la concesión tras la autorización:

El Decreto 236/1986 establece las siguientes normas sobre el régimen de funcionamiento de la concesión:

- El art. 11 dispone que las concesiones se registrarán por las condiciones establecidas en el acto de otorgamiento, por este Reglamento y demás normativa aplicable.

Añade que el otorgamiento de la concesión no exime a sus titulares de la obtención de los permisos o licencias legalmente procedentes.

- El concesionario no podrá realizar actividades distintas de las autorizadas. En caso contrario se procederá a la caducidad o revocación de la concesión.

No obstante, si la nueva actividad pretendida fuese similar a la previamente autorizada, la Administración, si lo estima conveniente y no supone perjuicio para terceros, podrá autorizar el cambio de uso (art. 13).

- Las instalaciones propiedad del concesionario deberán mantenerse en perfecto estado de conservación.  
La Administración podrá requerirlos para que realicen las obras de conservación y mantenimiento que considere necesarias y, en caso de no ser atendido dicho requerimiento, ejecutarlas a costa de aquéllos (art 15).
- Cualquier obra nueva que pretendan realizar los concesionarios en sus instalaciones, deberá ser previamente autorizada por el Delegado Territorial. En caso contrario, éste podrá ordenar la demolición de lo construido a costa de aquéllos y sin perjuicio de las sanciones a que haya lugar (art 14).

Y conforme al Decreto Legislativo 2/2007 hay que tener en cuenta:

- en la concesión se indicará la duración, y nunca puede otorgarse por tiempo indefinido, aunque es posible la prórroga (art 72).
- Cuando se extinga la autorización o concesión, las obras, construcciones e instalaciones que existiesen sobre el bien demanial ocupado deberán ser retiradas o demolidas por el titular de concesión o, por ejecución subsidiaria, por la Administración a costa de dicho titular, a menos que su mantenimiento hubiera sido previsto expresamente en el título o que el órgano competente para otorgarlo así lo decida.

Las obras, construcciones e instalaciones que se mantengan una vez extinguido el título serán adquiridas gratuitamente y libres de cargas y gravámenes por la administración titular del bien (art 77).

## Anexo I



EKONOMIAREN GARAPEN ETA  
AZPIEGITURA SAILA  
Azpiegitura eta Garraio Sailburuordetza  
Portu eta Itsas Gaietako Zuzendaritza

DEPARTAMENTO DE DESARROLLO  
ECONÓMICO E INFRAESTRUCTURAS  
Viceconsejería de Infraestructuras y Transportes  
Dirección de Puertos y Asuntos Marítimos

### JABARI PUBLIKOKO BAIMENA ESKURATZEKO ESKABIDEA SOLICITUD DE CONCESIÓN DEMANIAL

#### A.- ESKATZAIELA / SOLICITANTE

Izen-abizenak, edo sozietatearen izena/  
Nombre y apellidos o razón social: .....

IFZ/ANF/IFK - DNI/NIE/CIF: .....

Helbidea / Domicilio : .....

Udalerria / Localidad: ..... PK/CP: .....

**BANKU HELBIDARATZEA / DOMICILIACIÓN BANCARIA**  
(Eskatzailearen titulartasuneko kontua / Cuenta cuya titularidad sea de quien presenta la solicitud)

IBAN: .....

#### B.- ORDEZKARI / REPRESENTANTE

(Ordezkarik bidez jardunez gero bat beharra, Cumplimentar si se actúa por medio de representante)

Izen-abizenak / Nombre y apellidos: .....

IFZ/ANF/IFK-DNI/NIE/CIF: ..... Helbidea/Domicilio : .....

Udalerria/Localidad: ..... PK/CP: .....

#### C.- JAKINARAZPEN BIDEA / MEDIO DE NOTIFICACIÓN

- ☐ **JAKINARAZPEN ELEKTRONIKOA / NOTIFICACIÓN ELECTRÓNICA**  
(Nahitazkoa pertsona juridikoentzat / Obligatoria para las personas jurídicas)
- Helbide elektronikoa / Dirección electrónica: ..... Tel: .....
- ☐ **POSTA-JAKINARAZPENA / NOTIFICACIÓN POSTAL**  
(A atalekoak ez bezalakoak badira bete behar/ Cumplimentar si son distintos al apartado A)
- Helbidea / Domicilio: .....
- Udalerria / Localidad: ..... PK / CP: .....

