



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS ENERGÉTICOS Y
MEDIOAMBIENTALES PARA EL DISEÑO DE UN PARQUE
UNDIMOTRIZ

Autor/es

Eduardo Miguel Martín Acero

Director/es

José Antonio Domínguez Navarro

María Benita Murillo Esteban

Ingeniería Eléctrica

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2024

RESUMEN DEL ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS ENERGÉTICOS Y MEDIOAMBIENTALES PARA EL DISEÑO DE UN PARQUE UNDIMOTRIZ

Este proyecto pretende hacer un estudio sobre las características necesarias para instalar y desarrollar la actividad undimotriz, el prediseño de un parque, una primera aproximación del cálculo que la instalación diseñada genera, y una evaluación ambiental para conocer una primera aproximación de la viabilidad sostenible del parque.

Se define una ubicación para la que hacer la selección del dispositivo que más se adecúe a las especificaciones del emplazamiento, y mostrar un cálculo aproximado de la potencia que se extraería del parque. Tras ello se expone un estudio de los impactos que podría generar la instalación en su entorno ofreciendo posibles soluciones.

ÍNDICE

RESUMEN.....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. LOCALIZACIÓN.....	7
2.1 LOS ESTADOS DEL MAR.....	7
2.2 UBICACIÓN DEL PARQUE.....	8
2.2.1. FACTORES CUANTITATIVOS.....	8
2.2.2. FACTORES AMBIENTALES.....	9
2.2.3. FACTORES CUALITATIVOS.....	10
2.3.LOS ESTADOS DEL MAR DE LAS SALINETAS.....	11
3. DISEÑO DEL PARQUE.....	12
3.1. DISPOSITIVOS WEC CLASIFICACIÓN Y SELECCIÓN.....	12
3.1.1. SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE LA POTENCIA (PTO).....	12
3.1.2 CONVERSIÓN DE LA ENERGÍA.....	13
3.1.3 EL GENERADOR LINEAL.....	13
3.1.4 CLASIFICACIÓN DE LOS WECs.....	13
3.1.4.1 CLASIFICACIÓN SEGÚN SU POSICIONAMIENTO RELATIVO A LA COSTA.....	13
3.1.4.2 CLASIFICACIÓN SEGÚN POSICIONAMIENTO FRENTE AL OLEAJE.....	14
3.1.5 SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO.....	15
3.2 CONFIGURACIÓN DEL PARQUE.....	17
3.1.1. DISPOSICIÓN DE LOS DISPOSITIVOS.....	18
3.1.2 DISTANCIA A LA COSTA.....	19
3.1.3. CONEXIONADO.....	19
3.3.LA SUBESTACIÓN.....	19
4. CÁLCULO DE GENERACIÓN.....	20
4.1 CÁLCULOS.....	20
4.2 RESULTADOS.....	21
4.3 GRÁFICAS.....	22
5. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.....	23
5.1. EVALUACIÓN DE IMPACTO.....	23
5.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	23
5.3. INVENTARIO AMBIENTAL.....	26
5.4. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS.....	28
5.4.1. MATRIZ CAUSA-EFECTO: IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS.....	28
5.5. MEDIDAS CORRECTIVAS.....	30

6. ANEXO I. CONTEXTO DEL EMPLAZAMIENTO.....	31
1.1. LOS ESTADOS DEL MAR.....	31
1.1.1 ESTUDIO SOBRE EL OLEAJE.....	31
1.1.2 EL VIENTO.....	32
1.1.3. PROFUNDIDAD.....	33
1.2 RESTRICCIONES ZONALES.....	35
1.3 CUALIDADES DE LAS SALINETAS PARA ALBERGAR UN PARQUE.....	37
ANEXO II. LOS DISPOSITIVOS WEC.....	39
2.1. LOS DISPOSITIVOS GENERADORES UNDIMOTRICES.....	39
2.2 SISTEMA DE EXTRACCIÓN PTO.....	39
2.3 PROCESO DE CONVERSIÓN ENERGÉTICA.....	40
2.4 EL GENERADOR INTERNO DEL DISPOSITIVO.....	41
2.5 ESTUDIO DE LOS DISPOSITIVOS WEC.....	43
2.6. TIPOS DE DISPOSICIÓN.....	47
8. ANEXO III. IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS.....	49
7.	
CONCLUSIONES.....	51
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

INTRODUCCIÓN

El futuro de la energía involucra en gran medida a las renovables, pero hasta ahora todas las que producen energía a gran escala, involucran materias primas que no siempre cumplen condiciones aptas para que se genere energía, la tecnología fotovoltaica produce energía exclusivamente de día, la eólica cuando hay viento... En cambio, el oleaje, la materia prima a partir de la cual la energía undimotriz genera energía, es una materia prima de la que se puede extraer energía de forma continua.

La Tierra contiene más de 510 millones de km² de agua en la superficie terrestre, y gracias a la acción de la luna que provoca las mareas, está en constante movimiento, y el movimiento es energía. Cada ola en cada playa rompe, da igual el día, hora o época del año, cargada de una energía cinética y potencial que no está siendo aprovechada.

La energía undimotriz está aún en desarrollo por varias razones, aunque cada vez se estudia de manera más frecuente implementarla en mares de todo el mundo, en parte por ser uno de los principales objetivos del Blue Growth. “Una estrategia a largo plazo en apoyo del crecimiento sostenible de los sectores marino y marítimo aplicada por la Comisión Europea (DG MARE) para aprovechar el potencial sin explotar de los océanos, mares y costas de Europa como motores de la economía verde europea con un gran potencial para la innovación, mejora de la competitividad y empleos de calidad con el fin de alcanzar los objetivos de la estrategia Europa 2020 para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador”[1].

Así pues, dadas las posibilidades que esta energía ofrece, el presente trabajo de fin de grado alberga la búsqueda de un emplazamiento adecuado para el desarrollo de esta actividad, un diseño de los elementos más importantes de un parque undimotriz, un cálculo aproximado de la energía que genera el parque que se ha diseñado, y un apartado de evaluación de impacto ambiental.

El fin último de este proyecto es hacer un prediseño de un parque a escala reducida en la isla de Gran Canaria, dar visión del potencial que tiene la energía undimotriz, exponer posibles impactos ambientales que puedan surgir y dar solución para comprobar su viabilidad energética.

Cada una de las partes que componen este proyecto por separado podría ser el contenido de un solo trabajo, por lo que se ofrece una primera aproximación de las especificaciones que debe cumplir un parque undimotriz.

La presente memoria se estructura de la siguiente manera para facilitar la comprensión del trabajo desarrollado, un apartado de localización, un diseño del parque, el cálculo de energía que genera y un apartado de impacto ambiental.

Primero, se presenta un apartado de localización en el que se describe el entorno idóneo para desarrollar la actividad undimotriz y la búsqueda de esa ubicación, dando como resultado un emplazamiento mar adentro de la playa de Las Salinetas (en apartados posteriores se estudiará el punto concreto). Por último, se estudian y describen los estados del mar concretos para esta zona, que más adelante se utilizarán para los apartados de diseño de la central y cálculo de energía.

El segundo apartado del proyecto, desarrolla las partes de una instalación undimotriz y se centra en la selección del tipo de WEC (Wave Electrical Converter), el encargado de generar la energía y en describir la configuración del parque. En esta parte queda reflejado que se selecciona un dispositivo tipo PowerBuoy, y dado el tipo de dispositivo que se ha elegido, es funcional disponer de más de un WEC trabajando conjuntamente, por ello se han seleccionado 15 dispositivos y se ha diseñado la disposición óptima.

Una vez definido el dispositivo WEC que se instalará en el parque, se procede a hacer un cálculo aproximado de la generación de uno de los dispositivos con los datos reales obtenidos de la página de Puertos del estado donde la Red de boyas del Estado suministra la información pública necesaria de la ubicación seleccionada.

Por último se incluye un apartado de impacto ambiental en el que se identifican los posibles impactos ambientales de este tipo de parques. Es importante recalcar que si la energía undimotriz está en proceso de desarrollo, el conocimiento acerca del impacto ambiental que genera todavía implica bastante incertidumbre ante la carencia de estudios de impacto ambiental de este tipo de instalaciones de las que hay poca experiencia en comparación con otro tipo de proyectos y posiblemente con el avance en el tiempo y la creación de parques de este tipo surjan nuevos impactos que no se contemplaban en sus inicios.

2. LOCALIZACIÓN

En este apartado se va a realizar un estudio del espacio en el que se desarrollará la extracción de energía. Es importante elegir un emplazamiento que cumpla los requisitos, pero también buscar lugares que ofrezcan cualidades que puedan fomentar la optimización del parque.

Aquí se van a estudiar las condiciones óptimas para que se desarrolle la actividad, un grupo de posibilidades concretas para comprobar su aptitud y por último un estudio más extenso sobre los estados del mar del lugar seleccionado.

Todos los datos que se encuentran en este apartado han sido sacados de la red de puertos del estado a no ser que se indique otra procedencia.

El método utilizado para determinar el emplazamiento concreto ha sido:

1. Se ha realizado una búsqueda superficial mediante la web de puertos del estado de ubicaciones que cumplen especificaciones favorables de los estados del mar, que serán explicadas en el apartado siguiente, dando como resultado (entre otros que no han sido objeto de estudio) Las Salinetas, una costa situada al Este de la isla de Gran Canaria.
2. Haciendo uso de la web de puertos, mediante el Geoportal, se ha mapeado la zona para comprobar que además de que los estados del mar sean favorables, no se sitúe el parque en una zona con algún tipo de restricción medioambiental. Apartado 2.2.2.
3. Una vez comprobado que el parque se puede instalar en la zona seleccionada, se ha buscado información sobre la zona para conocer las facilidades o dificultades que aportaba la ubicación para la instalación del parque. Apartado 2.2.3.
4. Por último, con certeza de que se cumplen restricciones ambientales, y conociendo el plus de facilidades que otorga la zona, se estudian los estados del mar concretamente en Las Salinetas, para comenzar con el prediseño del parque.

2.1.1 LOS ESTADOS DEL MAR

Previo a la concreción del emplazamiento que se selecciona, es necesario definir qué son los estados del mar y por qué es importante conocerlos bien. Los estados del mar hacen referencia a las condiciones que rodean el espacio en el que los dispositivos generadores van a trabajar. La cantidad de energía puede variar en gran medida dependiendo de estos factores, y siendo el medio marítimo el lugar de la instalación, es impredecible (dentro de ciertos rangos) ya que pueden variar de forma brusca en poco tiempo, por ello, es necesario hacer un estudio intensivo de las condiciones que se dan en el emplazamiento seleccionado para elegir el mejor dispositivo acorde con los estados del mar. Concretamente en este proyecto se han estudiado los estados del mar como factores fundamentales para la localización del parque undimotriz.

Los factores fundamentales en los estados del mar son:

- Altura de la ola.
Es la distancia vertical entre la cresta y el valle de la ola. Cuánto mayor sea, más potencial generador habrá. Es el factor más importante debido a que la energía que

produce una ola es proporcional al cuadrado de su altura. En general las olas más altas se producen en las zonas costeras, donde las olas se ven afectadas por la topografía del fondo marino y los vientos.

- Longitud de onda.

Es la distancia entre dos crestas sucesivas de una ola. Se generará más energía cuanto mayor sea la longitud de onda. Esto se debe a que las olas de mayor longitud contienen mayor energía cinética, factor que aumenta la generación.

- Dirección de propagación.

Este factor se va a estudiar a parte, dado que la influencia de la dirección es importante para que la boya trabaje con un mayor rendimiento. Este estudio debe implementar un estudio individualizado del nivel de afección de una boya sobre su sucesiva dependiendo de la dirección que se coloquen cada una de estas. Hay que elegir el punto de colocación minuciosamente pues una boya puede interferir de forma negativa en la siguiente si aminora la altura o longitud de onda de las olas.

- Velocidad del viento.

También es muy influyente, cuanto mayor sea más energía se genera, sin dejar de lado que vientos demasiado elevados, en según qué dispositivos pueden generar fallos o deterioros más rápidos.

2.2 UBICACIÓN DEL PARQUE

En este apartado se va a aportar la información que es necesario conocer sobre Las Salinetas, para después, en apartados posteriores dar información sobre cada apartado concretamente estudiado en el emplazamiento seleccionado. Se van a estudiar por separado unos factores cuantitativos, como puede ser el oleaje o el viento, los factores ambientales que condicionan el emplazamiento, y por último un estudio de factores cualitativos que aporta el lugar tales como facilidades para el desarrollo de la actividad.

2.2.1. FACTORES CUANTITATIVOS.

Para la información reflejada en este punto se ha usado de la red de boyas del estado como fuente principal, y para cada uno de los factores de estudio, se dará una breve introducción.

RED DE BOYAS DEL ESTADO.

Las boyas son el instrumento de medida de oleaje in situ más extendido, proporcionan información completa y fiable del oleaje en una posición fija. Las boyas siguen el movimiento de la superficie del mar, determinando la evolución de la superficie libre en un punto gracias a un acelerómetro vertical situado en su interior (boyas escalares).

OLEAJE

De los estados del mar es el factor que más interesa de cara al desarrollo de la actividad undimotriz pues es la materia prima principal para la generación de energía. Dentro del oleaje hay muchos puntos interesantes de estudio, es necesario conocer las características de las olas en cuanto a altura y período, pero también hay una serie de fenómenos asociados a la propagación del oleaje como la refracción o la reflexión, que conocerlos ayudará a encontrar el punto óptimo de generación de energía, descritos en el punto 1.1.1. del anexo I.

La evaluación de las propiedades del oleaje es prácticamente imposible en un análisis ola a ola en el dominio del tiempo. Sin embargo, si consideramos el oleaje como un proceso estocástico, entonces es posible la evaluación de sus propiedades estadísticas en los dominios de la frecuencia y de la probabilidad. Se estudiará de forma numérica más adelante en el apartado 4.

VIENTO

Afecta menos a la generación eléctrica, pero es un factor condicionante para conocer el dispositivo más adecuado, según la velocidad, o las variaciones que pueda haber entre altas y bajas velocidades, el elemento generador puede verse afectado o dañarse. En general el impacto del viento sobre la actividad undimotriz se considera como negativo porque produce variaciones climatológicas bruscas.

