

# SEA ENERGY PROJECT:



## LA REVOLUCIÓN DE LAS OLAS

Autora: Ariadna González Navarro  
Tutorización: Enric Tormo (tutor académico) e Ivan Nadal (tutor-asesor externo)  
IES d'Argentona, Argentona (Barcelona)  
Curso: 2018.19  
Nivel académico: 1º Bachillerato

**Índice**

Resumen / Abstract	2
1. Introducción	3
2. Antecedentes	4
3. Hipótesis de trabajo y objetivos de la investigación	
3.1. Hipótesis	6
3.2. Objetivos	6
4. Materiales y métodos	
4.1. Materiales utilizados	6
4.2. Metodología seguida	6
5. Resultados	
5.1. Boya y estructura delta	8
5.2. Sistema de simulación de olas	8
5.3. Sistema de producción de energía	9
6. Conclusiones	10
7. Agradecimientos	11
Bibliografía	11

### **Resumen / Abstract**

Las energías hidráulica, eólica o fotovoltaica, entre otras renovables, están en continua expansión y desarrollo, pero empieza a surgir una nueva forma de obtenerla, relacionada con la fuerza de las olas. Actualmente existen algunos dispositivos tipo boya que permiten obtener una cierta cantidad de energía, pero que presentan un solo apoyo que monitoriza el movimiento vertical de las olas. Este único apoyo considero que reduce su eficiencia. Es por ello que se ha diseñado un sistema con tres puntos de anclaje equidistantes en un ángulo de  $120^\circ$  que, de manera independiente, pueden generar electricidad, gracias al movimiento vertical de cada uno de ellos. En condiciones controladas, se ha podido obtener un total de 18 V de potencial que ha permitido encender una pantalla LED, gracias a la conversión de la energía eléctrica alterna originada en los tres motores, en una continua gracias a un sistema de puentes de diodos. El siguiente paso es probarlo en un simulador de olas y observar su viabilidad. Para ello, ya se ha contactado con la UPC. Aunque es un primer prototipo; por tanto, mejorable, es una primera modificación de los sistemas ya existentes.

**Palabras clave: energía undimotriz, olas, medio ambiente, tecnología, innovación.**

### **Abstract**

The hydraulic, wind or photovoltaic energies, among other renewable energies, are in continuous expansion and development, but a new way to obtain it begins to emerge, related to the strength of the waves. Currently there are some buoy-type devices that allow a certain amount of energy to be obtained, but with only one support that monitors the vertical movement of the waves. This only support I think reduces its efficiency. That is why a system has been designed with three anchoring points equidistant at an angle of  $120^\circ$  that, independently, can generate electricity, thanks to the vertical movement of each of them. Under controlled conditions, it has been possible to obtain a total of 18 V of potential that has allowed to light an LED screen, thanks to the conversion of the alternating electrical energy originated in the three engines, in a continuous thanks to a system of diode bridges. The next step is to test it in a wave simulator and observe its viability. To do this, you have already contacted the UPC. Although it is a first prototype; therefore, improvable, it is a first modification of existing systems.

**Keywords: wave energy, waves, environment, technology, innovation.**

## 1. Introducción

¿Hasta qué punto las energías tradicionales tienen un límite de existencia? ¿Se aprovechan al máximo las energías renovables? ¿Realmente se conoce la energía producida por las olas? Y los sistemas existentes actualmente, ¿son eficientes? Estas son alguna de las preguntas que me han permitido realizar el presente trabajo.

Si comenzamos por la tercera pregunta y la quisiéramos responder, nos encontraríamos con la sorpresa de que no existe aún en el diccionario de la Real Academia de la Lengua española ningún término que defina la “energía producida por las olas” (**fig. 1**; <sup>1</sup>), siendo el término más próximo, aunque no igual, el de energía maremotriz, definida como “energía obtenida a partir del movimiento de las mareas” (<sup>2</sup>). Realizando nuevas búsquedas en otros espacios web, encontraremos una entrada del año 2011 que nos confirma esta ausencia (**fig. 2**; <sup>3</sup>). El término que queremos indagar se conoce como “undimotriz”, palabra compuesta que significa motor por olas (de “undo”, ola, y “motriz, motor). En consecuencia, nos encontramos con un término utilizado aún en áreas muy concretas y poco familiar para el público en general.

Como toda energía indicada como renovable, y definida por la RAE como “energía cuyas fuentes se presentan en la naturaleza de modo continuo y prácticamente inagotable” (<sup>4</sup>), cada vez está teniendo más auge para sustituir las llamadas energías no renovables (combustibles fósiles, energía nuclear, entre otras). Ello es debido a un aumento progresivo de la demanda de la energía eléctrica a escala mundial, el aumento en la dificultad de los sistemas actuales en generarlas y las problemática ambientales asociadas. Es por ello que, cada vez, se están buscando alternativas para respetar el medio ambiente (<sup>5</sup>).

La energía hidráulica, eólica, térmica, fotovoltaica, están en continua expansión y desarrollo, pero empieza a surgir una nueva forma de obtenerlas y es aprovechando la fuerza de las olas (<sup>6</sup>) y las mareas. Denominadas energía undimotriz u olamotriz (<sup>7</sup>), tienen un gran potencial energético y se estima que sólo Europa sería capaz de generar entre 120 a 190 TWh/año (datos para el 2011; <sup>8</sup>); comparándola con una central nuclear media, ésta es capaz de generar de 8 a 10 GWh / año suficiente para 2 millones de hogares (datos para el 2017; <sup>9</sup>).

Finalmente, actualmente existen algunos dispositivos tipo boya que permiten obtener una cierta cantidad de energía, pero que presentan un solo soporte (Ría de Bilbao, España (<sup>10</sup>); Sotenäs, Suecia (<sup>11</sup>); o Fortaleza, Brasil (<sup>12</sup>); **fig. 3**) que monitoriza el movimiento vertical de las olas (**fig. 4**). Todos ellos se caracterizan por presentar un solo apoyo en la boya, aunque existen otros sistemas, no analizados en este trabajo, con diseño diferente (<sup>13</sup>).

<sup>1</sup> RAE. Energía: <https://dle.rae.es/?id=FGD8otZ>

<sup>2</sup> RAE. Energía maremotriz: <https://dle.rae.es/?id=FGD8otZ>

<sup>3</sup> Fundéu BBVA. Undimotriz: <https://www.fundeu.es/consulta/undemotriz-4342/>

<sup>4</sup> RAE. Energía renovable: <https://dle.rae.es/?id=FGD8otZ>

<sup>5</sup> UCM (2011). Hacia una ética de la biosfera para crisis ambiental (tesis): [https://eprints.ucm.es/12646/1/T3\\_2767.pdf](https://eprints.ucm.es/12646/1/T3_2767.pdf)

<sup>6</sup> Etymol.com (2017). Brochure Undimotriz. [http://www.etymol.com/downloads/brochure%20undimotriz\\_etymol.pdf](http://www.etymol.com/downloads/brochure%20undimotriz_etymol.pdf).

<sup>7</sup> Wikipedia (2018). Energía undimotriz. [https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_undimotriz](https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_undimotriz)

<sup>8</sup> Madrid+ (2011). Producción de energía a partir de las olas del mar: <http://www.madrimasd.org/informacionldi/analisis/analisis/analisis.asp?id=50609>

<sup>9</sup> Foro nuclear (2017). Uranio, energía y piscinas de combustible:

<https://www.foronuclear.org/es/consultas-al-experto/122837-uranio-energia-y-piscinas-de-combustible>

<sup>10</sup> El Correo (2016). Euskadi se enchufa al Cantábrico: <https://www.elcorreo.com/alava/economia/201608/04/primer-captador-flotante-energia-20160804122631.html>

<sup>11</sup> Twenergy (2017). Energía Undimotriz Comercial:

<https://twenergy.com/a/energia-undimotriz-comercial-suecia-aprovecha-la-energia-de-sus-olas-2697>

<sup>12</sup> EcoPortal.net. Central undimotriz en Brasil: <https://www.ecoportal.net/paises/brasil/central-undimotriz-en-brasil/>

<sup>13</sup> Universidad Carlos III (2017). Cálculo y diseño de una central undimotriz (TFG): [https://orff.uc3m.es/bitstream/handle/10016/27621/TFG\\_Gonzalo\\_Piriz\\_Hurtado.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://orff.uc3m.es/bitstream/handle/10016/27621/TFG_Gonzalo_Piriz_Hurtado.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Con todos estos datos, la motivación para realizar el presente trabajo es clara y doble. Por una parte, dar a conocer este término en mi entorno, tanto educativo como social (y, por qué no, investigador), e intentar mejorar los sistemas existentes, centrándome en el caso de las boyas de un solo punto de apoyo. El diseño y creación de una propuesta es la base que se presenta en este estudio. Además, existe un componente personal y académico detrás de esta doble motivación. El tutor del trabajo siempre nos dice que en una investigación ha de haber una aportación propia y, junto con el hecho de que en mi familia el interés por la tecnología y las ingenierías siempre ha sido alto, me ha llevado a buscar temas que cumplieran con este conjunto de propósitos y que, además, fuera interdisciplinario, como es este caso: tecnología y medio ambiente.