**D.- ESKAERA / SOLICITUD**

**Portu eta Itsas Gaietako Zuzendaritzari jabari publikoko emakida eskatzen dio honako hau okupatzeko:**

**Okupatuko diren metro koadroak:** .....

**Egunak :** .....

**Portua:** .....

**Eremua:** .....

**Helburua:** .....

.....

.....

**A la Dirección de Puertos y Asuntos Marítimos el otorgamiento de una concesión demanial para ocupación de:**

**Metros cuadrados a ocupar:** .....

**Periodo :** .....

**Puerto:** .....

**Zona de:** .....

**Objeto:** .....

.....

.....

Eskaerarekin batera, honako **DOKUMENTAZIOA** aurkeztu da (Kasu bakoitzean, dagokion dokumentazioa aurkeztuko da, eskaeraren xedearen eta eskatzailearen arabera. Nolanahi ere, zuzentzerik ere izango da, hala badagokio, edota Administrazioak eskatuta eta jardueraren arabera, dokumentazio osagarria aurkeztu beharko da):

- a) IFZ/ANF/IFK edo Pasaportearen kopia.
- b) Eratzeko eskritura edo agiria, estatutuak edo fundazio-akta, kasuaren arabera dagokion erregistroan inskribatuta, eta baimena eskatzen duenaren izenean egindako ordezkaritza-ahalardea, hori ere dagokion erregistroan behar bezala inskribatuta kopiak.
- c) Jarduera Ekonomikoen gaineko Zergan aurren alta emanda dagoela egiaztatzen duen agiria edo zerga horren azkeneko ordainagiria kopiak, eta gainera, geroztik zerga horretan baxarik ez duela eman esaten duen erantzukizunpeko adierazpena. Enpresa ez badago adierazpen edo agiri horiek aurkeztera behartuta, horri buruzko erantzukizunpeko adierazpen bat aurkeztu beharko du.
- d) Zerga-betebeharretan eta Gizarte Segurantzarekikoetan egunean dagoela egiaztatzen duten agiriak (kontratazioarako berriazko ziurtagiri positiboa).
- e) Eusko Jaurlaritzako Finantzen Zuzendaritzan emakidari atxikita egin asmo diren obra eta instalazioen aurrekontuaren % 2ko behin-behineko fidantza jarri izanaren egiaztatzea; fidantza gutxienez 3.000 eurokoa izango da
- f) Lokala zertarako erabiliko den eta jarduerari buruzko azalpen-memoria.
- g) Emakidari esker garatu nahi den jardueraren ekonomia eta finantza-txostena, aurreikusitako

Para ello, acompaña a la presente solicitud la siguiente **DOCUMENTACIÓN** (se aportará la documentación que corresponda en cada caso dependiendo del objeto de la solicitud y la persona solicitante, sin perjuicio de la posterior subsanación en su caso, y de otra documentación complementaria que solicitara la Administración dependiendo de la actividad a desarrollar):

- a) Copia del DNI/NIE/CIF o pasaporte .
- b) Copia de la escritura o documento de constitución, estatutos o acta fundacional debidamente inscritos en su caso en el registro pertinente, así como del poder de representación otorgado a favor de la solicitante, debidamente inscrito, en su caso, en el registro pertinente.
- c) Copia de la documentación acreditativa de estar dado de alta en el Impuesto sobre Actividades Económicas referida al ejercicio corriente, o del último recibo de dicho impuesto, completado con la declaración responsable de no haberse dado de baja en la matrícula de dicho impuesto. Si la empresa no está obligada a presentar dichas declaraciones o documentos se acreditará esta circunstancia mediante declaración responsable.
- d) Justificación acreditativa de hallarse al corriente del cumplimiento de las obligaciones tributarias y con la seguridad social. (certificación positiva específica para contratación).
- e) Resguardo acreditativo de haber depositado en la Dirección de Finanzas del Gobierno Vasco la fianza provisional correspondiente al 2% del presupuesto de las obras e instalaciones adscritas a la concesión cuya realización se proponga, que no podrá ser inferior a 3.000 euros.
- f) Memoria descriptiva de la actividad y utilización a que se destinará el local.
- g) Memoria económico-financiera de la actividad a desarrollar en la concesión, en la que se incluirán