PROFUNDIDAD

A medida que avance el proyecto, este factor tomará importancia, la profundidad afecta tanto al oleaje, en altura y en velocidad de la ola, como en las instalaciones del parque en sí. En la siguiente imagen se muestra el movimiento relativo de la superficie de la ola respecto al fondo marino, y como puede verse en la imagen 1, en el primer registro, la altura de crestas y senos y las pendientes frontales y traseras de las crestas son similares. Sin embargo, en el segundo registro, la altura de las crestas es superior a la altura de los senos y la pendiente frontal de las crestas es superior a la pendiente trasera de las mismas.

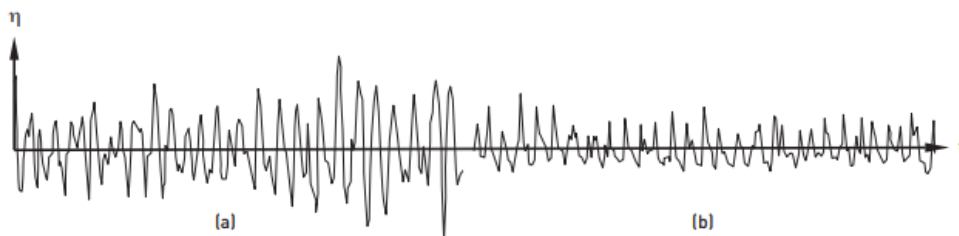


Imagen 1. Registros correspondientes a profundidades indefinidas (a) y profundidades reducidas (b). Fuente: web de Puertos del estado.

2.2. FACTORES AMBIENTALES

En este apartado, se ha llevado a cabo una labor de investigación para delimitar las zonas que por restricciones legales, no son aptas para el desarrollo de la actividad undimotriz. Haciendo uso del GeoPortal, en la página de puertos del estado, se ha mapeado la isla de Gran Canaria (la opción elegida en el punto 2.2) para conseguir definir así el emplazamiento concreto. Dando como resultado la imagen 2.

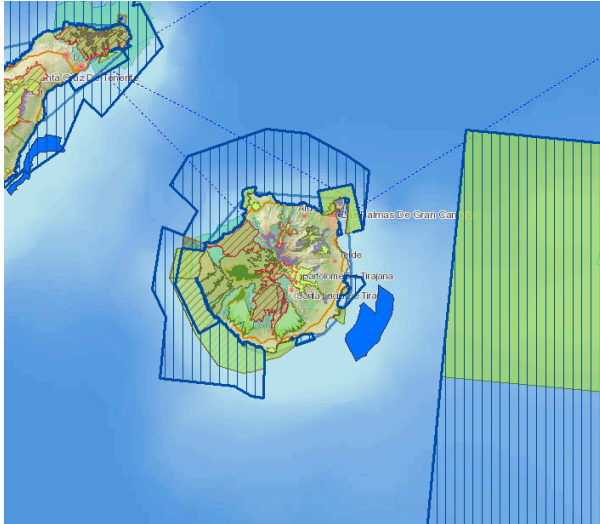


Imagen 2. Fuente: GeoPortal de la web de Puertos del Estado.

En la imagen 2 se muestran todas las restricciones ambientales que restringen actividades marítimas del tipo que sean, en este caso, industriales. Cada uno de las restricciones observadas en la leyenda, quedan explicadas en el apartado 1.2. del anexo I, en la imagen 14.

2.2.3. FACTORES CUALITATIVOS

Para este apartado, se ha llevado a cabo una labor de investigación sobre la zona en cuestión. Recabando cualquier tipo de información que pudiera llegar a ser necesaria, dando como resultado unos puntos de interés como puede ser infraestructuras ya existentes, accesibilidad o un estudio de la calidad del agua que son factores menos condicionantes, pero si son favorables, facilitan el desarrollo de la actividad. Aquí se van a mencionar los que son de mayor interés, los demás se pueden encontrar en el apartado 1.3. del anexo I.

INFRAESTRUCTURAS

Casualmente, hay situadas dos subestaciones, cercanas a la ubicación seleccionada. La subestación de los Llanos de Aridane, situada a 6 Km con un potencial de 132 KV y que abastece a la zona central de la isla. Y la subestación de San Andrés, a 1,5 km de la zona de bañistas de Las Salinetas, que cuenta con un potencial de 220 KV y abastece a la zona

sur de la isla. Además, esta subestación se construyó recientemente, con la finalidad de dar suministro a la isla con energía que provenga de centrales renovables, por lo que es una opción muy clara de aprovechamiento de una infraestructura existente como medio para inyectar a la red la energía que se genere.

POTENCIAL DE AUTOGESTIÓN

Como se ha mencionado en la introducción de este trabajo, la finalidad es dar a conocer datos sobre el potencial de autogestión que puede llegar a tener la isla si se implementan parques eólicos a gran escala, aquí queda reflejado a grandes rasgos cómo la energía eólica puede contribuir en gran medida a que esto sea posible.

Un parque eólico de 100 MW generaría energía suficiente para abastecer 30.000 hogares, lo que supone un 10% de la demanda global de la isla de Gran Canaria. Este porcentaje de autoconsumo es muy elevado porcentualmente. Datos recogidos según un estudio realizado por la empresa Ocean Power Technologies, una empresa española, que está instalando un parque eólico en Gran Canaria.

2.3. LOS ESTADOS DEL MAR DE LAS SALINETAS

Visto hasta aquí que Las Salinetas es un emplazamiento que cumple con todos factores para la instalación de un parque eólico, en este punto se van a definir las condiciones concretas que ofrece la zona seleccionada, para su posterior uso durante este proyecto.

Datos reunidos a partir de la web de Puertos del Estado.

- Altura de las olas.
Entre 1 y 2,5. Las alturas comprendidas entre estos valores suponen el 67% de todo el oleaje que se da en la zona de estudio (valor medio entre los años 2020, 2021 y 2022), donde las direcciones principales han sido N-NE hacia SO-S con más del 67% de las ocasiones.
- Periodo.
Inversamente proporcional a la longitud de onda, ambos definen una variable fundamental en los estados del mar. Para la ubicación el dato del periodo que más se ha repetido son 7 segundos.
- Profundidad.
El lecho marino a lo largo de la costa de Las Salinetas presenta gran homogeneidad, las arenas del fondo marino son finas, y a partir de los 3 km la profundidad supera los 50 m.
- Viento
Las Salinetas presenta una media mensual que rondó los 12,5 m/s en 2020 (45 km/h), en 2021 la media estuvo en torno a los 12,4 m/s (44,7km/h) y en 2022 12,6 (45 km/h). Esto nos indica que salvo algún año específico, tiende a ser estable el valor de la velocidad. En cuanto a su dirección principalmente el viento se acerca al emplazamiento por el norte (50% de las veces) oscilando dependiendo del mes entre Noroeste (en torno al 27%) y Noreste (alrededor del 13% del tiempo).

(Los cálculos de los porcentajes han sido realizados a partir de los datos proporcionados por las tablas de la red de puertos del estado).

3. DISEÑO DEL PARQUE

Una vez estudiados los estados del mar para el emplazamiento seleccionado, ya se tienen los datos necesarios para iniciar el diseño del parque.

En este apartado se va a dar la información sobre las partes principales que componen un parque undimotriz y después de ofrecer el abanico de opciones, se seleccionará la mejor de en base a dos premisas, generar el mínimo impacto ambiental y como en toda ingeniería, la optimización de la producción energética.

El elemento cuyo estudio debe ser el más extenso y su elección cuidadosa es el dispositivo generado, también conocido como WEC (Wave Electrical Converter), ya que es el encargado de captar la energía. A parte del WEC también hay que hacer una selección de el tipo de subestación si es que se utiliza una y de cada uno de los cables, que son los tres elementos principales, cada uno con su respectivo estudio individual. En este apartado se va a estudiar a fondo los dispositivos generadores ya que es el elemento más importante y realmente lo único necesario para estimar lo que puede generar el parque.

3.1 DISPOSITIVOS WEC, CLASIFICACIONES Y SELECCIÓN

Como ya se ha mencionado, la selección del dispositivo es importante porque va a determinar el nivel de producción del parque. Hay que buscar el dispositivo optimizando la superficie donde se desarrollará la actividad y todo lo que eso conlleva y los estados del mar asociados a esa superficie.

Se denomina WEC al conjunto formado por el sistema de extracción y transmisión de potencia (PTO) y el generador eléctrico. Su función consiste en captar la energía contenida en las olas (cinética o potencial) mediante el PTO y transmitirla a un generador eléctrico que la transforme en energía eléctrica de una forma eficiente. Este apartado refleja la información necesaria para conocer cómo funcionan los dispositivos WEC.

3.1.1. SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE POTENCIA (PTO)

El PTO es el componente encargado de extraer la potencia del oleaje y transmitirla de la forma más eficiente posible al generador. Para ello, depende del dispositivo explotará uno o varios de los siguientes factores: oscilación del nivel del mar, diferencia de presiones que genera la diferencia de altura de las olas, o el empuje de la ola. Información más detallada sobre los sistemas (PTO) en el punto 2.2 del anexo II.

3.1.2. CONVERSIÓN DE ENERGÍA

Para explotar de forma adecuada los fenómenos físicos que ofrece el medio hay que tener en cuenta las formas de conversión de energía. Esta energía proveniente de las olas se puede canalizar a través de múltiples dispositivos, y este proceso se puede realizar fundamentalmente por tres métodos: flujo de aire, flujo de agua o movimiento relativo entre dos cuerpos. Dentro de este último, que se verá más adelante en el apartado 3.1.5. que es el que usa el dispositivo que se seleccionará, se divide en tres partes: Circuito hidráulico, transmisión mecánica y el generador lineal.

Estos tres métodos tienen como objetivo último el movimiento de dispositivos ya sean mecánicos o hidráulicos que conectados al generador transforman la energía mecánica de las olas en energía eléctrica.

En el apartado 2.3. del anexo II, se puede encontrar más información sobre la conversión energética en los dispositivos WEC y sobre cada una de sus fases.

3.1.3 EL GENERADOR

Dada la alta variedad de frecuencias para el oleaje hay que ser meticuloso a la hora de escoger un equipo de rotación constante o variable. Depende de la climatología de la zona y los cambios bruscos en el emplazamiento, es necesario un motor de rotación variable para no dañar los equipos.

Las distintas máquinas que se pueden contemplar para trabajar como generador dentro de un dispositivo WEC son: la máquina de inducción, un generador síncrono, un generador de corriente alterna, o un generador lineal. Siendo este último el que alberga el dispositivo que se verá en el apartado 3.1.5 que se ha seleccionado. En el apartado 2.4 del anexo 2 se describe con detalle el generador del tipo lineal y su modo de funcionamiento.

3.1.4 CLASIFICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS WEC

Este punto ofrece información sobre todas las clasificaciones que hay para los WEC y seleccionando en cada una de ellas, la mejor opción en base a las dos premisas ya mencionadas, impacto ambiental y optimización del parque. A medida que se seleccionen opciones en cada clasificación se irán descartando dispositivos, esto hace que al final se cuente con un grupo más reducido sobre el cual se llevará a cabo un estudio en mayor profundidad de cada uno y mediante una tabla en la que se le dará valor a cada uno de los parámetros que se mencionan, se implementará en el parque el que resulte sumar la mejor puntuación.

3.1.4.1. CLASIFICACIÓN SEGÚN SU POSICIÓN RELATIVA A LA COSTA.

Los dispositivos varían tanto en fisionomía como en posicionamiento y forma de extraer energía según dónde se sitúen, aquí se va a dar una visión de las posibilidades que ofrece la energía undimotriz de situar los dispositivos WEC:

- Onshore. Dispositivos instalados en la costa.
Es la más habitual, es accesible para el mantenimiento y son WECs sencillos de instalar. Sin embargo están expuestos a las condiciones de la costa que por lo general son más adversas que las de altamar. Suelen estar afectados por planes de protección ya que generan impacto a fauna marina, terrestre incluyendo aves. Además generan una alteración grave en el paisaje, pero tienen alto potencial generador.
- Nearshore. Dispositivos instalados cerca de la costa.
A una distancia de 500 m aproximadamente, se instalan aquí dispositivos que trabajan a 20 o 30 m de profundidad. Las ventajas son parecidas a los dispositivos onshore pero expuestos a mayores potenciales de oleaje, Los dispositivos que se instalan aquí suelen aprovechar la componente horizontal de la velocidad mediante flotadores. Su instalación implica una importante modificación en la costa y la potencia generada es ligeramente menor a los situados onshore y offshore.
- Offshore. Dispositivos instalados alejados de la costa.
Se instalan a grandes distancias, en profundidades de 30 m en adelante. Permiten extraer mayor potencia que los anteriores, a medida que aumenta la distancia a la costa también lo hace la densidad energética. El impacto sobre el medio es menor que los anteriores pero el transporte y mantenimiento de la energía es más complejo. Requieren mayores esfuerzos de amarre.

Como conclusión de este punto: se ha seleccionado como lugar para albergar el parque los sistemas offshore, puesto que los beneficios energéticos son mayores y el impacto ambiental generado por la instalación es mucho menor, además de que altamar ofrece una posibilidad de selección para el área de la central muchos mayor.

3.1.4.2. CLASIFICACIÓN SEGÚN SU POSICIONAMIENTO FRENTE AL OLAJE

En esta clasificación los se estudia la relación del dispositivo con la dinámica marina, hay tres tipos de dispositivos según la posición frente al oleaje:

- Terminador o totalizador.
El sistema consiste en una geometría alargada tipo Wave Dragon como se ve en la imagen 3. Este tipo de dispositivos captan toda la energía de la ola a costa de su total su total mitigación. Tras el dispositivo, la ola queda eliminada. Los esfuerzos de anclaje al lecho marino son fuertes.



Imagen 4 de un dispositivo Wave Dragon. Fuente Google imágenes.

- Atenuador.

Son estructuras también alargadas pero estas se sitúan paralelas al eje de dirección de las olas, de este modo el dispositivo no interactúa con la ola de una sola vez sino que la ola recorre el dispositivo. Los esfuerzos de anclaje son menores que en el caso anterior. Un ejemplo de atenuador es el dispositivo Pelamis, como se ve en la imagen 5.



