



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,
Canales y Puertos

Estudio de la aplicabilidad de sistemas de generación de
energía a partir del oleaje en el Puerto de Valencia.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

AUTOR/A: Ortí Cardo, Pablo

Tutor/a: González Escrivá, José Alberto

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

ESTUDIO DE LA APLICABILIDAD DE SISTEMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA UNDIMOTRIZ EN LA COSTA VALENCIANA. APLICACIÓN AL PUERTO DE VALENCIA.

Presentado por

Ortí Cardo, Pablo

Para la obtención del

Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Curso: 2022/2023

Fecha: 05/09/2023

Tutor: José Alberto González Escrivá



RESUMEN

A día de hoy, las grandes economías mundiales sufren una dependencia de los combustibles fósiles que, con el paso del tiempo, estos van subiendo de precio llegando a límites que la sociedad no es capaz de afrontar. Lo que conlleva a una crisis energética que si se suman conflictos bélicos que dificultan la importación de estos combustibles, la crisis se agrava en todos los sentidos. Por otra parte, desde la Revolución Industrial hasta la actualidad, el ser humano lleva empleando combustibles fósiles incrementando su uso de forma gradual principalmente por el aumento exponencial de la población y el aumento de la demanda energética a nivel individual. Todo ello confluye en el problema del calentamiento global, principalmente causado por el exceso de emisiones de CO₂ expulsadas a la atmósfera por la combustión de los combustibles fósiles. El aumento de la temperatura del globo altera los ecosistemas de aquellas especies sensibles a los cambios de temperatura además del deshielo de los polos y el posterior aumento del nivel del mar.

Planteado el problema, es necesario desviar las fuentes de energía para suplir la demanda, pero hacerlo de forma sostenible, es decir, evitando las menores emisiones posibles para no agravar el calentamiento global. Para ello, emplear energías renovables es necesario para cumplir ese objetivo, como la energía undimotriz.

Asimismo, el presente TFM trata de cumplir el objetivo de la Autoridad Portuaria de Valencia de suministrar toda la demanda energética del Puerto al completo con 0 emisiones y con una energía renovable para el año 2030. Hacerlo mediante la energía undimotriz que aprovecha la energía mecánica de las olas para obtener electricidad.

Con todo ello, se ha realizado un estado del arte de aquellos sistemas o dispositivos de energía undimotriz estableciendo una comparativa y selección para el sistema que más se adecúa a las necesidades del Puerto de Valencia. Tras haber seleccionado el WaveStar como el dispositivo con mayor rendimiento para las características y necesidades del puerto. Finalmente se ha estudiado la viabilidad de dicho dispositivo en distintos aspectos para acercarse lo máximo a una posible implantación de esta clase de energía renovable.

Palabras clave: Energía, oleaje, undimotriz, Mediterráneo, Valencia, sostenible, renovable.

RESUM

Hui dia, les grans economies mundials pateixen una dependència dels combustibles fòssils que, amb el pas del temps, aquests van pujant de preu arribant a límits que la societat no és capaç d'afrontar. El que comporta a una crisi energètica que si se sumen conflictes bèl·lics que dificulten la importació d'aquests combustibles, la crisi s'agreuja en tots els sentits. D'altra banda, des de la Revolució Industrial fins a l'actualitat que l'ésser humà porta emprant combustibles fòssils, incrementant el seu ús de manera gradual principalment per l'augment exponencial de la població i l'augment de la demanda energètica a nivell individual. Tot això conflueix en el problema del calfament global, principalment causat per l'excés d'emissions de CO₂ expulsades a l'atmosfera per la combustió dels combustibles fòssils. L'augment de la temperatura del globus altera els ecosistemes d'aquelles espècies sensibles als canvis de temperatura a més del desglaç dels pols i el posterior augment del nivell de la mar.

Plantejat el problema, és necessari desviar les fonts d'energia per a suplir la demanda, però fer-ho de manera sostenible, és a dir, evitant les menors emissions possibles per a no agreujar el calfament global. Per a això, emprar energies renovables és necessari per a complir aqueix objectiu, com l'energia de les ones.

Així mateix, el present TFM tracta de complir l'objectiu de l'Autoritat Portuària de València de subministrar tota la demanda energètica del Port al complet amb 0 emissions i amb una energia renovable per a l'any 2030. Fer-ho mitjançant l'energia de les ones que aprofita l'energia mecànica de les ones per a obtindre electricitat.

Amb tot això, s'ha realitzat un estat de l'art d'aquells sistemes o dispositius d'energia de les ones establint una comparativa i selecció per al sistema que més s'adequa a les necessitats del Port de València. Finalment s'ha estudiat la viabilitat en diferents aspectes per a acostar-se el màxim a una possible implantació d'aquesta classe d'energia renovable.

Paraules clau: Energia, onatge, de les ones, Mediterrani, València, sostenible, renovable.

ABSTRACT

Nowadays, the world's major economies suffer from a dependency on fossil fuels which, over time, are rising the Price, reaching limits that society is not capable of facing. This entails an energy crisis that if war conflicts are added that make it difficult to import these fuels, the crisis worsens in every way. On the other hand, from the Industrial Revolution to the present, human beings have been using fossil fuels, gradually increasing their use, mainly due to the exponential increase in the population and the increase in energy demand at the individual level. All this converges in the problem of global warming, caused mainly by the excess of CO2 emissions expelled into the atmosphere by the combustion of fossil fuels. The increase in the temperature of the globe alters the ecosystems of those species that are sensitive to changes in temperature, as well as the melting of the poles and the subsequent rise in sea level.