<p>diru-sarrerak eta ustiapenerako gastuak jasoko dituen.</p> <p>h) Oinarrizko proiektua formatu digitalean. Proiektu horrek bat etorri beharko du portuko zerbitzuguneko plan bereziarekin. Hortaz, honako hauek jaso beharko ditu: garatu behar diren jardueren deskribapena, egin asmo diren obra eta instalazioen ezaugarriak, ingurumenean izan dezaketen eragina eta, kasuaren arabera, ingurumenaren gaineko eraginari buruzko azterlana, portuko jabari publikoan okupatu nahi den lekuren azalera, eta obra eta instalazioetarako aurrekontua.</p> <p>i) Euskal Autonomia Erkidegoko Administrazioarekin ez bazaude hirugarrenaren datuen altan emanda, aurretiaz, izapidetu egin beharko duzu hirugarrenaren datuen altan ematea, eta honako web orrian duzu inprimakia:</p> <p><a href="http://www.euskadi.eus/hirugarrenaren-datu-en-aldaketa/web01-s2oga/cu/">http://www.euskadi.eus/hirugarrenaren-datu-en-aldaketa/web01-s2oga/cu/</a></p>	<p>tanto los ingresos estimados como los gastos de explotación.</p> <p>h) Proyecto básico en formato digital. El proyecto deberá adaptarse al Plan especial de la zona de servicio del puerto. Incluirá al menos, la descripción de las actividades a desarrollar, características de las obras e instalaciones a desarrollar, posibles efectos medioambientales y en su caso estudio de impacto ambiental, extensión de la zona de dominio público portuario a ocupar y presupuesto estimado de las obras e instalaciones.</p> <p>i) Si no está dado de alta como tercero en la Administración de la Comunidad autónoma de Euskadi, deberá efectuar, con carácter previo, los trámites correspondientes para su alta como tercero cuyo formulario dispone en la siguiente página electrónica:</p> <p><a href="http://www.euskadi.eus/alta-modificacion-datos-terceros/web01-s2oga/es/">http://www.euskadi.eus/alta-modificacion-datos-terceros/web01-s2oga/es/</a></p>
---	---


ADIERAZPENAK:	DECLARACIONES:
<p><b>-Lehena.-</b> Indarrean diren portu- tasak ezagutu, eta ordaintzeko konpromisoa hartzen duela, Euskal Autonomia Erkidegoko Tasa eta Prezio Publikoei buruzko Legearen testuategia onartzen duen irailaren 11ko 1/2007 Legegintza Dekretuari jarraiki.</p> <p><b>-Bigarrena.-</b> Egiazkoak direla eskabidean eta harekin batera aurkeztutako agiritan jasotako datuak.</p> <p><b>-Hirugarrena.-</b> Indarrean den araudian ezarritako betekizun guztiak betetzen dituela, eta hala dela egiaztatzen duten agiriak dituela.</p> <p><b>-Laugarrena:</b> Eskabide hau izenpetuz baimena ematen dio eskabide hau kudeatzen duen atalari, dagokion administrazioan baliabide elektronikoen bidez, -edo, bestela, aukeran dauden baliabideen bidez- datuok egiaztatzeko, baieztatzeko edo ziurtatzeko.</p>	<p><b>-Primera.-</b> Que conoce las tasas portuarias en vigor y se compromete a pagar, conforme al Decreto Legislativo 1/2007, de 11 de septiembre, de aprobación del texto refundido de la Ley de Tasas y Precios Públicos, de la Administración de la Comunidad Autónoma del País Vasco las tasas que correspondan.</p> <p><b>-Segunda.-</b> Que son ciertos los datos contenidos en la solicitud y documentación que le acompaña.</p> <p><b>-Tercera.-</b> Que cumple con los requisitos establecidos en la normativa vigente, así mismo que dispone de la documentación que lo acredita.</p> <p><b>-Cuarta:</b> Mediante la firma de la presente solicitud autoriza al órgano gestor de esta solicitud a la comprobación, constancia o verificación en la Administración competente por medios telemáticos o en su caso, por los medios que estén disponibles.</p>