Imagen 5. Dispositivo Pelamis. Fuente: Google imágenes.

- Absorbedor puntual.

Son elementos de reducido tamaño en comparación con los dos anteriores, son cilíndricos e indiferentes ante la dirección de la ola como se puede apreciar en la imagen 6. Suelen trabajar en grupo, por lo que es objeto de estudio la localización conjunta. Generan altos valores de potencia en relación al volumen que ocupan y los esfuerzos de anclaje al fondo marino son bajos.



Imagen 6. Dispositivo tipo OPT situado en Santoña. Fuente: Google imágenes.

Como conclusiones de este apartado, no se descarta ningún dispositivo, pero se tomará en cuenta las especificaciones de cada uno para seleccionarlo en el apartado siguiente.

3.1.5 SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO

Para la selección del dispositivo no hay un catálogo tan amplio de opciones como hay por ejemplo de paneles en la fotovoltaica, pero si lo suficiente amplio como para adecuarse a las especificaciones necesarias, estudiadas en el apartado 2.3.

Las opciones que se van a barajar son: un dispositivo pelamis, salter duck, Wave Dragon, Aws o PowerBuoy. Para llevar a cabo la selección se va a estudiar cada dispositivo, y después, según sus cualidades de generación, impacto ambiental y facilidad de transporte de energía (factores que por síntesis de información recabada son los más importantes) se puntuará cada uno del 1 al 10, finalmente el que sume una puntuación mayor, será el dispositivo del parque.

La información sobre cada dispositivo queda se expone en el apartado 2.5. del anexo II, aquí se explica la selección del dispositivo, los factores de la tabla de calificaciones y dicha tabla que queda reflejada en la tabla 1.

FACTORES DE CALIFICACIÓN DE LA TABLA 1

- Generación.
Este factor califica en relación a la potencia del dispositivo sin tener en cuenta el volumen del mismo. Si el dispositivo se instala solo, se cuenta como uno, si son de generación conjunta se tomarán 15 dispositivos.
- Transporte y seguridad.
No varía altamente de un dispositivo a otro, pero sí que algunos dispositivos al trabajar conjuntamente, el transporte es más seguro de energía aunque salga más caro.
- Impacto ambiental.
El estudio de impacto ambiental se estudiará de forma exhaustiva en el apartado 5 de este proyecto, pero aquí es necesario saber aunque sea a rasgos generales si su morfología o su interacción con el mar, afecta al ecosistema de forma negativa.
- Economía.
Ya que no el proyecto no alcanza a añadir un apartado de presupuestos, se tomará como factor igualmente condicionante el coste del dispositivo.

Quedando la tabla 1 de la siguiente forma:

DISPOSITIVO	SALTER DUCK		WAVE DRAGON		PELAMIS		POWER BUOY	
GENERACIÓN	5	50-100 kW	9	4-10 MW	8	750 KW	7	5,25 MW (15 ud)
TRANSPORTE DE ENERGÍA	8	Relativamente fácil pero muy seguro. Instalación anclada.	8	Relativamente fácil pero muy seguro. Instalación anclada.	9	Fácil y seguro mediante agrupaciones en CC.	9	Fácil y seguro mediante agrupaciones en CC.
IMPACTO AMBIENTAL	5	El anclaje genera alteraciones en el ecosistema.	4	El gran tamaño y anclaje generan alteraciones en el ecosistema.	5	Genera impacto y ocupa un volumen extenso.	8	Genera poco impacto y de instalación sencilla.
ECONOMÍA	7	1-2 millones € (ud)	6	10-20 millones €	8	2 millones € (ud)	9	0,5-1 million € (ud)
PUNTUACIÓN:	25		27		30		33	

Tabla 1. Selección del dispositivo.

DISPOSITIVO SELECCIONADO: POWER BUOY

Power Buoy es un dispositivo patentado por Ocean Power Technologies (OPT), empresa que ha desarrollado su actividad undimotriz en países como Japón Canadá Escocia o España (Santoña). Debido al nivel de desarrollo de las tecnologías, su función principal hasta ahora ha sido recabar información y ser objeto de pruebas de todo tipo. Aún así, en 2012 se procedió a la apertura de un parque de boyas de este tipo para generar energía en Oregón (EEUU).

Este dispositivo consta de una boya flotante amarrada al fondo marino mediante una cadena por el simple hecho de limitar su desplazamiento. La empresa OPT dispone de varias versiones del dispositivo, todas ellas trabajan de la misma forma desde el primer dispositivo, el APB350. Por otro lado y en un momento de su historia más avanzado, esta misma empresa instaló una Power Buoy PB40 en las costas de Santoña o la PB150 en Irlanda.

Se optado dentro de la gama de productos tipo Power Buoy por el dispositivo APB350, por ser el más desarrollado, el que ahora mismo está funcionando en más sitios, y tiene una alta potencia para generar energía.

Las especificaciones técnicas del dispositivo son:

- Altura: 12 m.
- Diámetro: 10 m.
- Peso: 120 toneladas.
- Potencia nominal 350 kW.
- Factor de rendimiento: 0,7 (Se explica su utilización más adelante en el punto 3.2.1).

Los dispositivos tipo Power Buoy suelen trabajar conjuntamente en parques de un número elevado de dispositivos trabajando conjuntamente con la función principal de recogida de datos. Aún no hay un parque de boyas Power Buoy instalado con el fin de generar energía para el consumo así que se desconoce un número óptimo de dispositivos que trabajan agrupados. Por esta razón, a modo demostrativo se selecciona un parque de 15 dispositivos, suficiente para generar cálculos teóricos sobre una potencia de varios dispositivos y exponer especificaciones de trabajo conjunto conjuntas.

3.2. CONFIGURACIÓN DEL PARQUE.

Tras seleccionar un dispositivo WEC del tipo absorbedor puntual, se presenta la posibilidad de implementar varias boyas para trabajar conjuntamente y así generar más energía, al ser más favorable en todos los aspectos que se trabajan en el proyecto, el parque finalmente va a estar formado por 15 dispositivos Power Buoy del tipo APB350.

3.2.1. DISPOSICIÓN DE LOS DISPOSITIVOS

Cada dispositivo genera una alteración en la dinámica marina, y al trabajar 15 WECs conjuntamente, hay que disponerlos de forma que se optimice el espacio, pero que no se afecten negativamente uno a otro a la hora de generar energía.

Se plantean dos opciones para situar las boyas, disponerlas como una matriz de primera generación, o como una matriz de segunda generación. A continuación se explica en qué consiste una matriz de primera generación y se adjuntan 2 imágenes, imagen 7 e imagen 8 de cómo se disponen. En el apartado 2.1 del Anexo 2 se presenta información sobre las matrices de segunda generación y en las imágenes XXX e imagen xxx una ayuda visual de cómo se habrían dispuesto si hubiera sido la elección.

MATRIZ DE PRIMERA GENERACIÓN

Se llama matriz de primera generación a la forma de situar un las boyas dispuestas una fila enfrente de otra de forma paralela y perpendiculares al oleaje.

Para la disposición de esta configuración la distancia horizontal entre dos dispositivos es de mínimo 10 veces el diámetro de la boya, y la vertical debe ser 1,5 veces la profundidad. El diámetro de un dispositivo Power Buoy es de 7,5 y una profundidad aproximada de 30 metros, por lo que la distancia horizontal son 75m y la vertical 45m.

Se ha seleccionado esta matriz en vez de la se segunda generación por su mínima interacción entre dispositivos, la facilidad de acceso hasta los dispositivos para el mantenimiento, la optimización que supone a nivel área ocupada por los dispositivos, y porque así dispuestos ofrecen la posibilidad de añadir más dispositivos sin tener que desplazar los ya instalados.

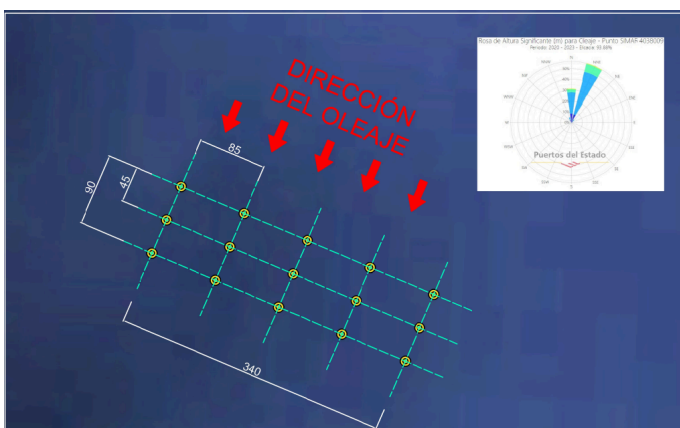


Imagen 7. Disposición de dispositivos.
Diseño propio en Autocad.

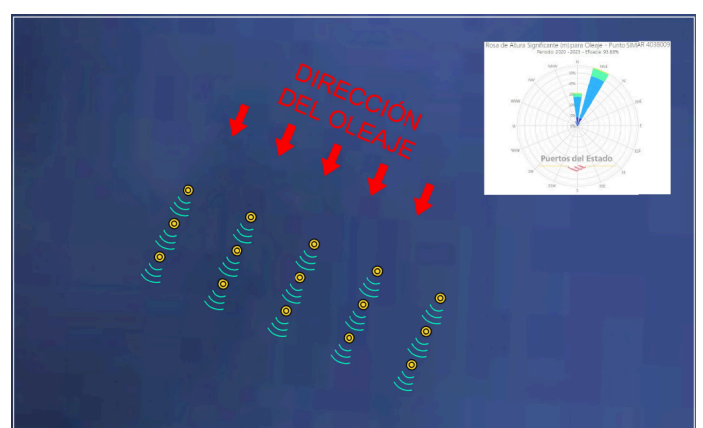


Imagen 8. Alteración dinámica marina.
Diseño propio en autocad.

3.2.2. DISTANCIA A LA COSTA

Debe ser suficiente para que la actividad del parque no interfiera con la vida de la costa. A partir de los 3 km por especificaciones de profundidad ya se podría instalar el parque pero se va a dejar un margen y se va a instalar a 10 km de la costa donde las condiciones siguen siendo idóneas y repercutirá menos en el aspecto ambiental que se verá reflejado en el apartado 5.2 .

Se adjunta en la imagen 11 la posición relativa a la costa del parque undimotriz.

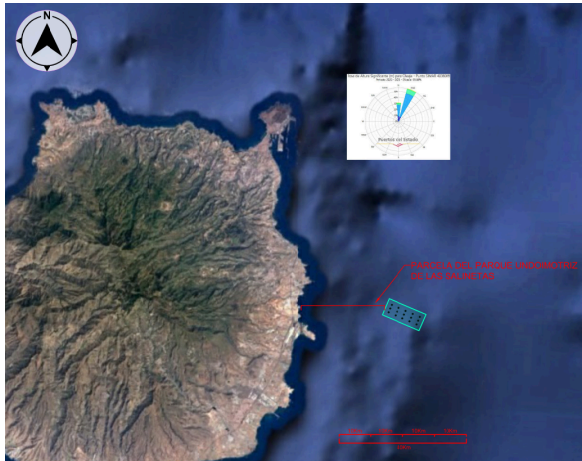


Imagen 9. Posición del parque relativa a la costa.
Diseño propio en Autocad.

3.2.3. CONEXIONADO

A la hora de conectar los dispositivos a la subestación, se presentan dos posibilidades, conectarlos de uno en uno, lo que ofrece mucha seguridad pero un alto gasto de cable, o realizar agrupaciones en buses de continua para que cada grupo de cable se transporte energía en uno solo. Así pues, el parque se ha configurado de forma que se agruparán dispositivos de 3 en 3 para que si el cable sufre daños solo fallen tres dispositivos, pero a su vez se ahorre cable desde el dispositivo a la subestación.

3.3. LA SUBESTACIÓN

La subestación es uno de los elementos del parque más importantes, pero dado el alcance del proyecto, y que no es necesario para conocer el dato de la generación de los dispositivos, no se va a seleccionar una subestación, al estar dotado de 15 dispositivos el parque no necesitará una subestación propia y podría hacer uso de la subestación de San Andrés, mencionada en el apartado 2.2.3.

4. CÁLCULO DE GENERACIÓN

En este apartado se abordará un cálculo aproximado para el parque de boyas tipo APB350 que se ha planteado en el apartado anterior. No se van a incluir cálculos de pérdidas en los cables, o de conversión, pero sí un dato final aproximado de cuanto generaría un parque de estas dimensiones.

Por lo general los fabricantes de los dispositivos dan una estimación de la producción anual de sus productos bajo unas condiciones de oleaje ideales, es decir rendimiento del 100%, y luego ofrecen un porcentaje de rendimiento para realizar una aproximación.

Aquí se va a calcular el dato real y se va a comparar con la aproximación que suelen dar los fabricantes.

Para ello se han obtenido los datos de oleaje anuales que incluyen altura y periodo de la ola de la página de Puertos del estado. Estos datos quedan reflejados en la tabla 2..

H/(m) / Te(s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0,209	0,377	0,284	0,29	0,255	0,76	0,313	0,987	1,52
1	0	0	0,064	1,335	2,861	5,194	6,227	2,791	1,811	3,917	6,714
1,5	0	0	0	0,11	0,685	5,49	15,60	5,362	3,644	4,66	3
2	0	0	0	0	0,012	0,162	3,981	6,558	4,846	2,165	1,248
2,5	0	0	0	0	0	0,012	0,36	0,545	1,19	2,391	0,499
3	0	0	0	0	0	0	0,012	0,075	0,244	1,056	0,18

Tabla 2. Datos de oleaje. Puertos del estado.

4.2.1 CÁLCULOS

Debido a la forma de recabar datos por parte de las boyas, los datos recogidos son porcentuales, por lo que la forma de proceder para hacer el cálculo de la potencia generada por una boya es implementar para cada dato de altura y periodo la fórmula de la potencia, reflejada en la ecuación (1):

$$(kW)=\frac{1}{2}d*g*Te*Hs^2 \text{ ecuación (1).}$$

Donde: d: densidad del agua en kg/m³

g: gravedad (m/(s²))

Te: Periodo de la ola (s)

Hs: altura de la ola (m)

El resultado para cada valor de altura y periodo redondeado se ve reflejado en la tabla 3.