## 2. Antecedentes

Muchas veces, realizando la correspondiente búsqueda bibliográfica, existía una cierta confusión entre los términos “energía mareomotriz” y “energía undimotriz”, siendo éste último el menos conocido cómo se ha comentado anteriormente. Supongo que la causa estaba en el hecho de incluir ambos en las llamadas energías del mar. Una vez definido el tema a tratar, se ha buscado ejemplos de sistemas existentes, dado que son mucho menos importantes que no los que se encuentran en diseño, dado el aumento progresivo de la importancia de este tipo de energía (<sup>14</sup>, <sup>15</sup>, <sup>16</sup>, <sup>17</sup>, <sup>18</sup>). Según datos del 2011, sólo unos pocos han alcanzado la etapa de ensayo a escala real en el mar y sólo uno de los desarrollos (Pelamis de Pelamis Wave Power) puede considerarse cercano a la fase de explotación comercial (<sup>19</sup>).

Los dispositivos para el aprovechamiento de la energía de las olas deben hacer frente a diversas dificultades para su desarrollo: entorno corrosivo, trabajo en condiciones meteorológicas extremas y variabilidad en la potencia y baja frecuencia de las olas. Para tratar de dar respuesta a estas dificultades, se han propuesto un gran número de dispositivos para el aprovechamiento de este tipo de energía, en claro contraste con cualquier otro tipo de aprovechamiento de energía renovable. Hasta el año 2011 se han desarrollado más de 100 tipos de generadores, que realizan el aprovechamiento de la energía de las olas en base a algunas de las siguientes tecnologías (<sup>20</sup>):

- **Columna oscilante de agua:** consiste en la oscilación del agua dentro de una cámara semisumergida y abierta por debajo del nivel del mar. Se produce un cambio de presión del aire por encima del agua que es aprovechado por una turbina.
- **Sistemas totalizadores:** pueden ser flotantes o fijos a la orilla. Atrapan la ola incidente, almacenando el agua en una presa elevada. El agua se hace pasar por unas turbinas al liberarla.
- **Sistemas basculantes:** pueden ser tanto flotantes como sumergidos. El movimiento de balanceo se convierte a través de un sistema hidráulico o mecánico en movimiento lineal o rotacional para el generador eléctrico.
- **Sistemas de bombeo:** aprovechan el movimiento vertical de las partículas del agua. Genera un sistema de bombeo mediante un flotador en una manguera elástica.

El presente estudio se ha centrado, por consiguiente, en los sistemas basculantes, concretamente de tipo boya, por dos causas: mayor facilidad para construir un nuevo prototipo con una

---

<sup>14</sup> Ibañez, P. (2008). Energías de la olas: Situación y Futuro: [https://www.udc.es/iuem/documentos/doc\\_xomadas/anaeco/APROVEITAMENTODA\\_ENERXIADASOLAS.pdf](https://www.udc.es/iuem/documentos/doc_xomadas/anaeco/APROVEITAMENTODA_ENERXIADASOLAS.pdf).

<sup>15</sup> Eco Wave Power (2018). Wave Energy: <https://www.ecowavepower.com/>

<sup>16</sup> US EIA (2018). Energy Explained. Wave Power. [https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=hydropower\\_wave](https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=hydropower_wave)

<sup>17</sup> Darvil, A. (2018). Energy Resources: Wave Power: <http://www.darvill.clara.net/altenerg/wave.htm>.

<sup>18</sup> Wedge Global (2014). Energía de las olas: <https://www.wedgeglobal.com/es/noticias/item/16-energia-de-las-olas>

<sup>19</sup> Madrid+ (2011). Producción de energía a partir de las olas del mar: <http://www.madrimasd.org/informacionldi/analisis/analisis/analisis.asp?id=50609>

<sup>20</sup> *idem*

tecnología más o menos accesible, y por presentar, en su mayoría, un único punto de apoyo. En concreto, de los existentes, se han analizado los siguientes (enumerados en el punto anterior):

- **Boya Undimotriz de OceanTec (Ría de Bilbao, <sup>21</sup>; fig. 5):** esta boya vertical -denominada Marmok A-5- es un dispositivo en acero que contiene todo el equipamiento mecánico y eléctrico capaz de generar energía mediante el movimiento de las olas. Tiene unas dimensiones de 42 metros de largo y un diámetro de 5 metros, con un peso de 30 toneladas, sumergido casi en su totalidad, salvo la cabeza flotante. Genera energía mediante la tecnología OWC (columna de agua oscilante), que aprovecha el movimiento de las olas para turbinar aire y producir electricidad. Fue botada en el año 2016 y se encuentra en la ría de Bilbao, a unos 10 km de la costa.
- **Boyas en las costas de Sotenäs (Suecia, <sup>22</sup>; fig 6):** se considera una de las plantas pioneras a nivel mundial de energía undimotriz conectada a la red comercial eléctrica, ya que comenzó a funcionar en el año 2011. El proyecto, realizado en colaboración entre las compañías Seabased, Fortum y la Agencia de Energía Sueca, supuso un hito en el uso de la energía undimotriz de forma comercial, siendo un paso firme en el esfuerzo de obtención de energía eléctrica a partir del movimiento de las olas del mar y una gran oportunidad para dar a conocer este tipo de energía renovable.
- **Boya en las costas de Porto do Pacem (Brasil, <sup>23</sup>; fig. 7):** ubicado en Porto do Pecém, el prototipo de 50 kilowatts está conformado por dos módulos, y cada uno de ellos tiene un flotador, una rama y la bomba. Una vez fijados, contribuyen a un único conjunto de turbinas, generadores y cámara hiperbárica. Actualmente se encuentra fuera de servicio en espera de nuevas inversiones y actualización los modelos existentes para aumentar su eficiencia (<sup>24</sup>).

Un sistema alternativo a las boyas es el que se utiliza en la **central undimotriz de Motriku**, en Cantabria, que trabaja mediante un sistema de cámaras de aire (**fig. 8**). La tecnología consiste en una estructura cuya parte superior forma una cámara de aire y cuya parte inferior está sumergida en el agua. Cuando la ola viene, el nivel del agua dentro de la cámara aumenta, desplazando el aire y haciendo que una turbina se mueva. Cuando la ola se va, el nivel del agua baja y el aire fluye en la dirección contraria. Gracias a una turbina reversible puede aprovecharse el flujo de aire en ambas direcciones para mover la turbina, que está asociada a un generador eléctrico que a su vez está acoplado a la red eléctrica a través de convertidores eléctricos de potencia (<sup>25, 26</sup>).

Con todos estos datos, y tal como se ha comentado en el apartado de introducción, se ha decidido trabajar con el sistema de boyas ya que lo considero como más factible para diseñar un prototipo que no con otros que he encontrado en las diferentes fuentes bibliográficas estudiadas. De todas maneras, también he observado que muchos de estos sistemas presentan discontinuidades en su funcionamiento (y como ejemplo la central brasileña) debido a los altos costos que implica poner en marcha una instalación de este tipo.

<sup>21</sup> Energías del Mar (2017). La boya undimotriz diseñada por Oceantec sobrevive un año de pruebas en el Cantábrico: <https://www.energias-renovables.com/energias-del-mar/el-prototipo-undimotriz-disenado-por-oceantec-sobrevive-2017-1226>

<sup>22</sup> Greenteach (2019). Energía undimotriz comercial: <https://www.greenteach.es/energia-undimotriz-comercial-suecia/>

<sup>23</sup> Energía Limpia XXI (2015). Brasil y Argentina aprovechan energía de las olas del mar:

<https://energialimpiaparatodos.com/2015/01/13/brasil-aprovecha-energia-de-las-olas-del-mar/>

<sup>24</sup> Marine Technology News: <https://www.marinetechologynews.com/blogs/wave-energy-research-in-brazil-taking-off-700004>

<sup>25</sup> DiarioRenovables (2017). Analizamos los datos de la Central de Motriku: <https://www.diariorenovables.com/2017/12/central-undimotriz-de-mutriku-analisis-datos-produccion-problemas.html>

<sup>26</sup> Mutriku Turismoa (2019). Planta undimotriz de Mutriku: <https://www.mutriku.eus/es/turismo/mutriku/planta-olas>



### 3. Hipòtesis de trabajo y objetivos de la investigación

#### 3.1. Hipòtesis

Por una parte, se ha estudiado el sistema de boya ya que resulta más viable para la realización de prototipos que no otros sistemas planteados. Por otra, considero que el sistema de boya que existe actualmente en la central de Porto do Pacem, base de mi prototipo, fijada en un punto tiene una menor eficiencia que el propuesto, dado que sólo monitoriza un punto de cara a la obtención de energía por movimiento vertical de las partículas de agua que pasan por este punto. Es posible obtener más energía si monitorizamos una mayor cantidad de puntos que presenten este movimiento vertical. Para ello, se pretende probar el sistema en algún tanque de generación de olas como el que existe en la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC).