**Tokia eta data / Lugar y fecha:.....**

Hemen jasotako datu pertsonal Zuzendaritza honen ardurapean dagoen "Portu aldekako Jabari publikoko enakidak eta baimenak" izeneko fitxategian sartuko ditugu. Eskabide hau aurkezteak esan nahi du ados zaudela datu horiek administrazioaren jardunbidearen beharrezko jarraipen eta kontrola egiteko erabiltzearekin, horretarako eskatu baitira. Ados ez bazaude, eskubidea duzu datu horiek eskuratu, zuzendu, baliogabetu eta horien kontra agertzeko, idatzi bat bidaltzea Ingurumen eta Ekonomia-aren Garapen eta Azpiegitura Saila, Portu eta Itsas Gaietako Zuzendaritzara, Donostia kalea, 1; 01010 Vitoria-Gasteiz.

En cumplimiento de lo dispuesto en el art. 5 la Ley Orgánica 15/1999 de Protección de Datos de Carácter Personal, le informo que sus datos de carácter personal serán incorporados al fichero "Concesiones y autorizaciones en dominio público portuario", cuya responsable es la Dirección de Puertos y Asuntos Marítimos. Asimismo se le informa que la recogida y tratamiento de dichos datos tiene como finalidad el seguimiento y control del procedimiento administrativo. Si lo desea puede ejercitar los derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición ante la Dirección de Puertos y Asuntos Marítimos, Dpto. de Desarrollo Económico e Infraestructuras. C/ Donostia, 1; 01010 Vitoria-Gasteiz.



 EUSKO JAURLARITZA GOBIERNO VASCO

Sinadura / Firma \_\_\_\_\_

## Referencias

- [1] Apuntes de Proyectos de Ingeniería, Tema 11, Pliego de condiciones, páginas 217 – 228
- [2] Pablo Hoyos Alcalde, Proyecto Fin de Grado Universidad de Cantabria, Proyecto de Central Undimotriz para Autoconsumo del Ayuntamiento de Comillas.
- [3] Ciscar Cuña, J, Universidad Politécnica de Valencia, Documentos de un proyecto de ingeniería: EL PLIEGO DE CONDICIONES, 2017, <https://riunet.upv.es/handle/10251/82573>

# **DOCUMENTO 4**

# **PRESUPUESTO**



# Índice

<b>1. Mediciones .....</b>	<b>155</b>
<b>2. Precios unitarios .....</b>	<b>157</b>
2.1. Capítulo 1: Acondicionamiento del dique de abrigo .....	157
2.2. Capítulo 2: dragado del fondo marino .....	157
2.3. Capítulo 3: construcción de la central Undimotriz .....	157
2.4. Capítulo 4: subcontratación e instalación de las turbinas .....	158
<b>3. Sumas parciales .....</b>	<b>159</b>
3.1. Capítulo 1: Acondicionamiento del dique de abrigo .....	159
3.2. Capítulo 2: dragado del fondo marino .....	159
3.3. Capítulo 3: Acabado de la parte superior de la central .....	159
3.4. Capítulo 4: subcontratación e instalación de las turbinas .....	160
<b>4. Presupuesto general .....</b>	<b>161</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>162</b>