Hs(m) Te(s)	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00
0,50	1,26	2,51	3,77	5,02	6,28	7,53	8,79	10,05	11,30	12,56	13,81
1,00	5,02	10,05	15,07	20,09	25,11	30,14	35,16	40,18	45,20	50,23	55,25
1,50	11,30	22,60	33,90	45,20	56,50	67,80	79,10	90,41	101,71	113,01	124,31
2,00	10,05	40,18	90,41	160,72	251,13	361,62	492,21	642,88	813,65	1004,5	1215,4
2,50	31,39	62,78	94,17	125,56	156,95	188,34	219,73	251,13	282,52	313,91	345,30
3,00	45,20	90,41	135,61	180,81	226,01	271,22	316,42	361,62	406,82	452,03	497,23

Tabla 3. Potencia (kW) para cada valor de Hs (m) y Te (s).

Ahora cada uno de los datos de la tabla 4.2 debe ser multiplicado por su valor correspondiente de la tabla 4.1 para generar la tabla 4.3.

Hs(m) Te(s)	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00
0,50	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,08	0,04	0,12	0,21
1,00	0,00	0,00	0,01	0,27	0,72	1,57	2,19	1,12	0,82	1,97	3,71
1,50	0,00	0,00	0,00	0,05	0,39	3,72	12,34	4,85	3,71	5,27	3,73
2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,59	19,59	42,16	39,43	21,75	15,17
2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,79	1,37	3,36	7,51	1,72
3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,27	0,99	4,77	0,90

Tabla 4. Valor porcentual de Potencia.

Por último para conseguir el valor medio de potencia anual por dispositivo se debe realizar el sumatorio de los valores de la tabla 4.3 mediante la ecuación (2) que se describe a continuación.

$$\sum(P_{H_s/T_e} \%) \quad \text{ecuación (2)}$$

$$P(\text{kW}) \text{ media anual} = 207,41 \text{ kW.}$$

Comparando el valor de potencia resultante de aplicar la ecuación (2) con el valor que el fabricante facilita mediante la potencia nominal (350kW) y el dato de rendimiento (70%) reflejado en la ecuación (3) vemos que la diferencia entre la potencia real y la potencia que aproxima el fabricante son alrededor de 37 kW. Valor que sirve como comprobante de que los cálculos realizados son correctos ya que la aproximación del fabricante siempre será un poco mayor.

$$P \text{ media anual (fabricante)} = 350 \times 0,7 \quad \text{ecuación (3)}$$

$$P \text{ media anual (fabricante)} = 245 \text{ kW}$$

Por último, se hace una estimación proporcional en cuanto a potencia generada por un dispositivo y la que genera el parque entero con las 15 boyas operativas.

$$P \text{ media anual del parque} = 207,41 \times 15 = 3,11 \text{ MW.}$$

4.2.3. GRÁFICAS

A continuación se presenta una ayuda visual a modo de gráfica 3D en la imagen 12 y la imagen 13 de cómo se comporta el dispositivo para cada pareja de datos de periodo y altura de la ola.

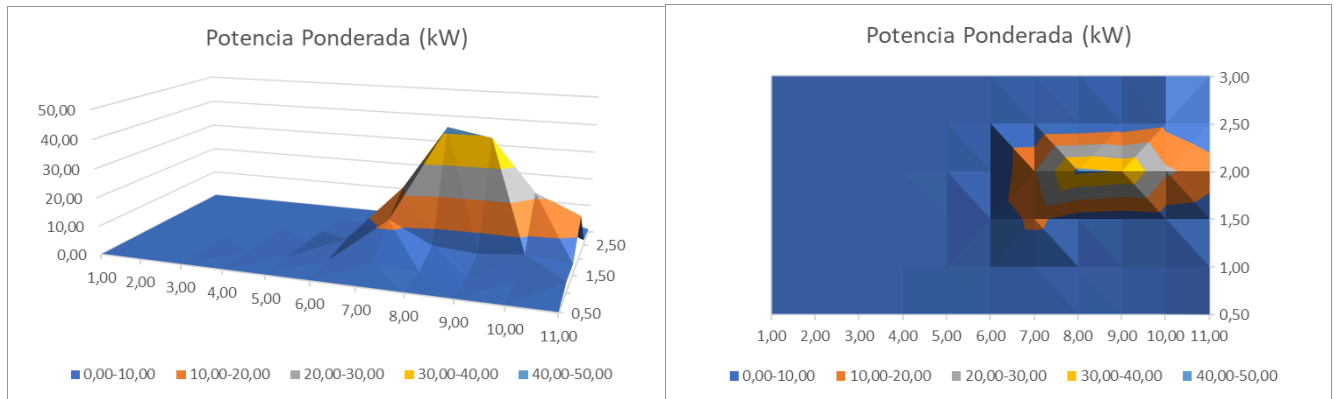


Imagen 10. Imagen 11. Potencia generada por el dispositivo. Generada en excel.

CONCLUSIONES

Son resultados coherentes, un poco por debajo de lo que se podría esperar pero debido al gran número de factores impredecibles y aproximaciones que condicionan el cálculo, es de esperar una potencia similar a la que se ha obtenido. Por otra parte, el dispositivo PowerBuoy seleccionado tiene su máximo punto de generación de energía para 2,5 m, cerca de donde ha quedado el pico de la gráfica obtenida, donde el fabricante aproxima el rendimiento del 70%, razón principal por la que la potencia sale por debajo de la que el fabricante aproxima. Aún así, la idea se reitera, esta potencia que se deja de obtener no es condicionante.

5. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Toda tecnología genera un impacto y cuando más innovadora, menos se conoce los daños que esta pueda causar. Aún así, sin innovación no hay cambio, y sin fallo no hay mejora. Este apartado presenta una primera aproximación a la evaluación de impactos ambientales pues la tecnología de la que trata el proyecto está tan poco desarrollada que todavía existe bastante desconocimiento sobre impacto ambiental que genere el desarrollo de la actividad undimotriz por sí misma. Si que se conoce el impacto que generan algunas actividades parecidas o varias de las que se compone el parque, por ello, en este apartado se trata de dar una visión a aquellas acciones que pueden generar un impacto ambiental indeseado y proponer posibles soluciones. Para ello, es necesario llevar a cabo una evaluación de impacto ambiental reducida.

5.1 EVALUACIÓN DE IMPACTO

Para saber cómo abordar una evaluación de impacto ambiental lo primero que hay que hacer es acudir al RD 445/2023, de 13 de junio, por el que se modifican los anexos I, II y III de la ley 21/2013 de evaluación de impacto ambiental (BOE de 14 de junio de 2023). de evaluación ambiental y encasillar la actividad industrial en el anexo I o en el anexo II dependiendo de las especificaciones a las que se ajuste. Por la actividad que se desarrolla, estaría dentro del anexo II, el grupo 4 “Industria energética”. Aunque no se hable específicamente de este tipo de producción de energía, están reflejadas las demás renovables principales (eólica, solar e hidroeléctrica) y cumple los márgenes del anexo II. El documento ambiental incluye entre otras cosas características del proyecto, definición y ubicación del proyecto que se han ido desarrollando durante este trabajo de fin de grado en los puntos de diseño del parque y localización respectivamente, inventario ambiental para identificar los factores ambientales que se puedan ver afectados, para así poder identificar impactos y evaluarlos, por último debe incluir un apartado de medidas correctivas. Los siguientes apartados muestran el trabajo realizado en este TFG para cada uno de dichos apartados.

5.2. DESCRIPCIÓN DE PROYECTO

En este apartado se va realizar una descripción ambiental del proyecto, esto consiste en la búsqueda y redacción de acciones de proyecto para su posterior análisis, dónde se obtendrá información del nivel de afección de estas acciones de proyecto sobre el medio.

Una acción de proyecto es cualquier elemento o actividad que interactúa con el medio ambiente y por lo tanto lo altera. Estas acciones de proyecto deben ser clasificadas para las tres fases: construcción, explotación o clausura.

Las acciones de proyecto se dividen en tres tipos: emisiones de desechos, consumo de recursos y las que aparecen por la mera presencia de éste.

EMISIONES DE DESECHOS

A este grupo pertenecen todas aquellas acciones de proyecto que generan una emisión sea del tipo que sea: sólida, líquida, gas, por ondas...

Sobre todo se dan en las fases de obra y clausura, pero en la fase de explotación también pueden aparecer acciones de proyecto de este tipo.

A continuación se enumeran las acciones de proyecto del tipo emisiones de desecho:

- Emisión de ruido.
Precisa de estudio pues genera alteraciones en el comportamiento de los animales independientemente del medio de propagación (marino o aéreo)
Se da de forma poco prolongada en la fase de construcción provocado por la maquinaria instaladora y en el periodo de explotación de los dispositivos generadores de energía.
El ruido generado por la etapa de construcción no preocupa ambientalmente hablando porque es temporal y los cambios reversibles (movilización de fauna marina). En cambio, sobre el ruido provocado en la fase de explotación, no se sabe a ciencia cierta los problemas que puede acabar causando a largo plazo tanto en el comportamiento de la fauna como en la flora y lo que puede generar esto fisiológicamente para el ecosistema.
- Emisión de campos electromagnéticos.
De la misma forma que ocurre con el ruido, no hay unos rangos definidos a partir de los cuales el electromagnetismo provocado por el transporte de energía genera modificaciones en el medio. Este fenómeno está más estudiado y se conocen formas de atenuarlo añadiendo capas de materiales aislantes magnéticos a los cables. Aun así la problemática de no conocer a largo plazo en que puede degenerar es existente y más en el medio marítimo.
- Aceites y combustible.
El vertido de líquidos corrosivos y ácidos como aceites, lubricantes y combustibles es un problema grande en el caso de que se den. Pero dado que esto solo ocurriría en el caso de que haya escapes, mientras el mantenimiento se lleve a cabo de forma adecuada, no debería haber ningún residuo de este tipo en el agua.
- Material vertido.
El desprendimiento de material de cualquier elemento del parque contamina las aguas ya sea plástico o cualquier metal.
- Variación de la temperatura.
Igual que un vertido líquido, la temperatura si no se trata de forma adecuada produce modificaciones en los alrededores de los dispositivos, maquinaria o cableado, ya sea por el paso de corriente a través de ellos o por el movimiento. De la misma forma que en el punto anterior, si el mantenimiento se lleva a cabo de la forma adecuada y el diseño de la central cumple las restricciones de sección de cable para limitar la corriente y por tanto la temperatura almacenan esos conductores, no debería generar cambios en el medio.

CONSUMO DE RECURSOS

Están asignadas a esta agrupación de acciones de proyecto todas aquellas referentes al uso por parte de la actividad industrial de recursos provenientes del emplazamiento. Se estudia el consumo de recursos para diferenciar los recursos renovables, aquellos que por mucho uso que se les dé, se renuevan de forma natural y de los recursos que se consumen y no ser renovables se agotan. Pertenecen a este grupo acciones de proyecto referentes a:

- El movimiento de las olas.
Las olas son el recurso en torno al que se desarrolla toda actividad undimotriz, al ser una fuente renovable, no genera impacto alguno en cuanto a consumo del recurso. Más adelante en el siguiente apartado se estudiará el impacto que genera la interacción ola-dispositivo.
- El viento.
Es el factor secundario e igualmente necesario aunque en menor medida para que se dé la generación a partir de las olas. Es una energía renovable, al igual que las olas por lo que el uso de este recurso no lo deteriora.
- Material y recursos de la zona.
Más allá de recursos renovables también hay que hacer partícipes a los materiales necesarios para construcción del parque o el mismo desarrollo de la actividad. Desde el consumo de combustibles fósiles pasando por los materiales de construcción o incluso infraestructuras que ya existan y sirvan como apoyo. Es importante destacar que la subestación de San Andrés prestará apoyos a la hora de inyectar energía a la red de forma que no es necesaria la construcción de una nueva y todo lo que esto conlleva.
- Espacio marítimo y aéreo.
Aunque sea un recurso abstracto, también se consume un área espacial en el mar y en espacio aéreo que podría usarse para otra actividad. Como ya se ha estudiado el apartado de localización, no es una zona restringida por ser una vía de paso de aves migratorias ni tampoco protegida por temas de pesca pero aun así son zonas que van a tener que dejar de ser útiles para cualquier otra actividad que no sea la de generar energía.

PRESENCIA DE LA CENTRAL

En este apartado quedan reflejadas todas las acciones de proyecto generadas a raíz de la mera presencia del parque undimotriz.

- Dinámica marina.
La modificación de la dinámica marina puede tener muchas consecuencias a largo plazo pues la modificación de la dinámica que caracteriza a un medio convierte en otro. Esta acción de proyecto ha sido estudiada en el apartado de diseño en el punto de selección del dispositivo para descartar aquellos como el Wave Dragon que mitigan la ola casi en un 100% por la forma que tiene de interactuar el dispositivo con el oleaje. Pelágicas y bentónicas habitan un determinado ecosistema por el tipo de condiciones que se dan en él, y variar de forma permanente estas condiciones genera otro ecosistema distinto al que la vida marina no está acostumbrada.

- Impacto visual
La instalación de dispositivos con unas dimensiones desproporcionadas para la ubicación que se elija puede generar un impacto de cara al paisaje, a priori esto simplemente puede tomarse como un impacto menor pero puede desembocar en otros más grandes.
- Depósito de sedimentos
La instalación de la maquinaria, la interacción de las boyas con el oleaje o con las mareas, puede desembocar en una mayor cantidad de partículas que sedimentan alrededor del parque, y esto puede generar modificaciones en el ecosistema.
- Instalación o anclajes
Este punto es uno de los más importantes, en el lecho marino no solo hay arena, puede albergar corales (donde habitan miles de especies), o pertenecer a espacios protegidos. La instalación de dispositivos anclados o de subestaciones auxiliares, conlleva un estudio intensivo de la afección al lecho pues no solo hay que tener en cuenta la maquinaria y el tiempo que va a estar ahí sino también todo lo que conlleva su construcción e instalación en el fondo marino. En el apartado de localización queda reflejado que el emplazamiento se ha seleccionado evitando lechos marinos con patrimonio, por lo que este punto no afecta tanto.