#### 3.2. Objetivos

Con esta hipótesis de partida, el objetivo inicial es analizar algunos sistemas de obtención de energía undimotriz existentes. Posteriormente, y a partir del formato de boya, diseñar y construir un sistema de boya que mejore el rendimiento para la obtención de energía a partir del movimiento de las olas (energía undimotriz) a partir de un aumento de puntos de fijación que tengan un recorrido vertical, siguiendo este movimiento sinusoidal (McCormick, 2007, <sup>27</sup>, <sup>28</sup>). Finalmente, monitorizar la obtención de energía del prototipo montado y funcional con la ayuda de entornos más próximos a la realidad (<sup>29</sup>), como sería una piscina de olas (sistema controlado) o en el propio mar, próximo a la costa. Para ello, se pretende contactar con la Facultad de Náutica o con las instalaciones del Canal de Investigación y Experimentación Marítima (CIEM), ambos pertenecientes a la UPC.

### 4. Materiales y métodos

#### 4.1. Materiales utilizados (figs. 9-15)

Por lo que respecta al proceso metodológico, y con el fin de obtener una mínima precisión en el montaje del prototipo, para su construcción se han recurrido a diferentes programas de C.A.D., *solidworks* y *sketchup* para el diseño de piezas, así como a máquinas controladas por ordenador, fresador C.N.C., corte de hilo caliente C.N.C, cortadora láser, impresora 3D, y otras manuales como el torno, columna de taladrar y varias herramientas, llaves allen, hexagonales, tornavises, entre otras.

#### 4.2. Metodología seguida

Una vez realizada la búsqueda bibliográfica correspondiente, se hizo un diseño del prototipo y se comenzó su fabricación. Se han realizado diversos diseños de boya hasta encontrar un sistema que considero potencialmente viable, basándose en el existente de la central undemotriz de Porto do Pacem (Brasil; ver **2. Antecedentes**). Ésta presenta una triple sujeción con un ángulo de 120°, que se deslizan por una estructura tipo Delta (<sup>30</sup>), igual a la que se utiliza en los sistemas de impresora 3D (**fig. 16**). Para cumplir con el objetivo final, se proponen dos de específicos:

- Realizar una construcción lo más didáctica posible por ser una tecnología no muy conocida.

<sup>27</sup> Grupo de trabajo I+D+I (2019). Tipos de onda: [http://www.mecanica.frba.utn.edu.ar/energiaundimotriz/?page\\_id=270](http://www.mecanica.frba.utn.edu.ar/energiaundimotriz/?page_id=270)

<sup>28</sup> Sitiosolar.com (2013). La nueva central de captación de energía de las olas en Portugal y otros sistemas de obtención de energía en el mar: <http://www.sitiosolar.com/la-nueva-central-de-captacion-de-energia-de-las-olas-en-portugal-y-otros-sistemas-de-obtencion-de-energia-en-el-mar/>

<sup>29</sup> Castaño, M. (2015). Sistema de monitorización y supervisión de una boya para generación de energía undimotriz: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/12799>

<sup>30</sup> Imagen de una estructura tipo Delta: <http://dp4.yolasite.com/>

- Comprobar la viabilidad del sistema propuesto, inicialmente en una situación controlada y simulada y, posteriormente, en una situación lo más real posible.

Entrando más en el detalle metodológico, en su construcción partimos de la base que conocemos el sistema para aprovechar las olas (tipo boya) y el tipo de estructura (Delta). Para ello se ha analizado la bibliografía consultada. De todas formas, al no tener suficientes conocimientos en simulación por ordenador, el diseño se realiza mediante el modelo de ensayo y error, solventando los problemas según nos vayamos encontrando (**fig. 17**).

De todo el sistema planteado, el elemento principal es la boya, ya que se debe tener en cuenta que ésta ha de generar la suficiente fuerza para mover y soportar el peso de todo el conjunto que genera energía. A lo largo de todo el proceso, se diseñaron varias boyas, hasta dar con la óptima. Los principales problemas fueron:

- **Primer diseño:** demasiado pequeño, considerándose que no tendría suficiente fuerza como para producir energía. Fue diseñada a modo de flotador (formada por dos estructuras de corcho), con una zona central donde se situó un tubo de PVC (**fig. 18**). En la parte superior, se colocó una tapa para fijar el sistema de soporte. El problema es que pesaba mucho y se consideró que no sería un sistema válido y se descartó definitivamente.
- **Segundo diseño:** se pensó, posteriormente, en hacer una boya más ligera formada por poliuretano (corcho blanco). La medida que se tomó, de 30 cm de diámetro, era demasiado pequeño para el sistema pero fueron las medidas encontradas en el mercado. Se tomó una media esfera (**fig. 19**) y se puso una tapa donde se fijó el sistema de soporte al resto del mecanismo (**fig. 20**). Se llegó a probar sobre agua, pero debido a la forma de media esfera y a que la distancia entre puntos era muy grande, provocaba que en simulación y sin olas, no se mantenía quieto y estable y al generar olas, se desplazaba fuera de la estructura y el sistema quedaba clavado y no funcionaba (**fig. 21**). Por ello se volvió a descartar.
- **Tercer diseño:** es el que se presenta en el proyecto y que se describe a continuación.

Una vez descartados los dos primeros diseños por su tamaño y poca estabilidad, además de no permitir la producción de energía según el sistema mecánico pensado (cremalleras y piñones), se pensó en el sistema que finalmente ha formado parte del prototipo definitivo.

El sistema de boya está formado por tres capas de poliuretano (corcho blanco), de base plana (así se considera que se evitaría el problema de la boya semiesférica), de forma cilíndrica y 50 cm de diámetro, con tres muescas donde se fijaría el sistema de soporte al resto de la estructura (**fig. 22**). Para validar su estabilidad y capacidad de flotabilidad, se puso sobre el conjunto un peso de 5 kg (una botella de agua) y se observó dos cosas interesantes que animaron a seguir: era muy estable (la botella llena se aguantó derecha sobre el poliuretano cuando se puso en un recipiente con agua (**fig. 23**) y, en segundo lugar, que se hundía muy poco, con lo que se podría aprovechar más el movimiento de la ola para la producción de energía.

Una vez definida la boya, se pasó a la construcción del sistema mecánico basado en tres ejes equidistantes en sectores de 120°, fijados entre dos piezas circulares que formarían el esqueleto del prototipo. La boya se sujeta por el interior (muescas) a la estructura. El exterior es más grande, encajando en el diámetro de las bases circulares de 50 cm de diámetro (igual que la boya). Este sistema presenta tres características que favorecerían su funcionalidad (**fig. 24**): sistema compacto más resistente a las condiciones extremas del mar, facilitar la flotabilidad y mantener la boya dentro de la estructura.

Con el fin de cumplir el propósito, se ha optado por un sistema piñón-cremallera por su facilidad de ejecución (**fig. 25**). Las bielas que forman parte de la estructura soportan toda la fuerza del movimiento de la boya (**fig. 26**). Para aumentar su eficiencia, se ha añadido un sistema de rótula



para que tenga un poco de movilidad (**fig. 27**) en lugar de varillas fijas como se había pensado para los dos primeros sistemas. El conjunto se acompaña con tres motores de paso (**fig. 28**) situados en cada uno de los ejes y que permiten el movimiento vertical del sistema de piñón-cremallera.

En estudios consulados, se está investigando con otros mecanismos de movimiento, algunos de los cuales utilizan este movimiento rectilíneo para bombear un líquido, sea agua o aceite (ver **pág. 4**,<sup>31</sup>), aumentando su presión para mover una turbina, o también con imanes y el efecto Faraday (<sup>32</sup>).

Un resumen de imágenes de la construcción de la parte mecánica se puede ver en el anexo fotográfico (**figs. 29-32**).

Una vez diseñada ésta, se comenzó con la parte electrónica, conectada al sistema mecánico. Consta de tres elementos:

- **Base superior del sistema (fig. 33)**: es una base de alucobond (mezcla de aluminio y metacrilato) que aprovecha la sujeción superior de los ejes verticales. En ella se sitúan, entre otros, los motores generadores de energía y el sistema de transmisión formado por los piñones que mueven las cremalleras.
- **Sistema de simulación de olas (fig. 34)**: contiene, entre otros, la placa Arduino Mega, los drivers de alimentación de los motores de paso.
- **Sistema de aprovechamiento de la energía (fig. 35)**: se sitúan todos los componentes electrónicos que permiten el aprovechamiento de la energía, entre los cuales podemos destacar la placa prototipo donde están soldados los componentes y el convertidor dc-dc.

Un resumen de imágenes de la construcción de la parte electrónica se puede ver en el anexo fotográfico (**figs. 36-39**).

## 5. Resultados

Los resultados que se explicaran a continuación se centrarán en dos grandes puntos: la explicación del prototipo final y su funcionamiento, tanto desde el punto de vista mecánico como electrónico. El prototipo consta de tres partes:

- La boya y estructura delta, con una parte mecánica y una electrónica, como se ha comentado en la metodología.
- Simulador de olas (“caja verde”), con toda la parte electrónica que simulará el efecto sinusoidal de una ola.
- Sistema generación de energía (“caja roja”), con los componentes electrónicos necesarios para producir energía suficiente para poner en marcha un display LED.