Given the problem, it is necessary to divert energy sources to meet demand, but do so in a sustainable way, that is, prevent the lowest possible emissions so as not to aggravate global warming. For this, using renewable energy is necessary to meet that objective, such as wave energy.

Likewise, this TFM tries to meet the objective of the Port Authority of Valencia to supply all the energy demand of the Port in full with 0 emissions and with renewable energy by the year 2030. Doing it through wave energy that takes advantage of the mechanical energy of waves for electricity.

With all this, a state of the art of those wave energy systems or devices has been created, establishing a comparison and selection for the system that best suits the needs of the Port of Valencia. Finally, the feasibility has been studied in different aspects to get as close as possible to a possible implementation of this type of renewable energy.

Keywords: Energy, waves, Mediterranean, Valencia, sustainable. renewable

ÍNDICE DE DOCUMENTOS

ESTUDIO DE LA APLICABILIDAD DE SISTEMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA UNDIMOTRIZ EN LA COSTA VALENCIANA.

APLICACIÓN AL PUERTO DE VALENCIA.



- DOCUMENTO N°1: MEMORIA
- DOCUMENTO N°2: PLANOS

MEMORIA

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	8
1.1	MOTIVACIÓN	8
1.2	OBJETIVOS	9
1.3	SISTEMAS DE CONVERSIÓN DEL OLEAJE	9
2	ESTADO DEL ARTE.....	10
2.1	CARACTERÍSTICAS DE LA ENERGÍA UNDIMOTRIZ.....	10
2.2	TIPOLOGÍAS	11
2.2.1	SISTEMAS BASADOS EN LA OSCILACIÓN	11
2.2.1.1	SISTEMAS FLOTANTES (PowerBuoy, WaveStar y Pelamis).....	11
2.2.1.2	SISTEMAS SUMERGIDOS.....	14
2.2.2	SISTEMAS DE COLUMNA DE AGUA OSCILANTE	15
2.2.2.1	ESTRUCTURA FIJA	15
2.2.2.2	ESTRUCTURAS FLOTANTES (Mighty Whale).....	16
2.2.3	SISTEMAS BASADOS EN EL REBASE	17
2.2.3.1	ESTRUCTURA FIJA (TAPCHAN).....	17
2.2.3.2	ESTRUCTURA FLOTANTE (Wave Dragon)	18
2.3	MÉTODOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.....	18
2.3.1	TURBINA DE AGUA	18
2.3.2	TURBINAS DE AIRE.....	19
2.3.3	MOTORES HIDRÁULICOS DE ALTA PRESIÓN.....	19
2.4	ENERGÍA UNDIMOTRIZ EN ESPAÑA.....	20
2.4.1	CENTRAL UNDIMOTRIZ DE MUTRIKU (PAÍS VASCO)	20
2.4.2	PLANTA UNDIMOTRIZ DE SANTOÑA (CANTABRIA).....	21
2.4.3	OTRAS CENTRALES DESTACABLES	21
2.5	COMPARATIVA	22
2.6	POSIBLES DESARROLLOS FUTUROS	23
3	SELECCIÓN DEL SISTEMA UNDIMOTRIZ PARA LA APLICACIÓN DEL PUERTO DE VALENCIA	23
3.1	RECURSO ENERGÉTICO DISPONIBLE.....	23
3.2	DEMANDA ENERGÉTICA	24
3.3	CONDICIONANTES AMBIENTALES	24
3.4	PARÁMETROS PRINCIPALES Y CRITERIOS DE SELECCIÓN	25
3.4.1	RANGO DE OLEAJE.....	26
3.4.2	TRÁFICO MARÍTIMO.....	27
3.4.3	INFRAESTRUCTURA	29
3.4.4	PROFUNDIDAD	30
3.4.5	REQUERIMIENTOS MEDIOAMBIENTALES	31
3.4.6	RUIDO.....	33
3.4.7	COSTES DE INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO	34
3.4.8	SELECCIÓN.....	35
4	ESTUDIOS PREVIOS	36
4.1	CLIMA MARÍTIMO	36
4.1.1	RÉGIMEN DE VIENTOS.....	36
4.1.2	RÉGIMEN DE OLEAJE	38
4.1.2.1	RÉGIMEN EXTREMAL.....	38
4.1.2.2	RÉGIMEN MEDIO.....	40
4.1.2.3	PROPAGACIÓN DEL OLEAJE	41
4.2	BATIMETRÍA	45
4.3	CAMBIO CLIMÁTICO.....	45
4.3.1	GENERALIDADES	45
4.3.2	CAMBIO CLIMÁTICO EN EL MAR MEDITERRÁNEO.....	46
5	VIABILIDAD.....	52
5.1	VIABILIDAD TÉCNICA.....	52
5.2	VIABILIDAD FUNCIONAL.....	59
5.2.1	RANGO DE OLEAJE	59
5.2.2	AFECCIÓN AL TRÁFICO MARÍTIMO	59
5.2.3	TEMPORALES.....	59
5.2.4	ENERGÍA PRODUCIDA	59
5.3	VIABILIDAD ECONÓMICA	61
5.4	VIABILIDAD CONSTRUCTIVA	61
5.4.1	LEGISLACIÓN	61
5.4.2	TIPOS DE CIMENTACIÓN	62
5.4.3	CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN	62
6	PRESUPUESTO	63
7	CONCLUSIONES.....	66
8	BILBIOGRAFÍA.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Prototipo OWC de Yoshio Masuda 1965 [37]	9
Figura 2. Esquema del sistema PowerBuoy de OPT [26].....	11
Figura 3. Sistema PowerBuoy in situ [26].....	12
Figura 4. Altura de ola durante el Huracán Irene [26]	12
Figura 5. Sistema flotante WaveStar	12
Figura 6. Prototipo del sistema WaveStar.....	13
Figura 7. Esquema de funcionamiento del WaveStar [33].....	13
Figura 8. Sistema Pelamis.....	13
Figura 9. Funcionamiento del sistema Pelamis.....	14
Figura 10. Dispositivo Oyster [5]	14
Figura 11. Funcionamiento del dispositivo Oyster [5]	15
Figura 12. Sistema AWS.....	15
Figura 13. Funcionamiento del sistema OWC. [33].....	16
Figura 14. Esquema 3D del funcionamiento del sistema OWC [33]	16
Figura 15. Dimensiones de la estructura Mighty Whale	16
Figura 16. Funcionamiento del sistema Mighty Whale.....	17
Figura 17. Sistema TAPCHAN.....	17
Figura 18. Croquis del funcionamiento del dispositivo Wave Dragon	18
Figura 19. Diseño del dispositivo WaveDragon [10]	18
Figura 20. Turbina Kaplan [39]	19
Figura 21. Turbina Wells [21]	19
Figura 22. Esquema de un motor hidráulico de alta presión de un dispositivo Pelamis [8]	20
Figura 23. Central Undimotriz de Mutriku [28].....	20
Figura 24. Sección de la Central Undimotriz de Mutriku [9]	20
Figura 25. Planta de la Central Undimotriz de Mutriku [9]	21
Figura 26. Dispositivo Pelamis de la central de energía undimotriz de Okeanós en Portugal [40]	21
Figura 27. Potencia Media Anual de la energía undimotriz en la costa Mediterránea [20]	23
Figura 28. Potencia Media Anual de la energía undimotriz en el Puerto de Valencia [20].....	23
Figura 29. Zona de Especial Protección para las Aves. Fuente Visor GVA.	25
Figura 30. Biocenosis en la zona del Puerto de Valencia. Fuente: Visor GVA.....	25
Figura 31. Zonas de fondeo (color verde claro) en el Puerto de Valencia [19].....	27
Figura 32. Ubicación más cercana de la zona urbana. Fuente: Google Earth.....	33
Figura 33. Localización de la Boya de Valencia [35].....	36
Figura 34. Herramienta elegida para calcular la propagación del oleaje [13]	41
Figura 35. Instantánea del cálculo de la propagación del oleaje del NE para un $H_s = 3$ m y dirección NE [13].....	42
Figura 36. Ley Snell. Fuente: Apuntes UPV	42
Figura 37. Batimetría del Puerto de Valencia [19]	45
Figura 38. Proyección de la variación del nivel medio del mar para RCP4.5 entre 2026-2045 [32].....	47
Figura 39. Proyección de la variación del nivel medio del mar para RCP4.5 entre 2081-2100 [32].....	47
Figura 40. Proyección de la variación del nivel medio del mar para RCP8.5 entre 2026-2045 [32]	48
Figura 41. Proyección de la variación del nivel del mar para RCP8.5 entre 2081-2100 [32]	48
Figura 42. Proyección de la variación de altura media de la ola para RCP4.5 entre 2026-2045 [32]	49
Figura 43. Proyección de la variación de altura media de la ola para RCP4.5 entre 2081-2100 [32]	49
Figura 44. Proyección de la variación de altura media de ola para RCP8.5 entre 2026-2045 [32].....	50
Figura 45. Proyección de la variación de altura media de ola para RCP8.5 entre 2081-2100 [32]	50
Figura 46. Croquis del concepto de Cota de Inundación.....	51
Figura 47. Localización del Mareógrafo del Puerto de Valencia. Fuente: Puertos del Estado.....	51
Figura 48. Esquema del modelo de PMSM [33].....	53
Figura 49. Emplazamiento del WaveStar y el planteamiento del tráfico marítimo [19]	59
Figura 50. Flotadores levantados a causa de un temporal [34].....	59
Figura 51. Cimentaciones marinas (orden de izquierda a derecha) Monopilote, Trípode, Jacket, Tripilote y Gravedad [44]	62
Figura 52. Monopilote [44]	62
Figura 53. Barco grúa para la instalación de la plataforma y los brazos del WaveStar [44].....	63