5.3 INVENTARIO AMBIENTAL

COMPONENTES MEDIO AMBIENTALES

El inventario ambiental es una herramienta fundamental en la evaluación de impacto ambiental. Describe los diferentes elementos del medio ambiente que pueden verse afectados por las acciones de proyecto.

Se definen los componentes medioambientales como elementos que conforman el medio ambiente y estos están divididos en distintos medios.

FÍSICO

Compuesto a su vez por dos grandes grupos: inertes y bióticos.

- Los componentes que no están vivos o inertes:
 - Atmósfera
El vertido de gases durante los procesos de construcción o de explotación pueden generar cambios en la atmósfera que rodea la instalación.
 - Medio hídrico
De la misma forma, vertidos líquidos provocan modificaciones en el medio marítimo igual que la instalación modifica el comportamiento de oleaje y mareas.
 - Geología
El anclaje de algunas centrales undimotrices taladra roca y genera modificaciones en la geología de la zona.

El mal funcionamiento de maquinaria o un mal mantenimiento puede generar que varíe la temperatura.

- Paisaje.

Directamente afectado por el montaje del parque, las dimensiones son grandes y alteran el paisaje. Indirectamente, se pueden ver afectados muchos factores, como la economía, demografía...

Que se estudiará de forma más exhaustiva en el apartado de explicación de la matriz

- Los componentes bióticos, que sí están vivos:

- Flora y vegetación.

El hecho de instalar elementos en el mar favorece la aparición de moho, lo que puede tener como consecuencia la eutrofización del entorno.

- Fauna.

Como fauna general, cualquier habitante del mar se ve afectado por una actividad industrial que modifica su comportamiento, en especial los mamíferos como ballenas, que son más sensibles a infraestructuras marinas dado que su sistema de comunicación se puede ver afectado por el ruido o las ondas electromagnéticas.

- Edafología.

Estrechamente vinculado con la flora y vegetación, las plantas situadas en el lecho marino sufren los mismos efectos negativos, pero la afección viene por la cantidad de sol que les llega o los sedimentos que provocan los dispositivos..

- Espacios protegidos.

Este punto se ha tenido en cuenta a la hora de elegir la localización del parque.

- Microorganismos.

Modificar el hábitat de un ecosistema puede afectar de igual manera a animales grandes como las ballenas y a partículas diminutas como el plancton, parte fundamental de la cadena alimenticia marina.

SOCIOECONÓMICOS

Aquellos que directa o indirectamente acaban afectando a la población de la zona.

- Demografía.

Puede aumentar por oferta de trabajo o disminuir también si se ve afectado el paisaje y la zona se dedica al turismo. El requerimiento del pe pe. Este parque es pequeño comparado con la perspectiva que se plantea al inicio del trabajo de que la isla se autoabastezca de energía undimotriz. Esto puede llegar a generar variaciones demográficas notorias impulsadas por la oferta de empleo trabajo que generaría la cantidad de parques, pero también la industria pesquera se ve afectada directamente por esto y puede desembocar en paro y esto en migración.

- Economía.

Se puede ver afectada la economía de la zona si el parque produce variaciones en el turismo o debido al impacto visual que genere, puede ser necesario dar una

compensación económica a la gente que habite una ubicación afectada negativamente por el parque.

- Calidad de vida.

Una central undimotriz ofrece trabajo de calidad que puede llevar a mejores sueldos. El requerimiento de personal cualificado puede ayudar a formar a la población autóctona, y de la misma forma que adquieren más conocimiento, también un salario mejor.

5.4. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

Una vez divididos y explicadas las acciones de proyecto y los factores ambientales se combinan en una matriz de la que se sacan en claro las acciones de proyecto que interaccionan con los factores ambientales y se clasifican según el nivel de afección en cuatro escalones:

- Compatible.

Si el impacto generado es poco, o si es un impacto generado por fallo humano, como por ejemplo sería la caída de un bidón de gasolina durante el mantenimiento.

- Moderado.

En este escalón se sitúan las acciones de proyecto que sí generan un impacto pero este es mitigable, se puede corregir o no

- Severo.

El impacto que se genera contamina en exceso o produce cambios demasiado grandes, es por ello que a partir de este escalón, o se busca una alternativa que no genere el impacto o no se puede desarrollar la actividad.

- Crítico.

Genera un impacto grande sobre el factor ambiental de forma que no se puede llevar a cabo el proyecto si este se da.

La escala de valoración es cualitativa, correspondiente a una primera aproximación a la Evaluación de impacto que es el alcance que tiene este apartado en el presente TFG. En un Estudio de Impacto Ambiental real se debería cuantificar en la medida de lo posible según dice la normativa, lo que requeriría trabajo de campo y predicciones con modelos y otras aproximaciones que en un EsIA real suponen meses de trabajo en equipo multidisciplinar

5.4.1 MATRIZ CAUSA-EFECTO: IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

Sobre la tabla 5.1, que se encuentra en el apartado 1 del anexo III, se van a comentar solo los que están en el escalón en el que se puede asumir el impacto, ya que los compatibles no son de gran importancia o son generados por fallo humano, que es inevitable, más allá de advertir de llevar precaución, no se puede hacer más y un impacto de este tipo no es concluyente a la hora de medir su contaminación, al menos desde el estudio previo, ya que no se puede anticipar su aparición.

Los impactos del tipo severo son los que están pintados de amarillo y se van a estudiar uno a uno de forma individualizada, de forma bastante subjetiva en general porque no hay datos como tal de el grado de afección de las acciones de proyecto. Como se puede observar son:

- El ruido.
Tanto en fase de construcción como en fase de explotación el ruido es un posible impacto ambiental que debe ser controlado y regulado en el caso de que sea necesario. En general puede afectar negativamente a la fauna del lugar dado que interfiere con los sistemas de ubicación, de relación y sobre todo de comunicación entre animales, especialmente los cetáceos que son altamente sensibles al ruido y hace que cambien rutinas migratorias, y pueden alterarlos hasta el punto de que dejen de comer. El problema del ruido es que no hay estudios que marquen límites a los que ajustarse por lo que la máxima ayuda son algunos proyectos europeos en desarrollo que recogen datos y crean una primera red de información con la que contrastar los datos recabados. El proyecto principal y más avanzado se llama Wese, desarrollado en las costas de Cantabria y Portugal.
- Modificación del lecho marino.
La modificación del lecho marino se da en la fase de construcción ya que una vez finaliza esta, ya no se modifica más. Por los dispositivos que se han elegido, el parque no precisa del uso de grandes dimensiones de lecho marino ni una instalación que suponga una gran obra como otros WEC requieren. Aun así, el simple hecho de instalar la subestación provoca una modificación que puede afectar tanto a flora, fauna y vegetación autóctona, como a la edafología. Los espacios protegidos no se contemplan en este apartado como impacto severo porque la ubicación del parque depende en su totalidad de este tipo de restricciones.
- Ondas electromagnéticas.
De la misma forma que pasa con el ruido, el electromagnetismo que emiten los cables o según qué partes de los dispositivos, se sabe que es dañino y afecta a la fauna y a los microorganismos alterando su comportamiento natural. El Wese recoge información sobre el modelo de cable que se usa en las dos centrales que fija como objetivo, cubriendo los cables con medidas excepcionales como aislamientos más gruesos de los habituales. Nuevamente, el proyecto se encuentra en fase de recogida de datos con los que más adelante trabajar, para generar una guía que informe del punto a partir del cual la afección es lo suficientemente elevada para generar impacto negativo.
- Material vertido
El material vertido durante las fases de construcción y explotación, puede recogerse y llevarse a un punto limpio o al sitio que proceda, pero el material que se quede tirado en la fase de clausura permanecerá ahí. Por eso mismo es un gran punto a tener en cuenta, una vez la vida útil del parque se acaba, hay que asegurarse de que cada parte es tratada como se debe.
- Modificación del paisaje.
La modificación paisajística en sí, no es un impacto ambiental que suponga un daño para nadie más allá de que visualmente no haga atractivo las vistas del mar, pero indirectamente esto puede generar muchos problemas que se estudian también como impacto ambiental. La alteración del paisaje puede provocar menos turismo, y siendo que en las Islas Canarias el turismo es una de las principales fuentes de

ingresos el impacto social y económico puede ser grande. Por otra parte, el aumento de parques también abarataría la energía o incluso podría venderse, por lo que sería necesario hacer un estudio exhaustivo de cómo va a afectar a la economía de Las Salinetas.

5.5. MEDIDAS CORRECTIVAS

Para estos problemas ambientales se plantean una serie de medidas correctivas que se pueden llevar a cabo para mitigar al máximo esos impactos que se han estudiado en el apartado anterior:

- Impacto social y económico.
En el caso en el que el paisaje afecte a la población que habita en los alrededores, las empresas suelen plantear un plan de subvenciones a esa gente para que aunque pierdan por un lado paisaje, por otro lado tengan un beneficio. La medida que se ha adoptado para este apartado ha sido instaurada durante el proyecto pues la distancia a la que sitúa el parque ha sido alejada en función de ese punto. Primeramente se había situado a 5 Km pero tras realizar un el estudio de impacto ambiental, se ha encontrado el dato de que el horizonte marino termina en unos 40 Km, lo que da una perspectiva realista de que dispositivos de las dimensiones que son, tan cerca de la costa (5 Km), iban a generar gran impacto visual.
- Habilitar espacios
Dado que la fauna y la flora autóctona son los más afectados por cualquier acción de proyecto de las que se han estudiado, no es descabellado pensar en realizar un estudio sobre el ecosistema de algunos animales que vayan a verse afectados, crearlo en una zona fuera de afecciones y trasladarlos a otro lugar en el que desarrollen su vida de forma normal.
- Generar barreras visuales para que los cetáceos puedan esquivar el parque de una forma en la que se vean alteradas sus conductas lo mínimo posible.
- Usar recubrimientos especiales para los cables evitando así el electromagnetismo que se genera alrededor de los cables.
- Lecho marino.
Para un buen trato del ecosistema, realizar un estudio del área donde se podría instalar la subestación y seleccionar el sitio más adecuado, donde hay menos fauna, flora y demás habitantes marinos.

Como conclusión general de este apartado dedicado al estudio del impacto ambiental, se puede decir que el impacto que genera este parque undimotriz de estas características es mínimo, y los impactos que genera, son mitigables.

ANEXO 1. CONTEXTO DEL EMPLAZAMIENTO

1.1 LOS ESTADOS DEL MAR

1.1.1. ESTUDIO SOBRE EL OLEAJE

Se denomina oleaje al movimiento superficial del agua producido en cualquier recinto cerrado como piscinas, estanques, lagos... Esto se debe a la acción de la gravedad que la luna ejerce sobre la tierra, y este movimiento es continuo en el tiempo.

El movimiento de las olas se puede describir cuantitativamente como como un oleaje a corto plazo a largo plazo. En este último, suponiendo una unidad temporal lo suficientemente extensa como para contemplar los estados del mar como estacionarios. A largo plazo se trabaja a modo de caracterización estadística que implica series temporales de al menos 10 años. Para este caso las condiciones no son estacionarias puesto que los datos recabados son del año 2022.

El oleaje se analiza como un proceso estocástico y para simplificarlo, ya que dicho análisis precisa que se den una serie de propiedades concretas, entre ellas que se lo pueda considerar o estacionario o semiestacionario. Esto implica una varianza muy leve, sin embargo, por condición, el oleaje es continuamente variable e impredecible por lo que se hacen recogidas de datos extensas, y se toman valores medios para realizar cálculos relativos al oleaje. Para asumir la estacionalidad se toman instantáneas durante el proceso y el conjunto de instantáneas que toman valores dentro de los rangos definidos como habituales es lo que se usa para conocer los estados del mar.

Estos parámetros a su vez varían cada uno constituyendo una serie temporal de los estados del mar, y estas características estadísticas definen la climatología marítima del lugar.

CARACTERÍSTICAS

El tipo de movimiento que describe la ola en su conjunto es de traslación, aunque las partículas que se mueven dentro de ella dibujen una estela elíptica o circular dependiendo de la profundidad.

El tamaño de una ola, por otra parte depende de varios:

- La intensidad.

Velocidad de acción del viento contra la superficie del agua.

- La duración

Tiempo durante el cual el viento sopla contra la superficie del agua.

- El alcance.

Longitud rectilínea máxima de una gran masa de agua superficial de mares u océanos que es uniformemente afectada en dirección y fuerza del viento que genera un oleaje particular.

FENÓMENOS ASOCIADOS A LA PROPAGACIÓN DEL OLAJE

Refracción.

Es el cambio de altura y dirección de propagación al variar de zonas de profundidad alta a zonas de profundidad baja. Se relaciona con variaciones de velocidad y por tanto profundidad.

Reflexión.

Al chocar la ola contra un obstáculo, la ola se refleja con poca pérdida de energía. y dependiendo de la forma, período y altura de la ola y de su consecutiva pueden sumarse o anularse

Difracción.

Esto es la dispersión de la energía del tren de olas a sotavento de una barrera, que generan pequeños trenes de olas secundarios de igual dirección. Con el paso del tiempo disminuyen en altura y velocidad pero no en longitud de onda.

Rotura de la ola.

Proceso que tiene lugar cuando la ola alcanza un valor crítico de altura, generalmente en posiciones offshore no se dan a no ser que transcurra una tormenta o condiciones climatológicas marinas especiales.

Ocurre cuando:

- La velocidad de las partículas en la cresta sobrepasa la celeridad de la onda.
- La presión de la superficie libre es incompatible con la presión atmosférica.
- La superficie libre se posiciona de forma vertical.

Conocer la altura de rotura de una ola es importante para el diseño de estructuras situadas en zonas de poca profundidad, ya que nos proporciona la altura máxima que alcanzará la ola.

1.1.2. EL VIENTO

El desplazamiento de la ola se ve alterado por el viento en mayor o menor medida proporcionalmente a la velocidad de este. Por ello, en zonas de mucho viento los estados del mar se vuelven más impredecibles. Por otra parte las olas generadas por el viento presentan mayor altura de pico y periodo,(características favorable para el desarrollo de la actividad objeto de estudio en este proyecto)

Aun así, el impacto que genera el viento sobre las boyas acaba siendo negativo, pero da la posibilidad de ir más allá e implementar generadores aéreos combinados con dispositivos

undimotrices, parques como este ya se están desarrollando en las costas del sur de España y en Canarias.