### 5.1. Boya y estructura delta

En primer lugar, el prototipo diseñado (**fig. 40**) está formado por una boya de 50 cm, centrada en el conjunto y sujeta por tres puntos (estructura tipo delta) mediante unas varillas en cuyos extremos hay unas cabezas articuladas (**fig. 41**). Éstas están unidas a los patines que se deslizan por la estructura de aluminio (**fig. 42**). En éstos, a su vez, se sujetan las cremalleras que atacan los piñones en cuyo eje se halla la polea que mueve cada motor de paso (**fig. 43**) utilizado para genera energía, cuya relación es de 1:10. Esta boya, según estimaciones y análisis de datos de

---

<sup>31</sup> Univ. d'Alacant. Mecánica de fluidos: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10/20299/4/tema2impulsion.pdf>

<sup>32</sup> Gómez, D. (2010) Análisis de los generadores de accionamiento directo en tecnología undimotriz: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4994/fichero/5.An%C3%A1lisis+de+los+Generadores+de+Accionamiento+Directo.pdf>

los sistemas existentes (ver **Antecedentes**), debería tener en situación real, al menos, entre 5 y 10 m de diámetro para conseguir la fuerza necesaria para poder mover todo el sistema de generación de energía.

## 5.2. Sistema simulador de olas

Con el fin de hacer el prototipo más funcional y no tener que depender de un canal de agua para explicar su funcionamiento, se diseña un simulador de olas (“caja verde”, **fig. 44**). Su objetivo es acercarse al movimiento real moviendo la boya en los distintos ejes, hacia arriba y abajo. Esto también hará que todo el sistema de generación de energía entre en funcionamiento. Su elementos principales son la fuente de alimentación, driver TB6600, motores de pasos y Arduino Mega, todo instalado en un caja hecha a medida.

Para generar este movimiento se utilizan unos motores de pasos sujetos a cada una de las patas de la estructura mediante una pieza de unión (**fig. 45**). Los motores de pasos son dispositivos electromecánicos que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa que es capaz de girar una cantidad de grados dependiendo de sus entradas de control<sup>(33)</sup>. Los usados para simular las olas tiene un consumo que oscila entre dos y tres amperios; por ello se recurre a unos Drivers de Potencia (TB6600), ya que las salidas del Arduino Mega solo pueden manejar cargas de hasta 40 miliamperios, este modelo de arduino es capaz de generar los suficientes impulsos para poder mover los tres motores a la vez. En consecuencia, éstos deben tener el par suficiente para empujar todo el conjunto ya que se ha de tener en cuenta la resistencia que los motores generadores ejercen al ser movidos por el sistema piñon-cremallera. Para transmitir este movimiento utilizamos un husillo y tuerca especiales (de paso 50), con una rotación completa del motor desplazamos el patín 50 mm. La tuerca va unida al patín mediante una pieza que transmite el movimiento del husillo (**fig. 46**).

Las conexiones entre los distintos componentes se realizan según especificaciones fabricante, los TB6600 se conectan directamente a cada motor de pasos y fuente de alimentación, para controlarlos el Arduino solo necesita tres salidas, el positivo de Arduino conectados a DIR+, PUL+, EN+, sentido de giro (derecha o izquierda) DIR- a salidas 9, 7, 5, frecuencia de pulso (a mayor frecuencia, más velocidad pero menos par y a la inversa), PUL- a salidas 8, 6, 4, según esquema (**fig. 47**). Su funcionamiento es muy simple: solo controlamos sentido de giro (derecha o izquierda) y cuánto queremos desplazar cada eje. Mediante un temporizador hacemos que cada uno arranque con un desfase de un segundo, consiguiendo un efecto de vaivén. El programa usa la librería *AccelStepper* (**fig. 48**; <sup>34</sup>), muy fácil de usar, solo hemos de introducir velocidad, aceleración y desplazamiento, la librería genera todos los cálculos necesarios, la parte repetitiva del programa se encarga de invertir el sentido giro de los motores una vez alcanzan el desplazamiento introducido así como de la secuencia de puesta en marcha de los motores con un desfase de un segundo mediante temporizador para simular el efecto de la ola.

La caja electrónica del simulador se completa con una fuente de alimentación (12V; 8A), que alimenta todo el circuito.

## 5.3. Sistema de generación de energía

El sistema se reparte en tres zonas del prototipo: en los ejes (motores de paso), en la base superior (motores generadores de energía) y en el sistema convertidor de energía (“caja roja”). Dado que las revoluciones conseguidas no fueron muy elevadas, se tuvo que buscar un generador que a bajas r.p.m. generara un voltaje aprovechable. Este paso dió algunos problemas. Finalmente, se localizaron unos generadores (motor de pasos utilizado como generador) cuyas especificaciones (**fig. 49**; 200 r.p.m.; 84 V) se adaptaban a los objetivos marcados.

<sup>33</sup> Stepper Motor: <http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/lased/2002/motorespaso/motorespasoapaso.pdf>

<sup>34</sup> AccelStepper: <http://www.airspayce.com/mikem/arduino/AccelStepper/index.html>

Los motores generadores de energía (**fig. 50**) producen una tensión de tipo alterna. Cada uno cuenta con cuatro bobinas, se conectan en serie dos a dos (**fig. 51**) según especificaciones fabricante para conseguir el mayor voltaje posible <sup>(35)</sup>. El par de bobinas se conecta a un circuito rectificador formado por dos puentes de diodos modelo DC W02M. Su salida se filtra mediante condensadores electrolíticos 35 V y 2200 microfaradios, convirtiendo esta tensión a continua, este circuito se repite por cada generador, todos los componentes electrónicos se soldan a una placa de prototipos (**fig. 52**).

Éstos, a su salida, están conectados en serie, consiguiéndose unos 15 V - 18 V continuos que convertimos a 5 V mediante conversor dc-dc (**fig. 53**), permitiendo alimentar un display de leds (**fig. 54**).

## 6. Conclusiones

En primer lugar, se ha podido realizar un primer prototipo viable siguiendo el modelo de sistema de boya y estructura tipo delta (**fig. 55**). Si se compara con alguno parecido, el presentado es más compacto y, posiblemente, soportaría las duras condiciones del mar, ya que el propio sistema delta (en tres ejes) facilitaría esta resistencia, más que el sistema de un solo punto de apoyo. Dado que estos sistemas son relativamente nuevos, la tecnología tiene como objetivo alcanzar un grado de funcionalidad más que solucionar algunos aspectos como la discontinuidad de la energía y las irregularidades en amplitud, fase y dirección de las olas <sup>(36)</sup>.

Desde el punto de vista ambiental, la absorción y modificación del oleaje puede variar la morfología de la costa y de la vida marina asociada, como pasa en el sistema de boyas de Porto do Pacem (Brasil). Otros impactos, de tipo visual y sonoro, hay que tenerlos en cuenta, especialmente en zonas pobladas (en el ejemplo de la central undimotriz de Motriku, se ha minimizado este efecto mediante la colocación de la central en un espigón del puerto). El aprovechamiento en altamar, lejos de la costa, no implica ningún problema estético, sin embargo habría que determinar cómo afecta al oleaje en la vida marina. También los sistemas de anclaje de los generadores en alta mar pueden afectar a los hábitats de especies animales y vegetales de los fondos marinos, como ocurre en el conjunto de boyas de Sotenäs (Suecia). En este sentido, el sistema propuesto tendría un impacto que variaría en función del número de boyas que se colocarían en la zona de explotación, ya que ésta se debería también anclar en el fondo, y no afectaría a la zona litoral. De todas formas, resulta evidente que los dispositivos para el aprovechamiento de la energía de las olas en el litoral o cerca de él pueden tener impactos considerables sobre el medio ambiente que es necesario estudiar y evaluar de cara a la comercialización de este tipo de tecnologías <sup>(37)</sup>.

Actualmente, el sistema presentado ha intentado analizar algunos modelos ya existentes y minimizar algunos impactos que éstos podrían ocasionar, pero se ha centrado en la idea que podría ser más efectivo energéticamente por el sistema de tres puntos de monitoreo que presenta la boya, en relación a un único de los estudiados en la bibliografía, ya que seguiría mejor el movimiento sinusoidal que presenta una ola. Este aspecto está claramente condicionado a, al menos, dos aspectos a tener en cuenta. Por una parte, la posibilidad de ser comparado con una maqueta de la misma relación que la presentada aquí. Por otro, probar el sistema en un situación más próxima a la realidad.

Dado que este es un primer paso, y por tanto que el proyecto no está cerrado, el objetivo que vendría a continuación sería contactar con algún centro de investigación que trabaje esta energía para evaluar el producto conseguido hasta ahora, y cómo se podría continuar, en caso que se considerase mínimamente viable. Actualmente, se ha contactado ya con la Facultad de Náutica de la Universidad Politécnica de Barcelona. Otros posibles contactos que se están trabajando

<sup>35</sup> Size 23 Stepper Motor Data: <https://www.elmeg.es/ftp/productsFiles/14/MOTOR-PAP-HY2226-ES.pdf>

<sup>36</sup> Madrid+ (2011). Producción de energía a partir de las olas del mar: <http://www.madrimasd.org/informacionldi/analisis/analisis/analisis.asp?id=50609>

<sup>37</sup> *idem*.

son, por una parte, el Instituto de Ciencias del Mar (ICM), centro del CSIC y, por otra, la Escuela Técnica de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Cataluña, dos de los espacios donde hay canales que producen olas y que podría ser un punto de ensayo para el sistema.