## 1. Mediciones

Código	Ud.	Descripción	Cantidad
<b>Capítulo 1: Acondicionamiento del dique de abrigo</b>			
1.01	m <sup>3</sup>	Retirada del nivel superior del dique en la zona donde se emplazará la central.	750
<b>Capítulo 2: Dragado del fondo marino</b>			
2.01	m <sup>3</sup>	Dragado	1730
2.02	m <sup>3</sup>	Retirada del material excedente del dragado	1730
<b>Capítulo 3: Construcción de la central undimotriz</b>			
<b>3.01 Cimentación de la base de la central</b>			
3.01 – 1	m <sup>3</sup>	Hormigón HA – 35	5190
3.01 – 2	Ud.	Barras de acero <sup>1</sup>	6250
<b>3.02 Construcción de las cámaras</b>			
3.02 – 1	m <sup>3</sup>	Hormigón HA – 35	15607
3.02 – 2	Ud.	Barras de acero <sup>2</sup>	8960
3.02 – 3	-	Acondicionamiento del cuarto de turbinas	-
<b>3.01 Acabado de la parte superior de la central</b>			
3.03 – 1	m <sup>3</sup>	Hormigón HA – 35	647
3.03 – 2	Ud.	Barras de acero <sup>3</sup>	5106
3.03 – 3	-	Aspectos estéticos: barandillas, rampas para acceso de personas discapacitadas, bancos	-
3.03 – 4	m <sup>2</sup>	Tela asfáltica	852

<sup>1</sup> Se colocan las barras formando una malla con una distancia de 20 centímetros entre cada barra. Las barras tienen una longitud de 3 metros.

<sup>2</sup> Las barras se colocan en columnas de 1,5 x 1,5 metros. A lo largo de la central (125,1 metros) se colocan 20 columnas. A lo largo del fondo (13,81), se colocan 4 columnas. La longitud máxima de las barras es de 3 metros.

<sup>3</sup> Las barras se colocan en columnas de 1,5 x 1,5 metros. Se colocan un total de 46 columnas alrededor del cuarto de las turbinas.

**Capítulo 4: Subcontratación e instalación de las turbinas**

<b>4.01</b>	<b>Ud.</b>	<b>Subcontratación de la turbina</b>	<b>19</b>
4.01 – 1	Ud.	Fabricación del eje	19
4.01 – 2	Ud.	Fabricación del rotor	19
4.01 – 3	Ud.	Fabricación del soporte	38
4.04 – 4	Ud.	Fabricación del tubo	19
4.04 – 5	Ud.	Montaje e instalación de la turbina	19



## 2. Precios unitarios

### 2.1. Capítulo 1: Acondicionamiento del dique de abrigo

Código	Ud.	Descripción	Precio	
1.01	m <sup>3</sup>	Retirada del nivel superior del dique en la zona donde se emplazará la central.	Cuatro euros con cincuenta céntimos	4,50€

### 2.2. Capítulo 2: dragado del fondo marino

Código	Ud.	Descripción	Precio	
2.01	m <sup>3</sup>	Dragado	Siete euros con Sesenta y tres céntimos	7,63 €
2.02	m <sup>3</sup>	Retirada del material excedente del dragado	Cuatro euros con cincuenta céntimos	4,50 €

### 2.3. Capítulo 3: construcción de la central Undimotriz

Código	Ud.	Descripción		
3.01	Cimentación de la base de la central			
3.01 – 1	m³	Hormigón HA – 35	Noventa y un euros con treinta y nueve céntimos	91,39€
3.01 – 2	Ud.	Barras de acero	Cero euros con ochenta y seis céntimos	0,86€

Código	Ud.	Descripción	Precio	
<b>3.02 Construcción de las cámaras</b>				
3.02 – 1	m <sup>3</sup>	Hormigón HA – 35	Noventa y un euros con treinta y nueve céntimos	91,39€
3.02 – 2	Ud.	Barras de acero	Cero euros con ochenta y seis céntimos	0,86€
3.02 – 3	-	Acondicionamiento del cuarto de turbinas	Cuatro mil quinientos noventa euros	4.590 €
<b>3.03 Acabado de la parte superior de la central</b>				
3.03 – 1	m <sup>3</sup>	Hormigón HA – 35	Noventa y un euros con treinta y nueve céntimos	91,39€
3.03 – 2	Ud.	Barras de acero	Cero euros con ochenta y seis céntimos	0,86€
3.03 – 3	-	Aspectos estéticos: barandillas, rampas para acceso de personas discapacitadas, bancos	Tres mil novecientos euros	3.900 €
3.03 – 4	m <sup>2</sup>	Tela asfáltica	Tres euros con sesenta céntimos	3,60 €

## 2.4. Capítulo 4: subcontratación e instalación de las turbinas

Código	Ud.	Descripción	Precio	
4.01	Ud.	Subcontratación de la turbina	Sesenta y seis mil novecientos cincuenta y seis euros con sesenta y dos céntimos	66.956,62€