1.1.3 PROFUNDIDAD

Otro de los cambios que generan impacto en los estados del mar es la profundidad. La dinámica marina, puede influir negativamente en esto, haciendo impredecible la cantidad de sedimentos, variando la profundidad, y como se ha visto en el estudio del oleaje, generar olas con menor energía cinética.

Como se observa en la imagen 1, también comentada en la memoria, con profundidades indefinidas la diferencia entre la cresta de la ola y el punto mínimo es mayor pero también más irregular.

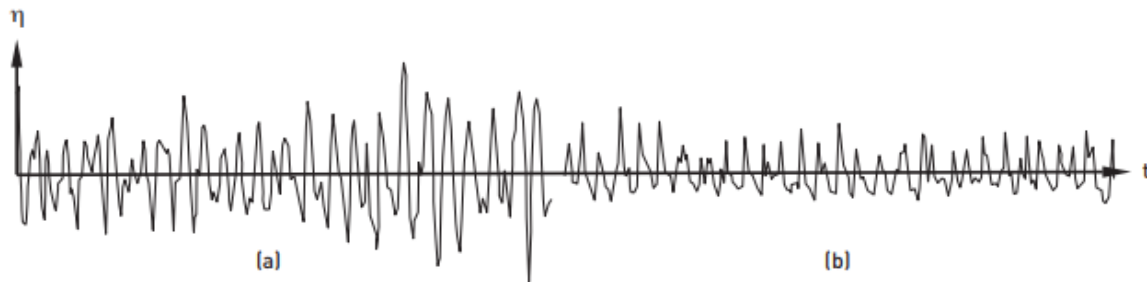


Imagen 1. Registros correspondientes a profundidades indefinidas (a) y profundidades reducidas (b). Imagen repetida del apartado 2.2.1.

La consideración de un proceso estocástico para el estudio de las olas hace posible la evaluación de sus propiedades estadísticas en los dominios de la frecuencia y de la probabilidad. Se asume como un proceso estocástico gaussiano, desplazamiento vertical libre en la superficie según la norma. Esta hipótesis solo se cumple en profundidades grandes, dado que en las reducidas no lo permite la simetría horizontal del perfil.

La energía resultante del oleaje por unidad de superficie, prometida en el tiempo y en función de la frecuencia angular, se presenta como una función espectro de oleaje $S(w)$.

El espectro del oleaje juega un importante papel en la evaluación de las propiedades estadísticas del mismo. El área bajo la curva, m_0 , se denomina momento de orden cero espectral y representa la severidad del oleaje.

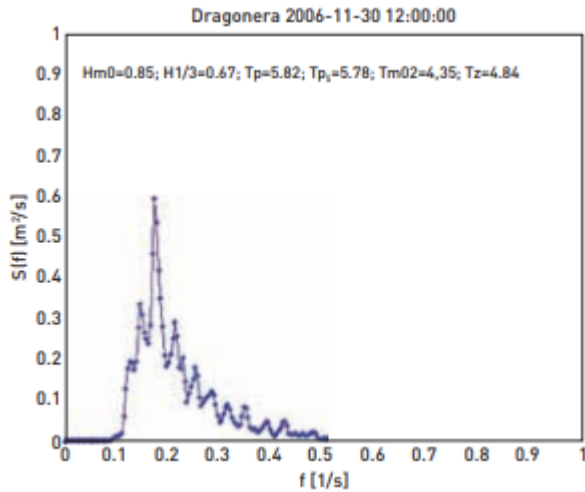


Imagen 12: análisis de oleaje a corto plazo sobre la severidad del oleaje relacionado con la frecuencia. Fuente: proyecto Wese.

En la imagen 12 puede apreciarse que el espectro halla su máximo absoluto para una frecuencia $\omega = 1,08 \text{ rad/s}$ (0,17 Hz). Esto implica que las olas cuyo periodo y longitud de onda se aproximan a $T=2\pi/\omega = 5,8 \text{ s}$ y donde la longitud de onda es mayor y alberga el punto álgido de la energía de los estados del mar.

En la siguiente imagen se aprecia el espectro de un oleaje que combina viento y mar de fondo.

En la imagen 13, se añade al espectro de oleaje el viento para observar que el cambio es notorio, no solo el punto máximo es mayor sino que se incrementa el área sobre la curva aumentando la energía que albergan los estados del mar en ese punto.

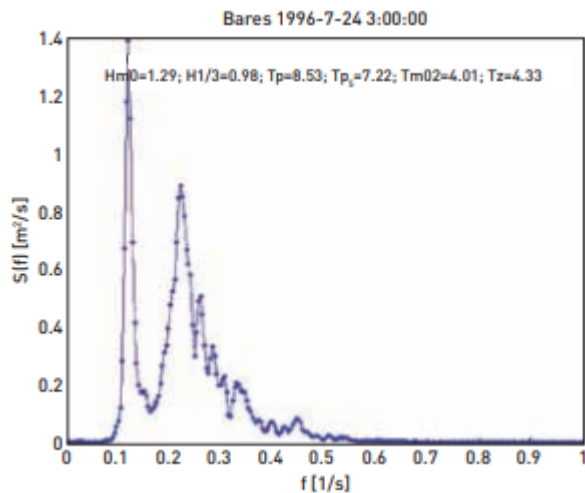


Imagen 13. Análisis de oleaje a corto plazo. Fuente: proyecto Wese.

1.2. RESTRICCIONES ZONALES

Mediante la herramienta GeoPortal, como ya se ha visto en el apartado 2.2.2 de factores ambientales, se mapea la isla de Gran Canaria, para evitar zonas con las restricciones que se ven en la imagen 3, dónde cada zona queda reflejada mediante la leyenda insertada en la imagen 14. para su posterior explicación de la leyenda.



Imagen 3. Fuente: GeoPortal. Imagen ampliada en el apartado 2.1.

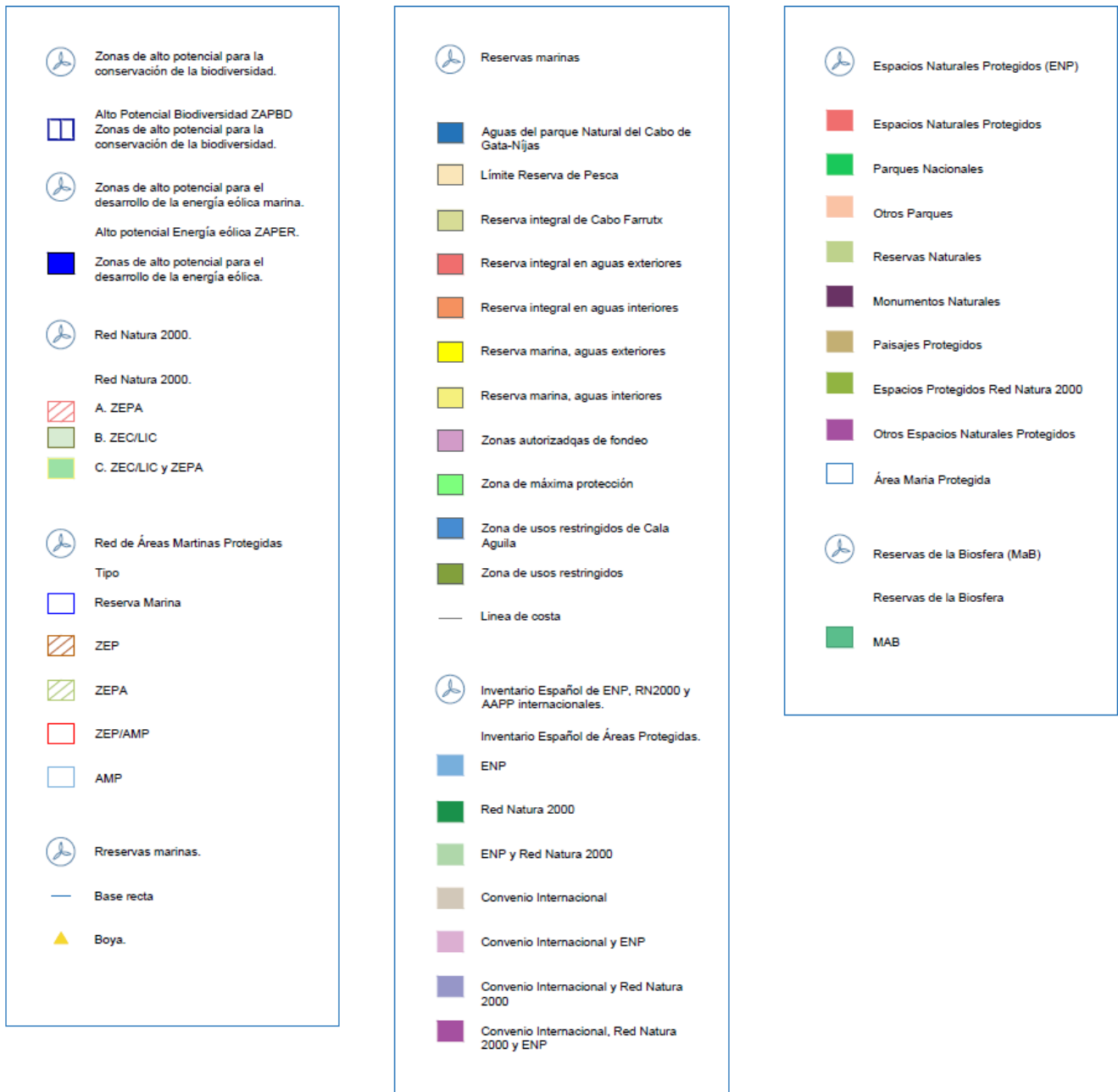


Imagen 14. Leyenda de restricciones zonales en Gran Canaria. Fuente: GeoPortal.

1.3. CUALIDADES DE LAS SALINETAS PARA ALBERGAR UN PARQUE

INFRAESTRUCTURAS

Como ya se ha comentado en la memoria la existencia de infraestructuras como subestaciones facilita la inyección de energía a la red, estando cercana a la zona de estudio se encuentran a subestación de San Andrés a 1,5 kilómetros de la playa, con una potencia de 220 kV y que abastece a la zona sur de la isla, incluyendo los municipios de San Andrés y Sauces, Santa Cruz de La Palma y El Paso.

ACCESIBILIDAD

La accesibilidad es un factor importante a considerar a la hora de elegir la ubicación de un parque undimotriz. Un emplazamiento accesible facilita el transporte de los materiales y equipos necesarios para la construcción y el mantenimiento del parque. También facilita el acceso de los trabajadores y los técnicos al parque.

En el caso concreto de estudio, la accesibilidad es un factor favorable para la instalación de un parque undimotriz. El emplazamiento se encuentra a unos 10 kilómetros de la costa, distancia relativamente corta contando con que otros parques se han instalado a varias decenas de kilómetros de la costa. Perpendicular al parque en la costa hay un puerto lo que facilita el acceso por carretera hasta el mismo. También se encuentra cerca de un aeropuerto internacional que facilita el transporte de los materiales y equipos pesados.

CALIDAD DEL AGUA

Los dispositivos undimotrices están expuestos a las condiciones del agua, por lo que es importante que el agua esté limpia y libre de contaminantes.

Algunos factores, como la salinidad, pueden perjudicar el desarrollo de la actividad del parque. Si la salinidad es alta, los dispositivos undimotrices pueden verse afectados a medio y largo plazo por una degradación más alta de algunas partes fundamentales para su funcionamiento esperado, por lo que si en el caso de estudio la salinidad supera los rangos establecidos serán necesarias más protecciones para los elementos del parque, lo que encarecería su puesta en marcha.

Los datos sobre la calidad del agua se obtuvieron de la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) recopilados en 2022, y se analizaron los siguientes parámetros:

- Temperatura del agua.
- Salinidad
- Turbidez

- pH
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
- Nitrógeno total (N)
- Fósforo total (P)

Los resultados del estudio mostraron que la calidad del agua en Las Salinetas es buena. La temperatura del agua es de unos 20 grados centígrados, la salinidad es de unos 35 gramos por litro, y la turbidez es baja. El pH es neutro, y los niveles de DBO, N y P son bajos.

CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Un emplazamiento estable en cuanto a variaciones meteorológicas ofrece mayor fiabilidad, los equipos undimotrices, generalmente están diseñados para condiciones estables ya sean de valores elevados o más suaves. Las variaciones de las condiciones meteorológicas pueden provocar que los dispositivos trabajen fuera de los rangos previstos y queden expuestos a sufrir daños.

POTENCIAL DE AUTOGESTIÓN

El potencial de autoconsumo de la isla de Gran Canaria se refiere a la capacidad de la isla de generar su propia electricidad y, por lo tanto, reducir su dependencia de las importaciones de energía. Este ha sido uno de los mayores factores cualitativos que se han tenido en cuenta, un parque a pequeña escala como el que se plantea en este trabajo abastece una ínfima porción de población isleña pero esta forma de extraer energía ofrece la posibilidad de expandirse y generar suficiente energía para que toda la isla dependa únicamente de energía proveniente de fuentes renovables, o al menos que el porcentaje de autoconsumo sea elevado.

Según un estudio realizado por la empresa española Ocean Power Technologies, un parque undimotriz de 100 MW ubicado en Las Salinetas podría generar suficiente energía para abastecer a unos 30.000 hogares. Esta cantidad de energía representa aproximadamente el 10% de la demanda de electricidad de la isla. Un porcentaje importante contando con que con solo 15 boyas se consigue una potencia mayor de 3 MW, con 500 boyas se alcanzaría esa cifra.

ANEXO II. LOS DISPOSITIVOS WEC.

2.1 LOS DISPOSITIVOS GENERADORES UNDIMOTRICES

Se denomina WEC (Wave Energy Converter) al conjunto formado por el sistema de extracción y transmisión de potencia (PTO) y el generador eléctrico. Su función consiste en captar la energía contenida en las olas (cinética o potencial) mediante el PTO y transmitirla a un generador eléctrico que la transforme en energía eléctrica de una forma eficiente.