En definitiva, para que el sistema fuera viable, se debería conseguir mover el conjunto con el mínimo oleaje posible, solucionando la potencial problemática del oleaje irregular que se presenta en muchas zonas costeras y marinas. Para ello, la simulación en un canal de oleaje podría responder, de manera importante, esta duda. Considero, en este sentido, que manteniendo el sistema propuesto y utilizando una boya de dimensiones generosas se podría conseguir.

## 7. Agradecimientos

En primer lugar, he de agradecer a mi tutor por enseñarme, y ya desde hace unos años, el método de investigación e intentar de mi buscar la excelencia, participando en congresos y otros acontecimientos relacionados con la ciencia y la tecnología., además de animarme en la realización del presente trabajo y temática, ya que, sin ser fácil, se ha podido tirar adelante.

Seguidamente, a mi familia, en especial a mi padre, por el soporte moral y material recibido durante todo el proceso de realización de los prototipos.

Finalmente, al profesor Juan Antonio Moreno y al sr Manel Grifoll, vicedecano de relaciones Internacionales y de Investigación, ambos de la Facultad de Náutica perteneciente a la Universidad Politécnica de Barcelona, y a la Sociedad Catalana de Tecnología, por confiar en el trabajo y haberme otorgado el premio que lleva su nombre en la pasada feria Exporecerca Jove que tuvo lugar en Barcelona.

## Bibliografía

### Libros

- McCormick, M.E. (2007). *Ocean Wave Energy Conversion. Chapter 2. Ocean waves*. Pp. 7-25. Dover Publications, USA. ISBN-13: 9780486462455

### Publicaciones electrónicas

- <sup>(34)</sup> Ametek (2012). *Size 23 Stepper Motor Data*. Catlaógo. Consultada el 16 diciembre de 2018, <https://www.elmeq.es/ftp/productsFiles/1402/MOTOR-PAP-HY2226-ES.pdf>
- <sup>(5)</sup> Díaz, C. (2011). *Hacia una ética de la biosfera para crisis ambiental (tesis)*. UCM. Consultada el 2 de setiembre de 2018, [https://eprints.ucm.es/12646/1/T3\\_2767.pdf](https://eprints.ucm.es/12646/1/T3_2767.pdf)
- <sup>(6)</sup> Etymol.com (2017). *Brochure Undimotriz*. Consultada el 2 de setiembre de 2018, [http://www.etymol.com/downloads/brochure%20\\_undimotriz\\_etymol.pdf](http://www.etymol.com/downloads/brochure%20_undimotriz_etymol.pdf).
- <sup>(32)</sup> Gómez, D. (2010). *Análisis de los generadores de accionamiento directo en tecnología undimotriz*. Universidad de Sevilla. Consultada el 7 de diciembre de 2018, <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4994/fichero/5.An%C3%A1lisis+de+los+Generadores+de+Accionamiento+Directo.pdf>
- <sup>(14)</sup> Ibañez, P. (2008). *Energías de la olas: Situación y Futuro*. Universidad da Coruña, [https://www.udc.es/iuem/documentos/doc\\_xornadas/anaeco/APROVEITAMENTODAEN\\_ERXIADASOLAS.pdf](https://www.udc.es/iuem/documentos/doc_xornadas/anaeco/APROVEITAMENTODAEN_ERXIADASOLAS.pdf).
- <sup>(13)</sup> Píriz, H. (2017). *Cálculo y diseño de una central undimotriz (TFG)*. Universidad Carlos III. Consultada el 2 de setiembre de 2018, [https://orff.uc3m.es/bitstream/handle/10016/27621/TFG\\_Gonzalo\\_Piriz\\_Hurtado.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://orff.uc3m.es/bitstream/handle/10016/27621/TFG_Gonzalo_Piriz_Hurtado.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- <sup>(35)</sup> Size 23 Stepper Motor Data (n.d.). Consultada el 4 de enero de 2019, [https://www.elmeq.es/ftp/products\\_Files/1402/MOTOR-PAP-HY2226-ES.pdf](https://www.elmeq.es/ftp/products_Files/1402/MOTOR-PAP-HY2226-ES.pdf)
- <sup>(33)</sup> Universidad Politécnica de Valencia (2002). *Control de motores paso a paso mediante microcontroladores (Stepper motor)*. Consultada el 23 de diciembre de 2018, <http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/lased/2002/motorespasoapaso/motorespasoapaso.pdf>

## Webs

- <sup>(34)</sup> AccelStepper library for Arduino (n.d.). Consultada el 5 de enero de 2019, <http://www.airspayce.com/mikem/arduino/AccelStepper/index.html>
- <sup>(10)</sup> Arrieta, J.(2016). *Euskadi se enchufa al Cantábrico*. *El Correo*. Consultada el 2 de setiembre de 2018, <https://www.elcorreo.com/alava/economia/201608/04/primer-captador-flotante-energia-20160804122631.html>
- <sup>(29)</sup> Castaño, M. (2015). *Sistema de monitorización y supervisión de una boya para generación de energía undimotriz*. UPCommons. Consultada el 21 de octubre de 2018, <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/12799>
- <sup>(17)</sup> Darvil, A. (2018). *Energy Resources: Wave Power*. Consultada el 24 de noviembre de 2018, <http://www.darvill.clara.net/altenerg/wave.htm>
- <sup>(10)</sup> EcoPortal.net (2014). *Central undimotriz en Brasil*. Consultada el 23 de setiembre de 2018, <https://www.ecoport.net/paises/brasil/central-undimotriz-en-brasil/>
- <sup>(15)</sup> EcoWavePower (2018). *Wave Energy*. Consultada el 2 de setiembre de 2018, <https://www.ecowavepower.com/>
- <sup>(23)</sup> Energía Limpia XXI (2015). *Brasil y Argentina aprovechan energía de las olas del mar*. Consultada 23 de setiembre de 2018, <https://energialimpiaparatodos.com/2015/01/13/brasil-aprovecha-energia-de-las-olas-del-mar/>
- <sup>(21)</sup> ER (2017). Energías del mar. *La boya undimotriz diseñada por Oceantec sobrevive un año de pruebas en el Cantábrico*. Consultada el 2 de setiembre de 2018, [https://www.energias-renovables.com/energias\\_del\\_mar/el-prototipo-undimotriz-disenado-por-oceantec-sobrevive-20171226](https://www.energias-renovables.com/energias_del_mar/el-prototipo-undimotriz-disenado-por-oceantec-sobrevive-20171226)
- <sup>(9)</sup> Foro nuclear (2017). *Uranio, energía y piscinas de combustible*. Consultada el 2 de setiembre de 2018, <https://www.foronuclear.org/es/consultas-al-experto/122837-uranio-energia-y-piscinas-de-combustible>
- <sup>(25)</sup> Fernández, S. (2017). *Analizamos los datos de la Central de Mutriku*. *DiarioRenovables*. Consultada el 2 diciembre de 2018, <https://www.diariorenovables.com/2017/12/central-undimotriz-de-mutriku-analisis-datos-produccion-problemas.html>
- <sup>(3)</sup> Fundéu BBVA (2011). *Undimotriz*. Consultada el 26 de agosto de 2018: <https://www.fundeu.es/consulta/undemotriz-4342/>
- <sup>(22)</sup> Greenteach (2019). *Energía undimotriz comercial*. Consultada el 2 de setiembre de 2018, <https://www.greenteach.es/energia-undimotriz-comercial-suecia/>
- <sup>(27)</sup> Grupo de trabajo I+D+I (2019).. *Tipos de onda*. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. Consultada el 26 de agosto de 2018, [http://www.mecanica.frba.utn.edu.ar/energiaundimotriz/?page\\_id=270](http://www.mecanica.frba.utn.edu.ar/energiaundimotriz/?page_id=270)
- <sup>(26)</sup> Mutriku Turismoa (2018). *Planta undimotriz de Mutriku*. Consultada el 23 de setiembre de 2018, <https://www.mutriku.eus/es/turismo/mutriku/planta-olas>