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Consumo de energía mundial. Fuente: Statical Review of World Energy.	8
Gráfica 2. Consumo de energía primaria en España [1].....	8
Gráfica 3. Desglose de energía primaria en España 2021 [1].....	8
Gráfica 4. Media de la energía aprovechable en función de la profundidad [2]	10
Gráfica 5. Output de Potencia por el Powerbuoy. Fuente: Empresa OPT [26]	12
Gráfica 6. Rosa de viento anual [35]	37
Gráfica 7. Distribución conjunta de dirección y velocidad media [35].....	37
Gráfica 8. Rosa de altura significativa [35].....	38
Gráfica 9. Distribución conjunta de dirección y altura significativa [35].....	38
Gráfica 10. Hs - Periodo de Retorno - Probabilidad de Excedencia [35].....	39
Gráfica 11. Régimen medio de altura significativa (ENE) [35]	40
Gráfica 12. Régimen medio de altura significativa (NE) [35]	40
Gráfica 13. Régimen medio de altura significativa [35].....	41
Gráfica 14. Cambios proyectados en el sistema climático entre la actualidad y el 2100 [18]	46
Gráfica 15. Output de voltaje del generador a velocidad constante (1500rpm) [33].....	54
Gráfica 16. Output de voltaje del generador a velocidad constante (1500 rpm) [33].....	54
Gráfica 17. Velocidades de la ola recreada y la velocidad del generador resultante [33].....	55
Gráfica 18. Output de intensidad del generador [33]	56
Gráfica 19. Output de voltaje del generador [33]	56
Gráfica 20. Output de potencia del generador producido por un oleaje constante [33]	57
Gráfica 21. Output de potencia del generador a partir de un movimiento ondulatorio aleatorio como el del oleaje [33]	58
Gráfica 22. Potencia generada en función de la altura de ola y el periodo de pico medio. Fuente: Elaboración propia.	60
Gráfica 23. Producción de energía anual en función de la dirección y altura del oleaje. Fuente: Elaboración propia.	60
Gráfica 24. Evolución del precio de mercado energético en España 2007-2022 [36]	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consumo de energía primaria en España en 2021 por tecnología renovables [1].....	9
Tabla 2. Matriz de potencia del sistema Pelamis [6].....	14
Tabla 3. Matriz de potencia del sistema Oyster [6]	15
Tabla 4. Matriz de potencia del sistema WaveDragon [7]	18
Tabla 5. Comparativa de los sistemas de energía undimotriz. Fuente: Elaboración propia.....	22
Tabla 6. Valoración del rango de oleaje. Fuente: Elaboración propia.....	26
Tabla 7. Características de los lugares de atraque y fondeo [27]	27
Tabla 8. Valoración de la afección al tráfico marítimo. Fuente: Elaboración propia.....	28
Tabla 9. Valoración del aprovechamiento de infraestructuras existentes. Fuente: Elaboración propia.....	29
Tabla 10. Valoración de la profundidad. Fuente: Elaboración propia.....	30
Tabla 11. Valoración de los requerimientos medioambientales. Fuente: Elaboración propia.....	32
Tabla 12. Decibelios percibidos en función de la distancia. Fuente: Elaboración propia.....	33
Tabla 13. Valoración del coste de instalación. Fuente: Elaboración propia.....	34
Tabla 14. Valoración del coste de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia.....	34
Tabla 15. Selección del sistema de energía undimotriz para el Puerto de Valencia. Fuente: Elaboración propia.....	35
Tabla 16. Tabla velocidad media (Ve) – Dirección de Procedencia en % [35].....	37
Tabla 17. Altura significativa (Hs) - Dirección de Procedencia en % [35].....	38
Tabla 18. Periodo de Pico - Altura de ola significativa [35].....	39
Tabla 19. Periodo de pico medio para cada altura de ola. Fuente: Elaboración propia.....	41
Tabla 20. Ángulos que forman las direcciones respecto a la normal de la línea batimétrica. Fuente: Elaboración propia.....	42
Tabla 21. Cálculo de la celeridad para las dos profundidades y para cada Hs.....	43
Tabla 22. Variación del ángulo respecto a la normal de batimetría de las direcciones por la propagación del oleaje.....	43
Tabla 23. Altura de ola significativa (Hs) - Dirección de procedencia en % a pie del dique del Puerto de Valencia. Fuente: Elaboración propia.....	44
Tabla 24. Carrera de marea en el año 2022. Fuente: Puertos del Estado.....	52
Tabla 25. Coste de construcción en base a la potencia instalada [23].....	61
Tabla 26. Coste de instalación del WaveStar. Fuente: Elaboración propia.....	63
Tabla 27. Coste de Operación y Mantenimiento y Desmantelamiento. Fuente: Elaboración propia.....	63
Tabla 28. Amortización del WaveStar para un precio medio de energía de 0,06 €/kWh. Fuente: Elaboración propia.....	65
Tabla 29. Amortización del WaveStar para un precio medio de energía de 0,25 €/kWh. Fuente: Elaboración propia.....	65