### 3. Sumas parciales

#### 3.1. Capítulo 1: Acondicionamiento del dique de abrigo

Código	Ud.	Descripción	Precio	Cantidad	Precio total
1.01	m <sup>3</sup>	Retirada del nivel superior del dique en la zona donde se emplazará la central.	4,50 €	750	3.375 €
<b>Total</b>					<b>3.375 €</b>

#### 3.2. Capítulo 2: dragado del fondo marino

Código	Ud.	Descripción	Precio	Cantidad	Precio total
2.01	m <sup>3</sup>	Dragado	7,63 €	1730	13.199,9€
2.02	m <sup>3</sup>	Retirada del material excedente del dragado	4,50	1730	7.785 €
<b>Total</b>					<b>20.984,90 €</b>

#### 3.3. Capítulo 3: Acabado de la parte superior de la central

Código	Ud.	Descripción	Precio	Cantidad	Precio total
<b>3.01 Cimentación de la base de la central</b>					
3.01 – 1	m <sup>3</sup>	Hormigón HA – 35	91,39€	5190	474.314 €
3.01 – 2	Ud.	Barras de acero	0,86€	6250	5.375 €
<b>Total</b>					<b>479.689 €</b>

Código	Ud.	Descripción	Precio	Cantidad	Precio total
<b>3.02</b>	<b>Construcción de las cámaras</b>				
3.02 – 1	m <sup>3</sup>	Hormigón HA – 35	91,39€	15607	1.426.323,73 €
3.02 – 2	Ud.	Barras de acero	0,86€	8960	7705,60 €
3.02 – 3	-	Acondicionamiento del cuarto de turbinas	4.590 €	-	4.590 €
<b>Total</b>					<b>1.438.619,33 €</b>

<b>3.03</b>	<b>Acabado de la parte superior de la central</b>				
3.03 – 1	m <sup>3</sup>	Hormigón HA – 35	91,39€	647	59.129,30 €
3.03 – 2	Ud.	Barras de acero	0,86€	5106	4.391,16€
3.03 – 3	-	Aspectos estéticos: barandillas, rampas para acceso de personas discapacitadas, bancos	3.900 €	-	3.900 €
3.03 – 4	m <sup>2</sup>	Tela asfáltica	3,60 €	852	3.067,20 €
<b>Total</b>					<b>70.487,70€</b>

#### 3.4. Capítulo 4: subcontratación e instalación de las turbinas

Código	Ud.	Descripción	Precio	Cantidad	Precio total
4.01	Ud.	Subcontratación de la turbina	66.956,62€	19	1.272.175,78 €
<b>Total</b>					<b>1.272.175,78 €</b>

#### 4. Presupuesto general

Código	Descripción	Precio
1.	Acondicionamiento del dique de abrigo	3.375 €
2.	Dragado del fondo marino	20.984,90 €
3.	Construcción de la central Undimotriz	
3.01	Cimentación de la base de la central	479.689 €
3.02	Construcción de las cámaras	1.438.619,33 €
3.03	Acabado de la parte superior de la central	70.487,70€
4.	Subcontratación e instalación de las turbinas	1.272.175,78 €
<b>Total</b>		<b>3.285.331,80 €</b>
Gastos generales 13%		427.093 €
Beneficio Industrial 6%		197.120 €
<b>Total</b>		<b>3.909.544,84 €</b>
21% IVA		821.004€
<b>Presupuesto total para el Proyecto</b>		<b>4.730549,26 €</b>

El presupuesto total para el proyecto es de cuatro millones setecientos treinta mil quinientos cuarenta y nueve euros con veintiséis céntimos.

## Referencias

- [1] Suárez Quijano, Eduardo, Proyecto Fin de Grado, Universidad de Cantabria, Dependencia Energética y Energía Undimotriz en España: El Gran Potencial del Mar, 2017.
- [2] Pablo Hoyos Alcalde, Proyecto Fin de Grado Universidad de Cantabria, Proyecto de Central Undimotriz para Autoconsumo del Ayuntamiento de Comillas.