- (<sup>8</sup>, <sup>19</sup>, <sup>20</sup>, <sup>36</sup>, <sup>37</sup>) Navarro, R (2011). *Producción de energía a partir de las olas del mar*. Madrid+. Consultada el 2 de setiembre y el 21 de octubre de 2018, y el 17 de febrero de 2019, <http://www.madrimasd.org/informacion/Idi/analisis/analisis/analisis.asp?id=50609>
- (<sup>24</sup>) Paschoa, C. (2013). Marine Technology. *Wave energy research in Brazil Taking Off*. Consultada el 21 de octubre de 2018, <https://www.marinetechologynews.com/blogs/wave-energy-research-in-brazil-taking-off-700004>
- (<sup>1</sup>) RAE (n.d.). *Energía*. Consultada el 26 de agosto de 2018, <https://dle.rae.es/?id=FGD8otZ>
- (<sup>2</sup>) RAE (n.d.). *Energía maremotriz*. Consultada el 26 de agosto de 2018, <https://dle.rae.es/?id=FGD8otZ>
- (<sup>4</sup>) RAE. *Energía renovable*. Consultada el 26 de agosto de 2018, <https://dle.rae.es/?id=FGD8otZ>
- (<sup>28</sup>) Sitiosolar.com (2013). *La nueva central de captación de energía de las olas en Portugal y otros sistemas de obtención de energía en el mar*. Consultada el 2 de setiembre de 2018, <http://www.sitiosolar.com/la-nueva-central-de-captacion-de-energia-de-las-olas-en-portugal-y-otros-sistemas-de-obtencion-de-energia-en-el-mar/>
- (<sup>31</sup>) Universidad de Alicante (n.d.). *Mecánica de fluidos*. Consultada el 7 de diciembre de 2018, [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20299/4/tema2\\_impulsion.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20299/4/tema2_impulsion.pdf)
- (<sup>30</sup>) Universidad Veritas (n.d.). *Impresora 3D Delta*. Consultada el 7 de diciembre de 2018, <http://dp4.yolasite.com/>
- (<sup>15</sup>) US EIA (2018). *Energy Explained. Wave Power*. Consultada el 26 de agosto de 2018, [https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=hydropower\\_wave](https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=hydropower_wave).
- (<sup>17</sup>) Wedge Global (2014). *Energía de las olas*. Consultada el 26 de agosto de 2018, <https://www.wedgeglobal.com/es/noticias/item/16-energia-de-las-olas>.
- (<sup>7</sup>) Wikipedia (2018). *Energía undimotriz*. Consultada el 26 de agosto de 2018, [https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_undimotriz](https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_undimotriz).
- (<sup>9</sup>) Yayí, Ch. (2017). *Energía Undimotriz Comercial*. Twenergy. Consultada el 2 de setiembre de 2018, <https://twenergy.com/a/energia-undimotriz-comercial-suecia-aprovecha-la-energia-de-sus-olas-2697>

#### Otros

- Vera, R. (2014). Youtube. *Energía con las olas del mar*. [https://www.youtube.com/watch?v=v2xA\\_sRedKI](https://www.youtube.com/watch?v=v2xA_sRedKI). Consultada el 21 de octubre de 2018.
- Navarro, A. (2019). Youtube. *Sea Energy Project*. Resumen del proyecto: <https://youtu.be/B6j21nwGuys>



ANEXO - IMÁGENES, TABLAS Y FIGURAS

Introducción y antecedentes

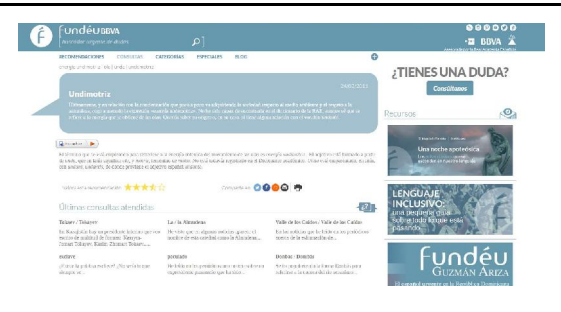
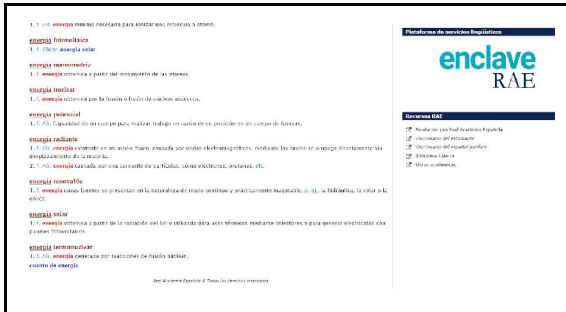


Fig. 1. Captura de pantalla de algunos tipos de energía , pero en la que está ausente aquel que defina “energía obtenida a partir del movimiento de las olas”.

Fuente: <https://dle.rae.es/?id=FGD8otZ>

Fig. 2. Captura de pantalla de la página de Fundéu BBVA donde se indica la falta del término “undimotriz” en el diccionario de la RAE.

Fuente: <https://www.fundeu.es/consulta/undimotriz-4342/>

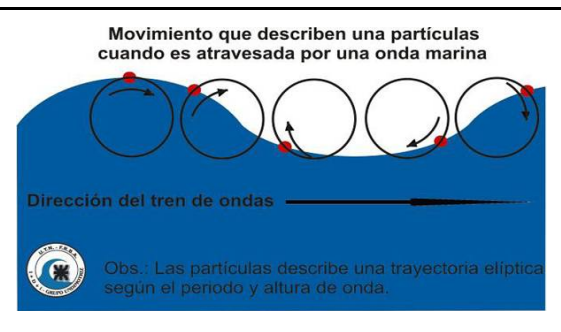
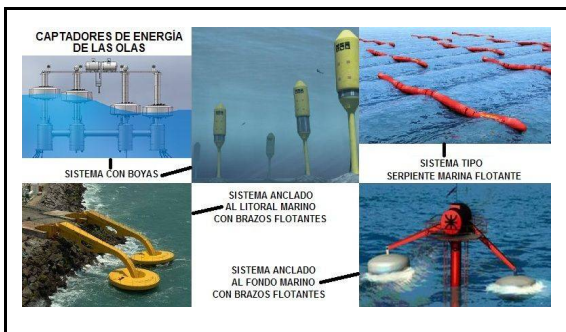


Fig. 3. (e). Algunos de los sistemas existentes.  
Fuente: <https://energias-renovables-y-limpias.blogspot.com/2012/08/definicion-de-energia-undimotriz-y-sistemas-de-captacion.html>

Fig. 4. (c). Física del movimiento de las ondas.  
Font: <http://www.mecanica.frba.utn.edu.ar/energiaundimotriz/>

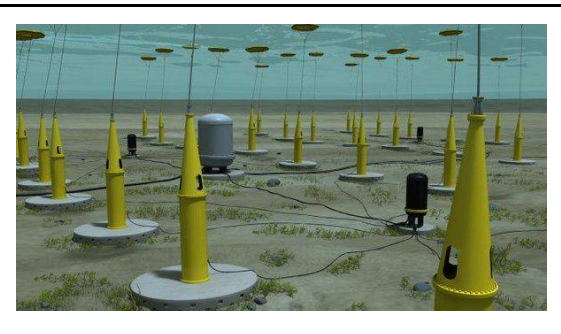


Fig. 5. Sistemas de boyas en el Cantábrico.  
Fuente: [https://www.energias-renovables.com/energias\\_del\\_mar/oceantec-20171226](https://www.energias-renovables.com/energias_del_mar/oceantec-20171226)

Fig. 6. Sistema de boyas en el mar del Norte (Suecia).  
Fuente: <https://twenergy.com/a/energia-undimotriz-comercial-suecia-aprovecha-la-energia-de-olas-2697>



Fig. 7. Imagen de las boyas del sistema brasileño.

Fuente:

<https://energialimpiaparatodos.com/2015/01/13/brasil-aprovecha-energia-de-las-olas-del-mar/>

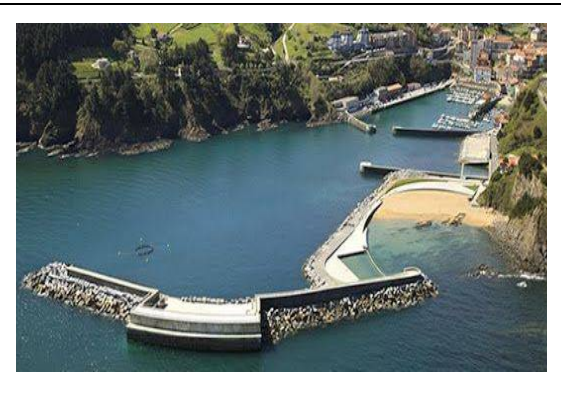


Fig. 8. Visión panorámica de la estación de Motriku.

Fuente: <https://www.diariorenovables.com/2017/12/central-undimotriz-de-motriku-analisis-datos-produccion-problemas.html>

## Proceso metodológico

### Materiales utilizados

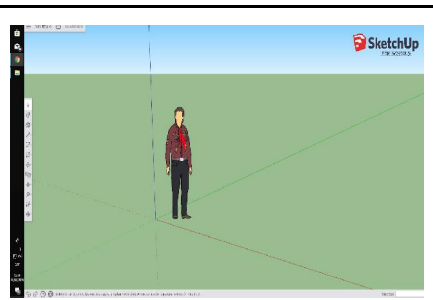
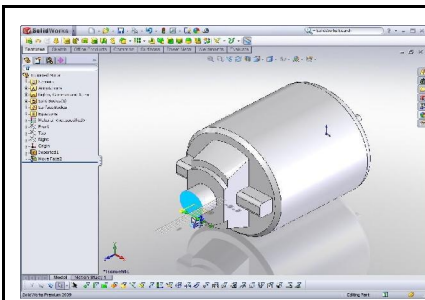


Fig. 9 (i).  
Pantalla principal de SolidWorks.  
Fig. 10 (d).  
Pantalla principal de Sketchup.



Fig. 11 (i). Guías para ejes.  
Fig. 12 (d). Motor de paso.