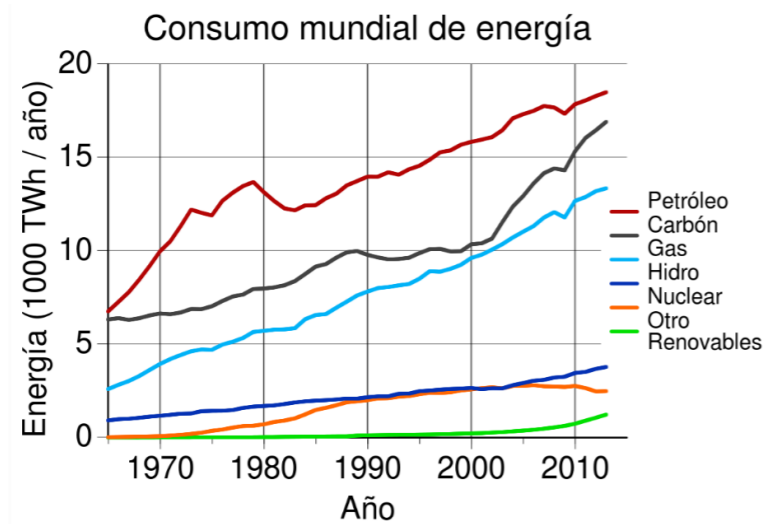
1 INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN

La finalidad del presente Trabajo de Fin de Máster es la obtención del Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV).