Ya que es el dispositivo que se encarga de captar la energía que proporcionan las olas hay que ser muy estricto a la hora de seleccionarlo, hay tres factores fundamentales a tener en cuenta que afectan directamente a la boya:

- El oleaje real.
El movimiento de las olas es irregular esto implica amplitud y fase variables, lo que reduce las posibilidades de optimizar el rendimiento del sistema.
- El emplazamiento seleccionado.
Obliga al dispositivo a ser capaz de soportar condiciones adversas, incluso las no pronosticadas.
- Selección del generador.
La frecuencia es de aproximadamente 0,1 Hz, lejos de la frecuencia de excitación con la que trabaja un generador cuya frecuencia es mucho mayor.

2.2. SISTEMA DE EXTRACCIÓN PTO.

El PTO es el componente encargado de extraer la potencia del oleaje y transmitirla de la forma más eficiente al generador. Para ello,, tratará de explotar adecuadamente la mayoría de los siguientes fenómenos físicos que tienen lugar en el oleaje:

- Oscilación del nivel del mar.
La variación de la energía potencial de una masa de agua que oscila arriba y abajo cuando pasa la ola. Se puede explotar independientemente de cuál sea su profundidad.
- Diferencia de presión
El agua de la ola es capaz de ejercer una presión que se puede traducir en la captación de esta energía mediante dispositivos apropiados.
- Empuje de la ola
A modo de pistón, recibirá el empuje de la ola y lo transmitirá a un elemento móvil.

2.3. PROCESO DE CONVERSIÓN ENERGÉTICA.

MÉTODOS

Para explotar los fenómenos físicos al máximo y seleccionar adecuadamente el dispositivo, hay que conocer las formas que tienen los WEC de convertir la energía. Se puede canalizar a través de múltiples dispositivos y el proceso se puede llevar a cabo de tres formas:

- Flujo de aire.
La variación de altura en las olas dentro de una cámara de aire, empuja la masa de aire a través de una turbina. Se usan turbinas bidireccionales, comúnmente turbinas Wells, caracterizadas por girar en la misma dirección tanto cuando es atravesada en un sentido como en otro. Ejemplos de este método de conversión son: OWC.
- Flujo de agua.
El agua de las olas se almacena para ser turbinado posteriormente por diferencia de altura, transforma la energía potencial en energía mecánica. Esto genera el movimiento de una turbina Pelton en una fase posterior. Ejemplos de este tipo de dispositivos son: Wave Dragon.
- Movimiento relativo entre cuerpos, dónde este movimiento puede ser:
 - Circuito hidráulico.
Un movimiento oscilatorio de la ola que provoca el movimiento de uno o varios elementos mecánicos transformándolo en presión sobre un fluido. Esto acciona un motor. Ejemplos de este tipo de dispositivos son: Pelamis o las boyas Power Buoy.
 - Transmisión mecánica.
 - Generador lineal: el movimiento relativo entre la parte móvil y la parte fija del generador lineal, por acción del oleaje, induce una corriente eléctrica. Ejemplos de este método son: AWS.

Como se puede deducir, todos ellos tienen como objetivo último la generación de movimiento en dispositivos mecánicos o hidráulicos que están conectados a un generador eléctrico, con el que se transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Este representa la última etapa dentro del proceso de conversión.

PROCESO

Una vez clasificada la conversión de energía a de las olas, es necesario conocer el proceso para poder optimizarlo, ya que la transformación de la energía de las olas en energía eléctrica no se hace de forma directa.

El principal problema es que con otras energías renovables y sus dispositivos como son los aerogeneradores, las velocidades de intercambio suelen ser bajas y por ello es importante amplificarlas. En el proceso se distinguen dos conversiones principales de energía:

- Conversión primaria.
Convierte el movimiento de las olas en el movimiento de un cuerpo o de un fluido de trabajo, mediante un sistema o bien neumático o bien mecánico para convertir el movimiento oscilatorio en un movimiento unidireccional con una velocidad media de 2 m/s.
- Conversión secundaria.
Consiste en la conversión de movimientos mecánicos en energía útil mediante una interfaz mecánica que convierte las bajas velocidades de rotación en unas mucho mayores, y después conectarlas a un generador convencional. Se suelen usar turbinas hidráulicas, dispositivos de transmisión mecánicos, o de inducción magnética. En la undimotriz, a diferencia de lo que ocurre con las energías convencionales, es necesario acoplar un sistema intermedio que permita acoplar ambas partes a los generadores, lo que disminuye el rendimiento.

2.4. EL GENERADOR INTERNO DEL DISPOSITIVO

A continuación se van a describir sistemas de conversión final de energía mecánica a eléctrica. Al existir tal cantidad de tecnologías de conversión es crucial estudiar el generador para seleccionar el óptimo. Se deberá escoger el sistema que dé buenos resultados dependiendo directamente del dispositivo que se seleccione para asegurar la máxima eficiencia del convertidor.

Además, la alta variabilidad de la frecuencia del oleaje, hará la conversión más eficiente cuanto más amplio sea el rango de velocidades con las que es capaz de trabajar el generador. Por ello, hay que escoger para cada caso entre equipos de rotación constante o variable. El primero tiene un precio más bajo, la electrónica de potencia es menos sofisticada y no se puede ajustar la velocidad de la turbina a las especificaciones necesarias, en cambio, el de rotación variable presenta electrónica de potencia más compleja y cada vez se dispone más de él en el mercado.

Las máquinas que ofrece el mercado competitivo de generadores para este tipo de actividad son:

- La máquina de inducción.
Genera electricidad en un amplio rango de velocidades, por encima de la de sincronismo. Se usa a la vez que un control de par y de velocidad para ajustar la carga a las necesidades de la red en un momento determinado. Esta máquina es común en los sistemas OWC.
- Generador síncrono a velocidad variable
Es un generador convencional modificado que permite la generación a tensión y frecuencia constantes, independientemente de la velocidad. Con eficiencias aceptables para un varias velocidades y es aconsejable para la generación a gran escala y la conexión a red.
- Generador eléctrico de corriente alterna.
Requiere rectificar posteriormente la corriente a continua para aquellas configuraciones que permitan la generación conjunta.

- Generador lineal.

Tiene un sistema de arrastre directo que extrae energía en forma de movimiento oscilante de vaivén a velocidad reducida. La velocidad es igual a la del flotador del convertidor, uno o dos órdenes de magnitud menor que la de los generadores rotativos convencionales. Se necesitan fuerzas de reacción grandes, que implican tamaños considerables del sistema de conversión. En este caso, el rotor recibe el nombre de “translator”.

EL GENERADOR LINEAL

Aunque las máquinas rotativas son las más habituales en la gran mayoría de aplicaciones, para la generación undimotriz, el generador lineal toma un papel destacado. El movimiento que pretendemos transformar en energía eléctrica es una traslación lineal, y la trayectoria del movimiento demandado por un generador lineal se adapta a la perfección al recorrido que hacen los sistemas de extracción de potencia del tipo absorbedor puntual con un movimiento definido por ser rectilíneo y recíproco. Dado que en este trabajo se va a analizar principalmente este tipo de sistemas, se analiza el funcionamiento del sistema.

Un generador lineal en un absorbedor puntual facilita la reducción de pérdidas mecánicas en la transmisión de potencia respecto al caso de un generador rotacional. Además de disminuir las pérdidas se obtiene una reducción de tareas de mantenimiento.

Se compone de una parte fija (estátor) y una parte móvil que en este caso se denominada translator. La zona entre ambas se denomina entrehierro,, y es a través de ella por donde se induce la tensión.

El translator está constituido de imanes permanentes, y el estátor se encuentran unas bobinas conductoras. El movimiento rectilíneo del oleaje se transfiere al translator respecto del estátor. A causa de esto se genera un campo magnético que varía con el movimiento. Es importante conocer que el flujo magnético se va alternando, siguiendo la trayectoria del translator. La disposición de los imanes como se ve en la imagen 15 se alterna en polaridad.

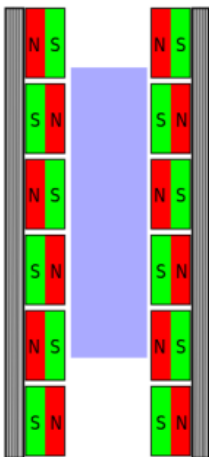


Imagen 15. Disposición de los polos de un translator de un generador lineal. Fuente: Google imágenes.

De esta forma, a través del entrehierro, se induce una fuerza electromotriz E en el estátor, que contiene el devanado trifásico, según la ley de inducción de Faraday.

El flujo que existe en el devanado estático genera una corriente que circula por él, y ésta un a su vez un flujo magnético que interacciona con los imanes en movimiento y esa interacción ejerce una fuerza de traslación. Cuando el oleaje es demasiado fuerte se sitúan resortes para frenar el traslator de forma suave y que no sufra caños.

2.5. ESTUDIO DE LOS DISPOSITIVOS WEC

Previo al estudio de los dispositivos para su posible selección se han descartado los dispositivos que por su forma de generar energía provocan un impacto ambiental demasiado elevado:

- Dispositivos onshore: La variación sobre el ecosistema costero que supone la instalación de este tipo de dispositivos genera cambios radicales que alteran flora, fauna y paisaje de la zona de explotación.
- Dispositivos tipo Oyster. Pese a que generan una cantidad de energía muy elevada, con dispositivos que modifican el lecho marino de la zona de extracción de energía en un 100%. Son dispositivos de grandes dimensiones que precisan una instalación laboriosa además, durante las pruebas que se hicieron al prototipo (con más de 6000 horas) hubo problemas para asegurar los cilindros hidráulicos.
- Los dispositivos nearshore no quedan totalmente descartados, pero se van a estudiar bajo unas condiciones ambientales más rigurosas pues generan un impacto en el ecosistema cerca de la costa en el que afectan a numerosos seres vivos de la zona (particularmente hablando de Las Salinetas).

Las opciones que son objeto de estudio como posibilidad de selección son:

- Pelamis
- Salter Duck
- Wave Dragon
- AWS
- PowerBuoy

Pelamis (serpiente marina).

Es quizás, uno de los dispositivos más exitosos. Es una máquina semisumergida con módulos unidos con bisagras. El movimiento es resistido por arietes que bombean aceite a alta presión a través de motores hidráulicos, acoplados a generadores eléctricos.

Desarrollado por la compañía Pelamis Wave power, cada dispositivo de 180 m de longitud y 4 m de diámetro, está dotado de 4 módulos cilíndricos y 3 módulos de potencia.. La potencia nominal de cada módulo es de 250 kW siendo la global 750 kW.

Aprovecha dos grados de libertad, la oscilación vertical (heave) y el balanceo (sway), eso aumenta la eficiencia del proceso de captación de energía se amayor.

La estructura se mantiene en posición por un sistema de anclaje al fondo marino.

En la unión entre módulos hay unas juntas móviles que permiten aprovechar el movimiento oscilatorio del oleaje en accionar los pistones de los cilindros hidráulicos del sistema de conversión energética.

En la imagen 16 se muestra un esquema de las uniones de los módulos de potencia con los adyacentes. En la unión entre un módulo de potencia y sus módulos adyacentes hay unas juntas móviles que permiten emplear el movimiento oscilatorio de las olas en accionar los pistones de los cilindros hidráulicos del sistema de conversión de energía.



Imagen 15.



Imagen 16.

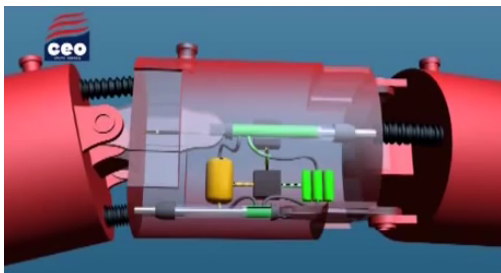


Imagen 17. Unión entre módulos.

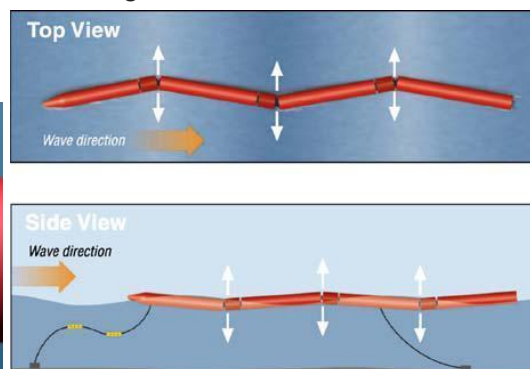


Imagen 18.

Fuente de estas imágenes: Google imágenes.

Este dispositivo cuenta con un pequeño almacén de energía lo que permite amortiguar las variaciones bruscas del proceso de absorción de energía. El grado de conversión del proceso es de los más altos del mercado con hasta un 80%.

Salter Duck

Es un sistema que rota con un movimiento de cabeceo a medida que pasa la ola, bombeando fluido para activar un motor hidráulico acoplado a un generador. El montaje es alineado perpendicularmente a la cresta de la ola. El dispositivo convierte energía cinética y potencial de la ola en energía mecánica, con lo que el nivel de absorción de energía es alto. Aun así, el potencial generador por dispositivo oscila entre 50 y 100 kW.



Imagen 19

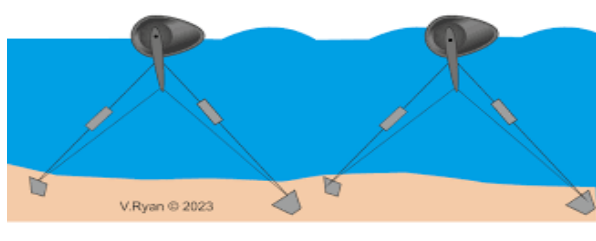


Imagen 20

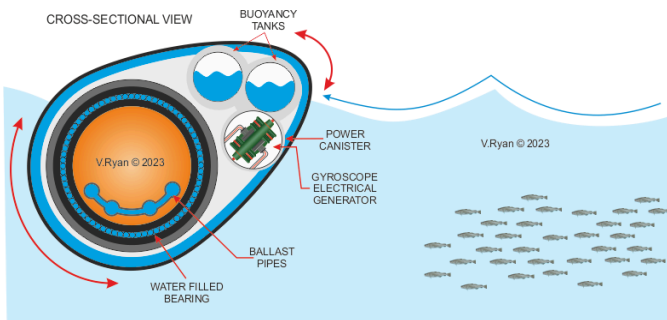


Imagen 21.