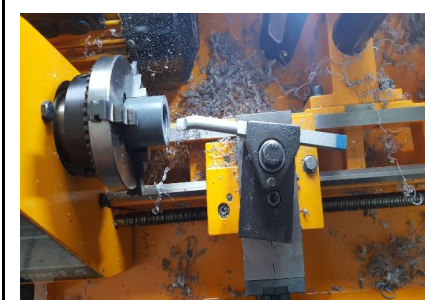


Fig. 13 (i). Torno.  
Fig. 14 (d). Fresadora CNC.

Metodología seguida

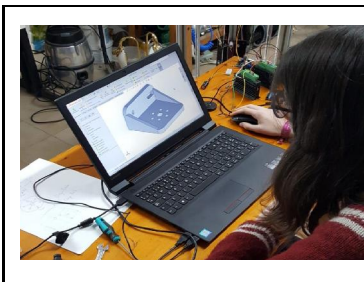


Fig. 15. Trabajando con Solidworks.



Fig. 16. Sistema de sujeción de la boya.

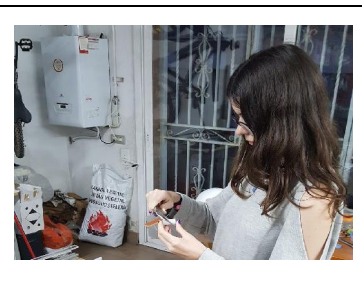


Fig. 17. Modificando piezas para mejorar el sistema.



Fig. 18. Primer modelo de boya.



Fig. 19. Segundo modelo de boya.



Fig. 20. Segundo modelo con el sistema de fijación.

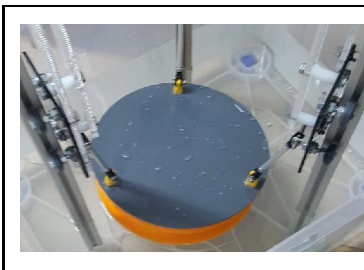


Fig. 21. El mecanismo puede salirse del cuerpo de la estructura y clavarse.



Fig. 22. Tercer modelo de boya.

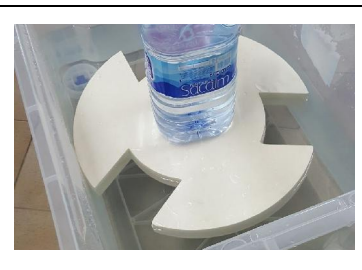


Fig. 23. Prueba de la estabilidad del tercer modelo.

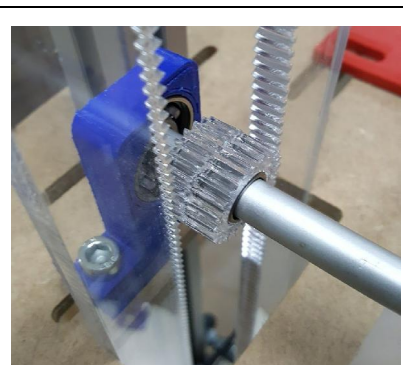
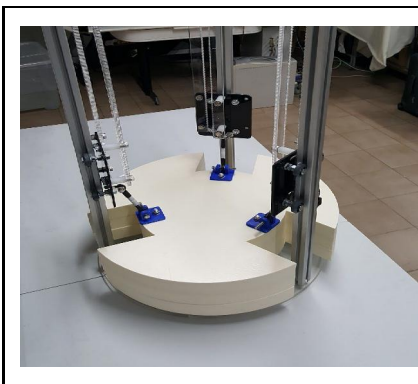


Fig. 24 (i). Modelo compacto de boya incorporada en el cuerpo del prototipo.

Fig. 25 (d). Sistema piñón-cremallera utilizado para el movimiento vertical del simulador.



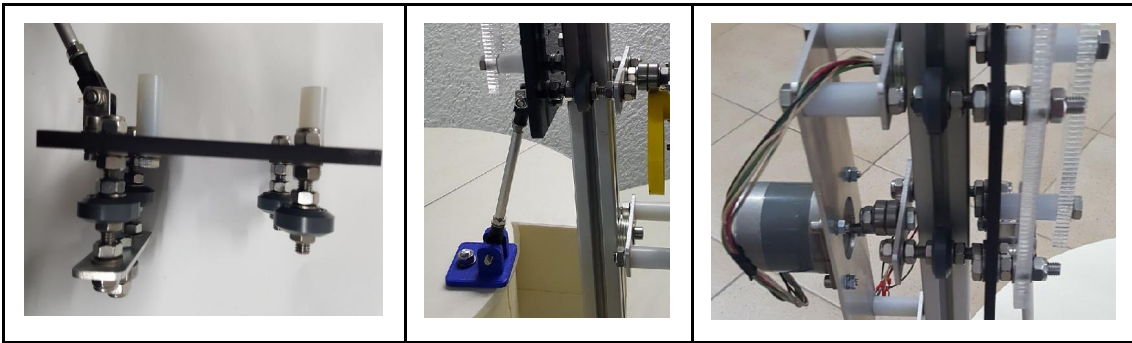


Fig. 26. Sistema de bielas que sujetan la boya.

Fig. 27. Detalle de las rótulas.

Fig. 28. Motores de paso en cada uno de los ejes.

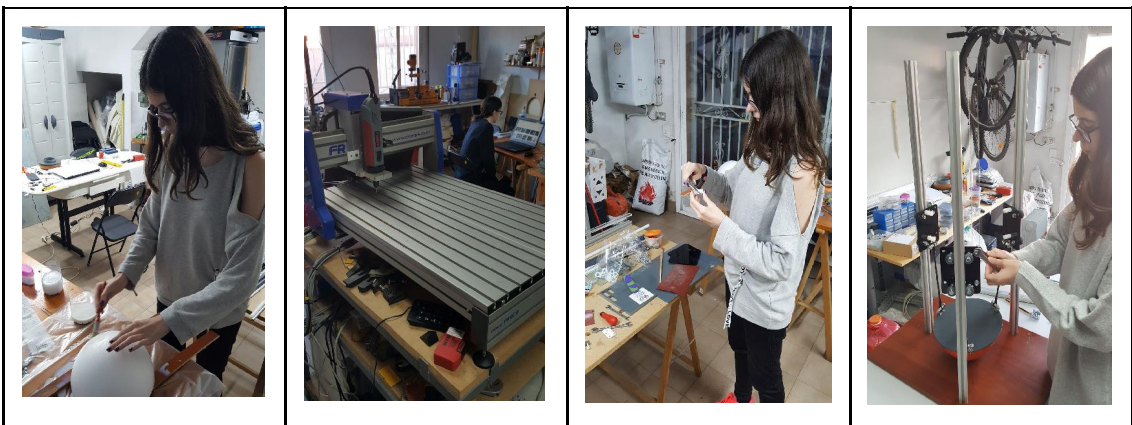


Fig. 29-32. Secuencia de imágenes del proceso de diseño y fabricación del segundo prototipo de boya.

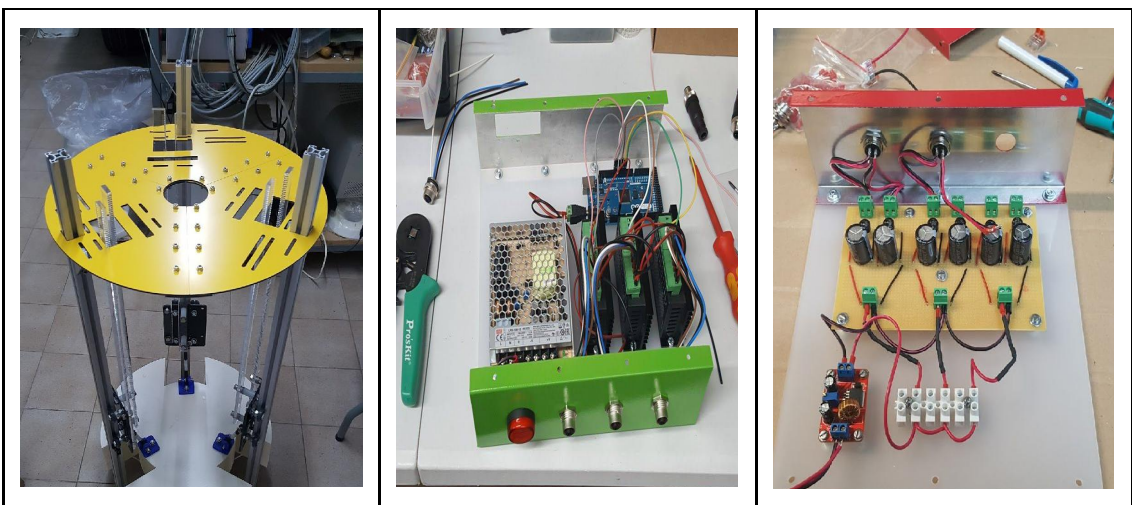
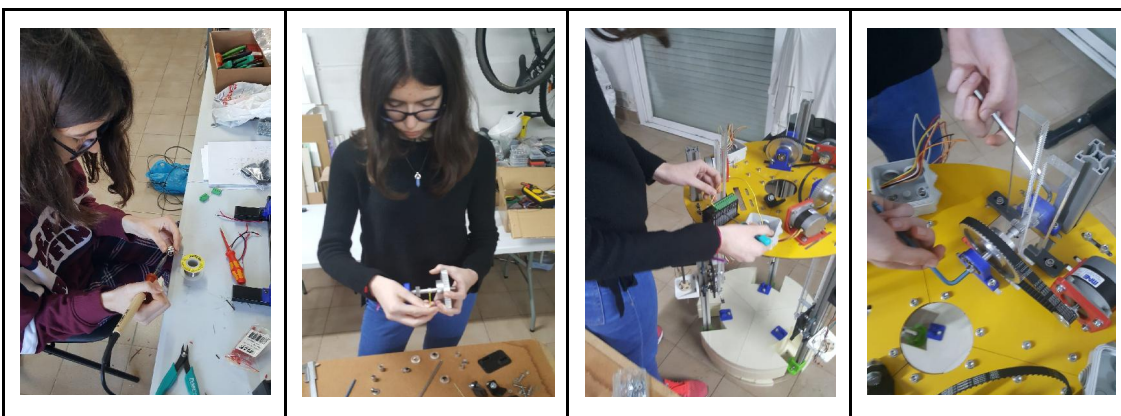


Fig. 33. Base superior donde se colocaría parte del mecanismo eléctrico.