Para comenzar, el estudio trata de buscar una fuente de energía sostenible y renovable gracias al oleaje de la zona objeto del estudio. Es necesario comentar que existe desde hace ya varias décadas una dependencia casi exclusiva de los combustibles fósiles por parte del ser humano para satisfacer las demandas requeridas de energía, ya sea a nivel global como a nivel individuo. Es precisamente por dicho abuso que se prevé el agotamiento de estas en las futuras décadas, esta falta de combustibles fósiles provocará paulatinamente una subida de su precio, como a día de hoy ya se puede presenciar. Probablemente llegue un momento en el que no cualquiera en la misma sociedad sea capaz de afrontar dicha oferta. Además, existe otro problema con el abuso de los combustibles fósiles como son las emisiones de CO2 que presenta su combustión, las cuales atacan directamente al problema del calentamiento global y a todas las consecuencias catastróficas que este problema puede llegar a plantear a escala global. Es por estos motivos por los que hay que realizar o plantear cambios en la forma de extraer la energía para poder satisfacer esta demanda antes de que sea demasiado tarde.

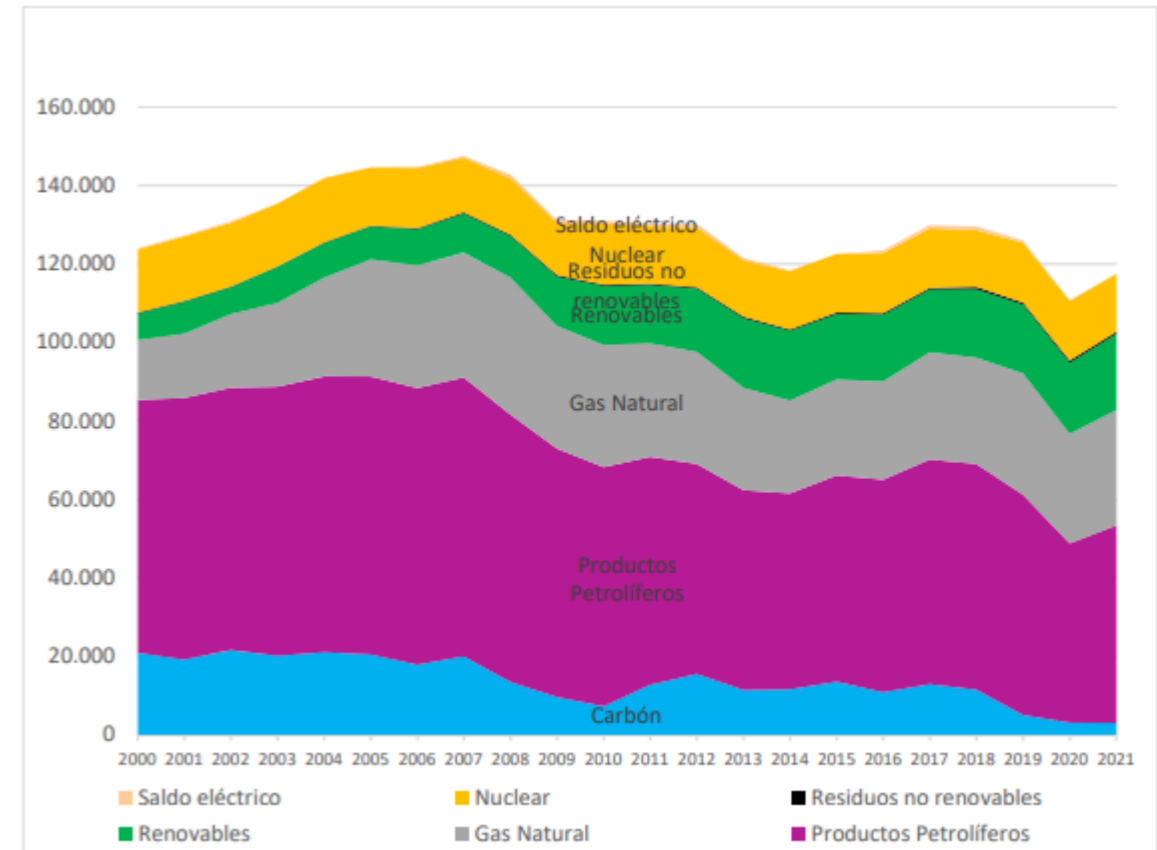
Añadiendo por supuesto el problema de monopolización de las grandes petroleras con la producción de energía primaria. Se puede observar que la dinámica que acontece es el predominio del beneficio económico frente al interés medioambiental. Incapaces de vislumbrar que lo más probable es que las consecuencias ambientales y económicas de los países a medio plazo sean irreversibles.



Gráfica 1. Consumo de energía mundial. Fuente: Statical Review of World Energy.