Fuente de imágenes: Google imágenes.

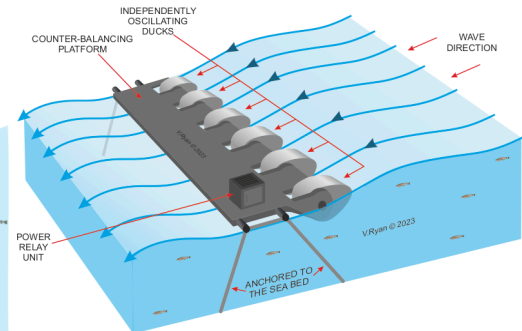


Imagen 22.

Wave Dragon

Con una longitud de 250 metros de largo, y dotado de un par de aletas de unos 126 metros de largo concentra el agua de las olas incidentes sobre la estructura enfocada a una rampa y esta se almacena a objeto de hacer girar una serie de turbinas acopladas a generadores. Utiliza la energía potencial para hacer girar las turbinas.

Se hacen continuas mediciones con un prototipo de unos 20 kW de potencia, si bien se espera que el dispositivo a escala real tenga una potencia de entre 4 y 10 MW, en función de las condiciones climáticas.

Está formado por una plataforma donde se sitúan las turbinas, los generadores y demás equipos. Los brazos de los lados están diseñados para redireccionar las olas hacia la rampa por lo que entra el agua a las turbinas.

De los dispositivos undimotrices existentes, el Wave Dragon es el que más alto grado de generación ha alcanzado.



Imagen 23.



Imagen 24

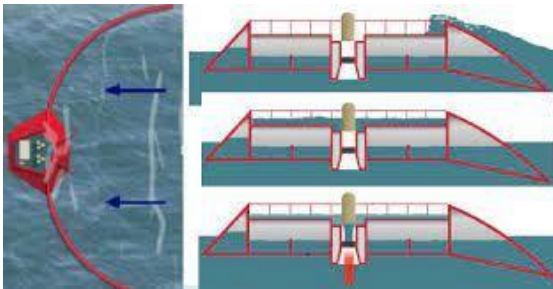


Imagen 25.

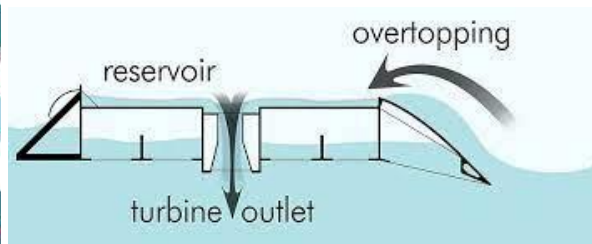


Imagen 26.

Fuente de estas imágenes: Google imágenes

Power Buoy/Dispositivo flotante de dos cuerpos con desplazamiento vertical

Dispositivo desarrollado por la compañía americana Ocean Power technologies. Se trata de un absorbedor puntual de oscilación vertical, dotado de una parte flotante y un cilindro sumergido que alojan la mayoría de los componentes. La oscilación vertical activa las partes móviles del circuito hidráulico y estas al motor hidráulico acoplado al generador eléctrico. Ha ido evolucionando a lo largo de los años, pasando de 40 kW de potencia nominal a los 500 kW actuales.

La energía AC generada se convierte en DC de alta tensión y se envía a la costa a través de cables submarinos. Un flotador en forma de disco reacciona contra un cuerpo cilíndrico sumergido y terminado en su borde inferior por una placa horizontal amortiguadora que aumenta la inercia a través de la masa de agua agregada. El movimiento relativo entre cuerpos es convertido mediante un sistema PTO, mencionado anteriormente.

En la imagen 3 se puede apreciar las partes del dispositivo donde se ve reflejado cuales quedan sumergidas y cuales por encima de la superficie, además de la disposición estándar de un dispositivo de este tipo.

Este dispositivo está concebido para ser instalado en agrupaciones de varios de ellos, formando así parques generadores de energía undimotriz. En el fondo marino, se sitúa una subestación diseñada para ser instalada a más de 50m de profundidad y elevar la tensión

de 660 a 11 kV, actuando como nodo central para un sistema Scada (Imagen 29), comunicado con tierra con cables de fibra óptica.



Imagen 27.



Imagen 28.

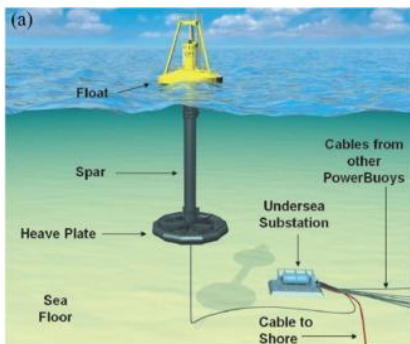


Imagen 29.

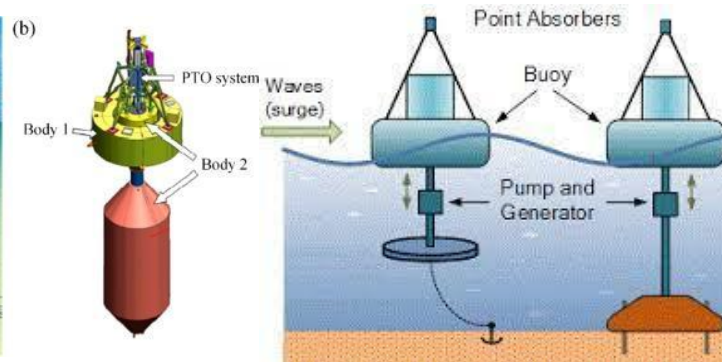


Imagen 30.

Fuente de estas imágenes: Google imágenes.

La selección final entre estos dispositivos queda descrita en el apartado 3.1.5 Selección del dispositivo, y como se ha visto, el resultado es un dispositivo Power Buoy.

2.6. TIPOS DE DISPOSICIÓN

Cada dispositivo genera una alteración en el oleaje al oscilar con las olas, y esta alteración puede afectar negativamente a la siguiente boya si hace disminuir la altura o el periodo del oleaje. Esto depende directamente del diseño de la agrupación que se haya llevado a cabo. Para elegir la mejor disposición posible hay que tener en cuenta que la distancia entre dispositivos debe ser cercana para optimizar la señal y el cableado, pero también hay que dejar la suficiente distancia como para que no interfiera la producción de un dispositivo con sus contiguos y permita el paso a buques para llevar a cabo el mantenimiento.

LA MATRIZ DE SEGUNDA GENERACIÓN

La disposición tipo matriz de primera generación, ha sido la seleccionada por lo que queda reflejada en la memoria de este proyecto, aquí se añade la tarea de investigación sobre la alternativa que se presenta, la matriz de segunda generación.

Cuando el planteamiento del parque precisa de una cantidad muy elevada de dispositivos, la matriz de primera generación deja de ser una buena opción por la extensión que supondría. En ese momento el máximo beneficio se encuentra mediante la configuración tipo matrices de segunda generación.

En este caso el número de filas es variable dependiendo de la cantidad de dispositivos pero el esquema de ubicación no cambia, perpendicularmente uno detrás de otro como queda reflejado en la imagen siguiente.

Esta disposición consta de 10 veces el diámetro +10 m como distancia horizontal entre dispositivos y de distancia vertical un total de la profundidad multiplicada por 1,5 + 10m

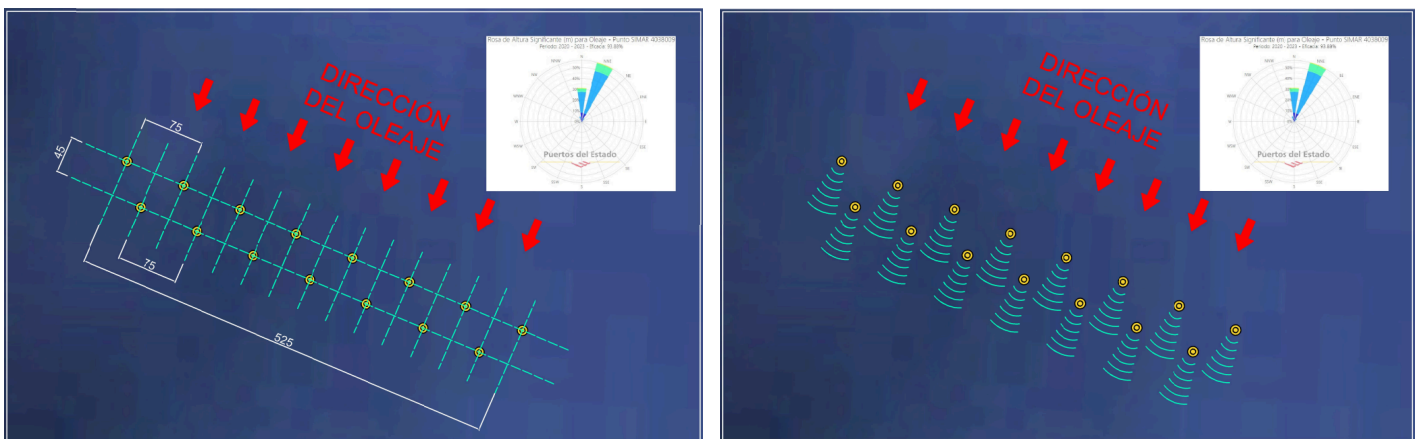


Imagen 31 y 32. Disposición de dispositivos y reflejo de alteración de dinámica marina. Diseño propio en Autocad.

ANEXO III. IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS

Para encontrar la relación entre las acciones de proyecto, los factores ambientales, y además conocer la gravedad del impacto que genera esa interacción, y el momento de la vida del parque en la que ocurre, se ha generado la tabla 5. En esta tabla quedan reflejadas las acciones de proyecto y los factores ambientales, pero además un código de colores añade información sobre su etapa de aparición, en el caso de las acciones de proyecto, y otro código de colores, que aporta información sobre la gravedad del impacto generado.

Las acciones de proyecto se han dividido en:

- Rosa: para las emisiones.
- Azul: para consumo de recursos.
- Morado: las que aparecen por la presencia de la central.

Además, para calificar dentro de la tabla 4 los impactos, explicados en el apartado 5.4 de la memoria,, se ha utilizado un código de colores:

- Verde: Compatibles.
- Amarillo: Moderados.
- Naranja: Severos.
- Rojo: Críticos.

7. CONCLUSIONES

La visión general del proyecto se puede resumir en el siguiente apartado.

Aunque Las Salinetas sea un emplazamiento idóneo y la energía undimotriz tiene un gran potencial, después de las síntesis alcanzadas durante el presente trabajo de fin de grado, se puede decir que no es suficiente como fuente de energía principal de abastecimiento, al menos por ahora. Lleva de la mano un gran número de complicaciones, la más grande, la falta de desarrollo tanto en calidad de dispositivos como en cantidad de opciones.

Los cálculos

Al contrario de lo que se puede esperar, no genera casi impacto, al menos, con los estudios realizados hasta ahora. Ambientalmente es una energía muy limpia, pero esto va ligado al desconocimiento de acciones de proyecto indirectas que puedan surgir cuando la actividad se desarrolle durante un largo periodo de tiempo.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] «Blue growth», Smart Specialisation Platform. Accedido: 23 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://s3platform.jrc.ec.europa.eu>
- [2] «385625.pdf». Accedido: 23 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/8658/385625.pdf?sequence=1>
- [3] I. Galparsoro *et al.*, «A new framework and tool for ecological risk assessment of wave energy converters projects», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 151, p. 111539, nov. 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.111539.
- [5] «Bathymetry», European Marine Observation and Data Network (EMODnet). Accedido: 23 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://emodnet.ec.europa.eu/en/bathymetry>
- [6] «Características técnicas – BiMEP». Accedido: 23 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.bimep.com/area-bimep/caracteristicas-tecnicas/>
- [7] «Carnegie», Carnegie. Accedido: 23 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.carnegiece.com/>
- [8] «Configuración de un parque undimotriz».
- [9] «d5.1_datagathering.pdf». Accedido: 23 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://wese-project.weebly.com/uploads/1/2/3/5/123556957/d5.1_datagathering.pdf
- [10] «documentos_11227_e13_olas_b31fcafb.pdf». Accedido: 23 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e13_olas_b31fcafb.pdf
- [11] «Energía Undimotriz», Energía de los Mares. Accedido: 23 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://energiademar.wordpress.com/energia-undimotriz/>
- [12] B. F. Jiménez, «Estimación de la Energía Anual Generada en una Central Undimotriz».
- [13] F. D. Toril, «Generación undimotriz mediante absorbedores puntuales con sistemas hidráulicos de conversión de potencia.».
- [14] «GeoPortal». Accedido: 23 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/geoportal.html>
- [15] «Gobierno de España - Sede Electrónica del Ministerio para la Transición Ecológica». Accedido: 23 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://sede.miteco.gob.es/portal/site/seMITECO/navServicioContenido>
- [16] «Gobierno de España - Sede Electrónica del Ministerio para la Transición Ecológica». Accedido: 23 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://sede.miteco.gob.es/portal/site/seMITECO/navServicioContenido>
- [17] «Página Inicio | puertos.es». Accedido: 23 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.puertos.es/es-es>
- [18] A. V. Avilés y L. Cappiotti, «SISTEMAS DE CONVERSIÓN DE LA ENERGÍA DE LAS».
- [19] A. Limited, «Un PB150 Power Boya, dispositivo de energía de las olas en el Dockside en Invergordon, Cromarty Firth Escocia Fotografía de stock - Alamy». Accedido: 23 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.alamy.es/foto-un-pb150-power-boya-dispositivo-de-energia-de-las-olas-en-el-dockside-en-invergordon-cromarty-firth-escocia-40068234.html>
- [20] «Wave Power Parks», SEABASED. Accedido: 23 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://seabased.com/seabased-wave-power-parks>
- [21] «Wese Project», SAFEWAVE PROJECT. Accedido: 23 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.safewave-project.eu/wese-project/?lang=es>
-