Fig. 34. Circuito electrónico para simular el funcionamiento mecánico de las olas.

Fig. 35. Placa electrónica para el aprovechamiento de la energía.



Figs. 36-39. Secuencia de imágenes del proceso de desarrollo de la parte electrónica.

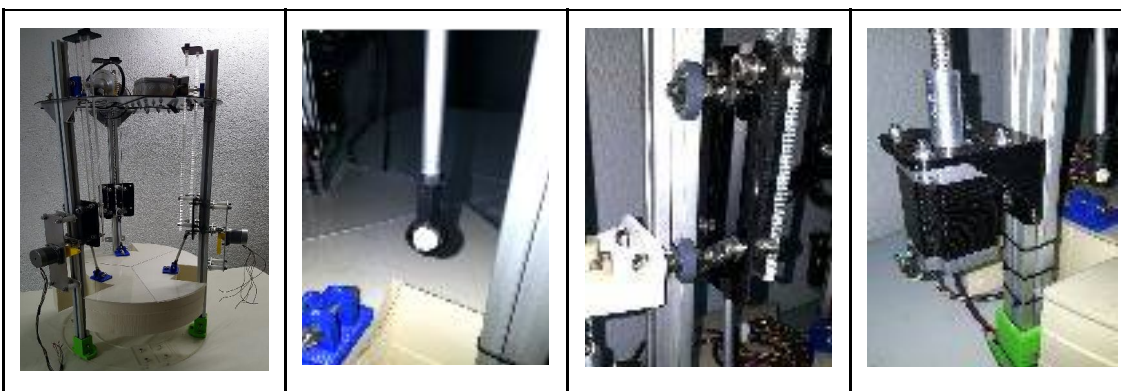


Fig. 40. Visión general del prototipo.

Fig. 41. Detalle del sistema móvil para la boya.

Fig. 42. Detalle del sistema móvil de patines.

Fig. 43. Detalle de uno de los motores de paso.

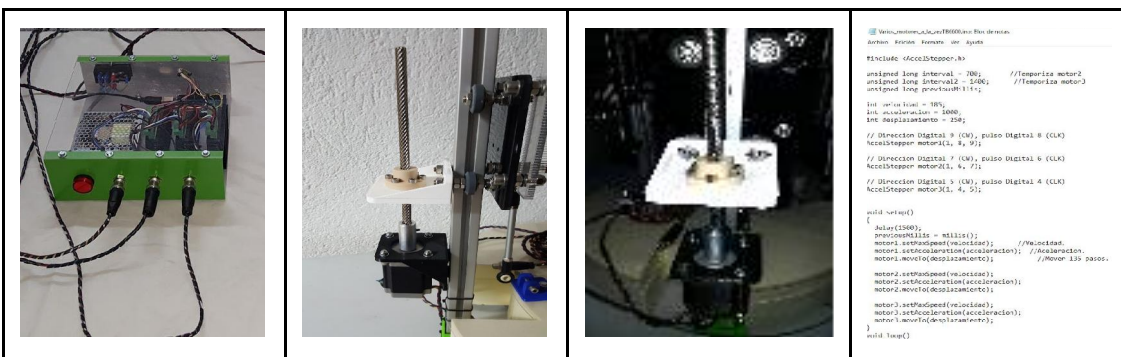


Fig. 44. Estructura del simulador de olas ("caja verde").

Fig. 45. Mecanismo simulador de olas.

Fig. 46. Detalle de la tuerca unida a la pieza que mueve el patin.

Fig. 47. Programa Arduino para controlar el movimiento motor.

```

#include <AccelStepper.h>
unsigned long interval = 700; //Tiempo para motor2
unsigned long interval2 = 3000; //Tiempo para motor3
const long pinDir1=311;

int dir1Pin = 185;
int motor1Pin = 1800;
int displacement = 250;

// Dirección Digital 0 (CLK), pulso Digital 0 (CLK)
AccelStepper motor1(1, 0, 0);

// Dirección Digital 1 (CLK), pulso Digital 6 (CLK)
AccelStepper motor2(1, 6, 7);

// Dirección Digital 2 (CLK), pulso Digital 4 (CLK)
AccelStepper motor3(1, 4, 5);

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(185, OUTPUT);
  motor1.setAcceleration(acceleration); //Aceleración
  motor2.setAcceleration(acceleration); //Aceleración
  motor3.setAcceleration(acceleration); //Motor 120 pasos.
}

void loop()

```



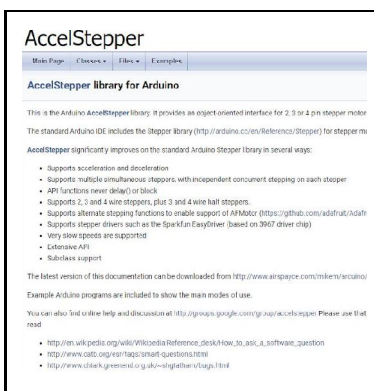


Fig. 48. Captura de pantalla de la librería.

Fuente:

<http://www.airspayce.com/mikem/arduino/AccelStepper/index.html>

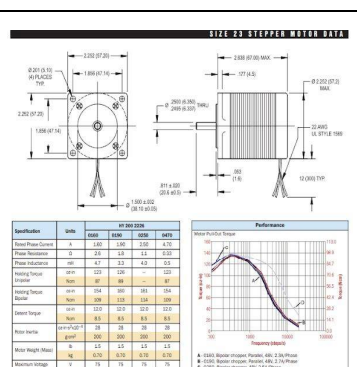


Fig. 49. Características de los motores generadores.

Fuente

<https://www.elmeq.es/fip/productsFiles/1402/MOTOR-PA-P-HY2226-ES.pdf>

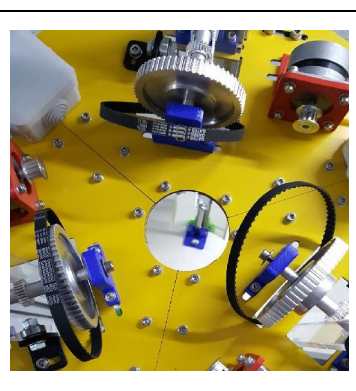


Fig. 50. Motores generadores de energía.

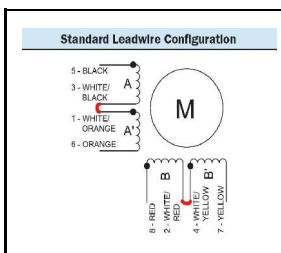


Fig. 51. Esquema de la conexión.

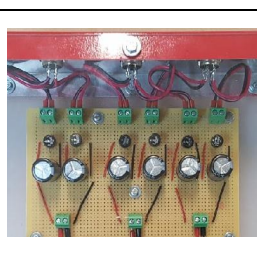


Fig. 52. Puentes de diodos.

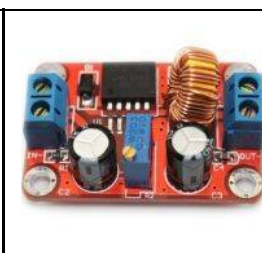


Fig. 53. Conversor dc-dc.

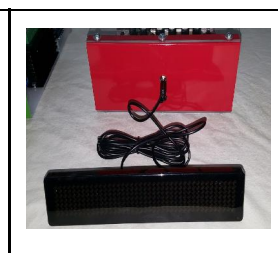


Fig. 54. Display de LED.

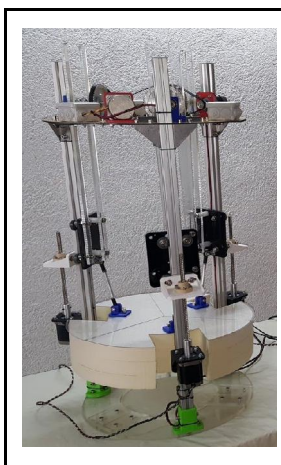


Fig. 55. Visión general del prototipo finalizado, con la boya y la estructura delta (izquierda), el simulador de olas y el generador de energía (centro), y el display funcionando (derecha).