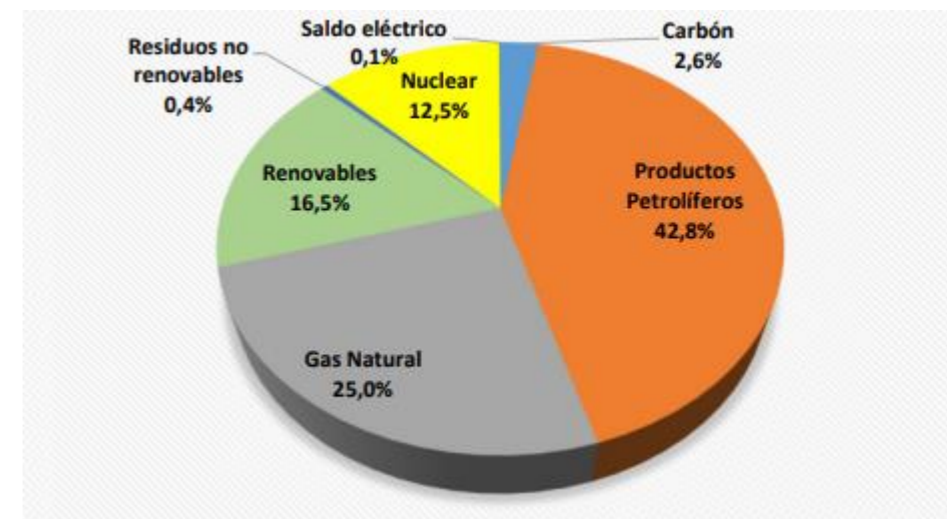
Tal y como se puede observar en la Gráfica 1, desde un prisma global la situación es alarmante. En el año 2013 la energía consumida proveniente de los combustibles fósiles asciende a un 86%. Sin embargo, a nivel nacional, existe una actual crisis energética al igual que el resto del mundo la fuente principal de energía la constituyen combustibles fósiles y derivados que, como se ha mencionado previamente, la subida de precios hace que la sociedad no pueda afrontar la oferta y por ello baja la demanda entrando así en una carencia de energía donde desesperadamente es necesario una alternativa. Para poder contrastar dichos problemas a nivel nacional

se ha acudido al Balance Energético de España más actualizado comprendido entre el año 1990 y 2021 [1] obteniendo los datos mostrados en la Fig. 2.



Gráfica 2. Consumo de energía primaria en España [1]

Analizado de forma desglosada a modo de porcentajes el consumo de energía primaria en España en 2021 [1] se vería comprendida principalmente en productos petrolíferos y gas natural con un 42,8% y un 25% respectivamente.



Gráfica 3. Desglose de energía primaria en España 2021 [1]

Tal y como se puede observar en la Fig. 3 España consume un total de 16,5% de energía procedente de las renovables, siendo la más importante la eólica seguida de la biomasa.

Tecnología	ktep	Δ 2021/2020 (%)
Hidráulica	2.547	-2,9%
Eólica	5.336	+10,0%
Solar fotovoltaica	1.885	+39,9%
Solar térmica	2.370	+3,6%
Energía del mar	1,6	-29,6%
Geotérmica	0,2	+0,0%
Biomasa	5.278	+4,5%
Biogases	326	+0,8%
RSU (renovables)	283	+20,0%
Biocombustibles	1.409	+0,2%

Tabla 1. Consumo de energía primaria en España en 2021 por tecnología renovables [1]

En primer lugar, ktep significa kilotonelada equivalente de petróleo. Lo destacable de la Tabla 1 es el aumento de la solar fotovoltaica de un año para otro en casi un 40%, esto demuestra que 2021 fue un año de mayor radiación solar no solo por la mayor radiación solar sino por un aumento en las plantas fotovoltaicas instaladas en el año anterior. Sin embargo, en lo que concierne a este trabajo es la energía procedente del mar que tal y como se observa, es apenas un 1,6 ktep con una disminución del 29,6% del 2020 al 2021 [1] lo que denota que existe un problema y motiva a la investigación y desarrollo para que la energía undimotriz gane un papel importante en la producción primaria y contribuir a resolver los problemas comentados.

Como se puede observar, España ha sufrido una evolución en las últimas décadas en cuanto a diversificación energética principalmente debido a las energías renovables en el panorama energético. Esto significa que ha habido progresos en la eficiencia energética haciendo que tenga un efecto positivo en la capacidad de autoabastecimiento. Con todo ello, una búsqueda activa para esos cambios es el presente proyecto y así satisfacer la demanda de energía de ciertas actividades en el Puerto de Valencia mediante la energía undimotriz y de esta forma aportar un granito de arena.

1.2 OBJETIVOS

El principal objetivo de este Trabajo Final de Máster es la introducción y planteamiento de una posible ejecución de una infraestructura capaz de aprovechar la energía undimotriz que existe en la zona. Asimismo, uno de los grandes objetivos del Puerto de Valencia es llegar al año 2030 con un 0% de emisiones de por parte del puerto.

Antes de comenzar con el siguiente apartado es preciso detallar la definición del término “undimotriz”. Según Enel Green Power [37]: “La energía marina almacenada en las olas, también conocida como energía undimotriz o Wave Energy, se debe a la acción que ejerce el viento sobre la superficie del mar y que genera ondulaciones en la propia superficie del agua”.

1.3 SISTEMAS DE CONVERSIÓN DEL OLAJE

Como ya se han mencionado, dos de las palabras clave son oleaje y energía, es precisamente la relación entre estas palabras donde el presente trabajo va a ser de utilidad. Se va a comentar como se convierte la energía del oleaje a electricidad además de las formas en las que se ha realizado en el pasado y en el presente.

La primera patente de Girad & Son en Francia en el año 1799 hasta el año de 1965, donde Yoshio Masuda lanza el primer prototipo de Oscillating Water Column (OWC) y es considerado el padre de la tecnología de la energía undimotriz por dicha labor [37].

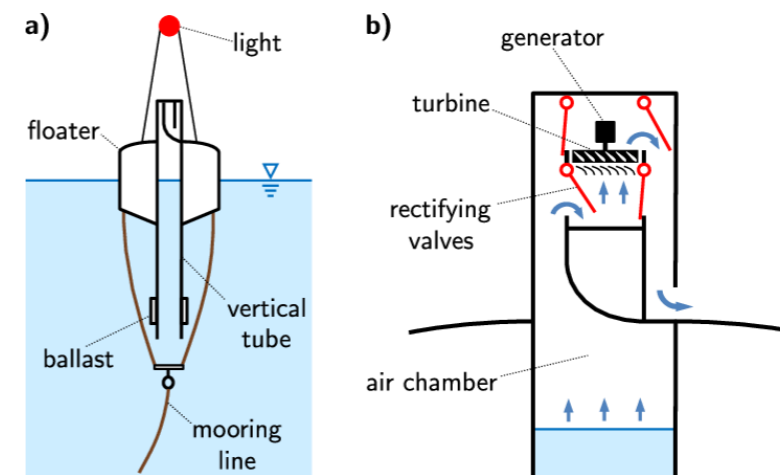
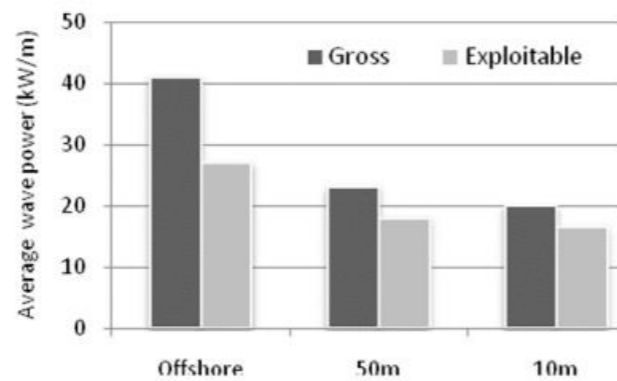


Figura 1. Prototipo OWC de Yoshio Masuda 1965 [37]

Pero no es hasta la década de los 80 por la necesidad generada de la crisis del petróleo donde se comienza a implementar como alternativa viable. Es por estas décadas donde se comienza a tener consciencia de lo que está provocando tal cantidad de emisiones de CO2 por parte de los combustibles fósiles.

Hay que destacar que la energía producida por el oleaje no es aprovechable en su totalidad además de que no es simétrica, es decir, no en todas las partes del globo se es capaz de obtener la misma cantidad de energía lo cual plantea un dilema importante en la implementación de ciertos sistemas, puesto que existen muchos factores por los que el oleaje varía.

Por otra parte, no hay que olvidarse que la intención del trabajo es implantar esta energía renovable en Valencia en la medida de lo posible, analizando la viabilidad en todos los campos. No obstante, puede parecer que el Mar Mediterráneo posee poco oleaje y por ello poca capacidad energética en ese sentido, principalmente debido al fetch que tiene dado que no es muy grande tal y como puede suceder en otros mares u océanos que poseen un mayor recorrido del viento, por lo que llegan a tener oleajes más potentes hablando desde el punto de vista energético. También es cierto que pese a que, a priori, los grandes océanos tengan un oleaje más energético este no tiene por qué ser aprovechable al completo ya que entran otros factores como que en aguas profundas el porcentaje de aprovechamiento de este oleaje desciende a un 10% de su capacidad en alta mar, tal y como se puede ver en la siguiente ilustración.



Gráfica 4. Media de la energía aprovechable en función de la profundidad [2]

Así pues, existen varios estudios [2] que demuestran el potencial del Mar Mediterráneo para poder albergar instalaciones o dispositivos capaces sacar un buen rendimiento energético a pesar de las dimensiones del mar en cuestión.

2 ESTADO DEL ARTE

En primer lugar, el estado del arte es un tipo de investigación documental basándose en la búsqueda, lectura y posterior análisis sobre la bibliografía más actualizada sobre un tema del que se está investigando. Con todo ello, y tratándose de la energía del oleaje, para el presente apartado se pretenden definir tanto la evolución histórica de los diferentes sistemas de conversión además de sus tipos y el planteamiento como alternativa para la obtención de energías renovables en la zona objeto del estudio. Además, la clasificación de los sistemas que existen se presentarán ejemplos de estos, acompañados por supuesto de los parámetros y las ilustraciones pertinentes para su correcta comprensión.

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ENERGÍA UNDIMOTRIZ

Las olas verdaderamente proceden la energía solar, puesto que el sol calienta la superficie terrestre generando así diferencias de presión que es como se produce el viento de donde las olas son las encargadas de recoger y almacenar al final esa energía transformada. El 0,3% de la energía solar acaba siendo energía undimotriz como tal y son precisamente estas olas las que tiene la peculiaridad de desplazarse a través de grandes distancias a lo largo de los mares y océanos

Cuando hablamos de la energía del mar se pueden distinguir dos tipos, la energía undimotriz por un lado y la energía mareomotriz por otro. Siendo la energía undimotriz la que aprovecha la fuerza del oleaje para poder realizar la conversión a energía eléctrica mientras que la mareomotriz emplea el movimiento diferencial entre mareas. Puesto que las olas son el movimiento del cual existe la energía undimotriz es muy importante analizar dicho movimiento para su futura investigación e implantación en infraestructuras.

Las olas son oscilaciones periódicas en la superficie del mar. Estas son provocadas principalmente por la acción del viento siendo esto una combinación entre energía potencial y cinética. Puesto que las olas son oscilaciones periódicas, al igual que cualquier ejemplo que contenga este tipo de movimiento se caracterizan por factores del estilo de la longitud de onda, amplitud y periodo.

Los principales procesos que se ven implicados en el origen del oleaje son:

- Comienza con que el aire circula sobre el mar que ejerce unas tensiones tangenciales sobre la superficie del agua produciendo de esta manera el crecimiento y formación de las olas.

- Posteriormente el flujo de aire turbulento próximo a la superficie del agua genera tensiones de cortadura rápidamente variables, así como variaciones de presión. Cuando dichas oscilaciones estén en fase con las olas ya existentes, tendrá lugar un refuerzo de la señal
- Por último, en el momento que las olas alcanzan un tamaño concreto el viento es capaz de ejercer aún más elevada en el movimiento alcista de la ola, ocasionando un crecimiento adicional.

Uno de los aspectos a tener en cuenta sobre la energía undimotriz es que es una fuente de energía inagotable dado que se basa en las olas de los océanos, pero es cierto que la puesta en marcha de las instalaciones que se requieren para la transformación de energía pueden llegar a ser complejas.

Las características principales de la energía undimotriz, con las que posteriormente se podrán diferenciar las ventajas y desventajas, son las siguientes:

1. Se produce en el mar
2. Aprovecha la energía del viento que genera las olas
3. Diversas tecnologías para su producción
4. Renovable y limpia
5. Tecnología aún en desarrollo
6. Instalaciones costosas
7. Difícil distribución a tierra, tras su generación

De las características mencionadas, la energía que es capaz de ofrecer el oleaje presenta ventajas respecto a otros tipos de energía renovable como, por ejemplo:

- Generación constante
- Impacto ambiental leve, tanto visual como acústico (Depende del sistema o dispositivo)
- Suministro de energía a zonas de difícil acceso
- Gran potencial energético, es decir, segura, abundante e inagotable
- Capacidad de predicción bastante mayor que la eólica
- Buena correlación entre recurso y demanda

Por otra parte, como en el resto de las energías renovables existen desventajas por la que a veces se vuelven retos ciertamente complicados para la sociedad. Uno de estos retos es la de como poder captar la energía mecánica producida por las olas de forma más eficiente para obtener un rendimiento eficaz en la producción de energía eléctrica. Es en la obtención y reparto de esta energía eléctrica donde sale otro reto o problema a solucionar y es que como es lógico el uso de este tipo de energía renovable se circunscribe a zonas costeras por lo que transportar la energía obtenida resulta otro inconveniente. Importante añadir el impacto ambiental que ciertos sistemas o dispositivos afectan al medio costero, donde, en la mayoría de casos, se necesita mucho espacio para las instalaciones que pueden llegar a modificar el paisaje natural y el ecosistema de la zona. Básicamente las desventajas se podrían resumir en los siguientes puntos:

- Limitación de lugares donde se pueden implantar estos sistemas.
- Coste elevado, tanto para la construcción como para la reparación o mantenimiento de la infraestructura.
- Baja competitividad.
- Difíciles condiciones climáticas, a posibles temporales la infraestructura es capaz de sufrir daños.
- Energía en fase de desarrollo a nivel mundial. Ninguna tecnología se ha impuesto al resto debido a irregularidades en amplitud, fase y dirección de las olas (Fernanda Miguélez Pose, 2009)

2.2 TIPOLOGÍAS

En el presente apartado se van a explicar los distintos dispositivos e infraestructuras que existen relacionados con la energía undimotriz, comentando sus características y parámetros más importantes al igual que algunos de los inconvenientes que pueden presentar.

2.2.1 SISTEMAS BASADOS EN LA OSCILACIÓN

Estos sistemas constan de objetos que pueden ser sumergidos o flotantes que se fundamentan, como bien dice su nombre, en un movimiento oscilatorio vertical. Principalmente se ubican en aguas profundas puesto que sacan un mejor rendimiento en alta mar donde la energía del oleaje es mayor, cabe añadir que recientemente se han desarrollado sistemas basados en la oscilación para zonas someras. Ya mencionado previamente, Yoshio Masuda en la década de los sesenta desarrolló prototipos situados en las costas de Japón, situando estos sistemas en las boyas de navegación de dicho país, en el Pacífico. No obstante, surgieron problemas a la hora de ejecución y mantenimiento de los dispositivos; principalmente debido a la gran distancia de la costa y a la larga red de cables requerida por la esa gran distancia con la costa. Pero con el paso de los años y con ello la investigación de estos dispositivos se han podido superar haciendo así de los sistemas basados en la oscilación un método competitivo para la generación de energía.

2.2.1.1 SISTEMAS FLOTANTES (PowerBuoy, WaveStar y Pelamis)

Dentro de este grupo de sistemas se pueden dividir en dos subgrupos, los que se componen de un cuerpo oscilante y los que se componen de dos cuerpos oscilantes:

En primer lugar, los sistemas con un único cuerpo oscilante fueron de los primeros en desarrollarse, comenzando con el prototipo ya mencionado de Yoshio Masuda y en una fecha cercana en Noruega; estos se basaban en un dispositivo anclado al fondo marino con una especie de boya de forma esférica que era la encargada de oscilar junto al movimiento provocado por las olas.

Como se ha mencionado previamente, uno de los grandes inconvenientes para la época de los primeros prototipos (con un único cuerpo oscilante) era la viabilidad funcional y técnica, después de años de desarrollo salieron a la luz los sistemas oscilantes con dos cuerpos realizando el movimiento para la generación de energía de forma alternativa, mejorando así la viabilidad en los sentidos mencionados además del rendimiento del dispositivo. Así pues, los grandes prototipos pertenecientes a esta familia que se desarrollaron fueron el PowerBuoy y WaveStar.

POWERBOUY

Desarrollado por la empresa norteamericana Ocean Power Technologies, fundada en el 1984, el sistema PowerBouy es un sistema basado en la oscilación vertical compuesto de dos partes móviles, una que tiene tres boyas en forma triangular, para crear un flotador lo más estable posible, y un mástil que pasa por el centro ortogonal formado por el triángulo de boyas mencionado.

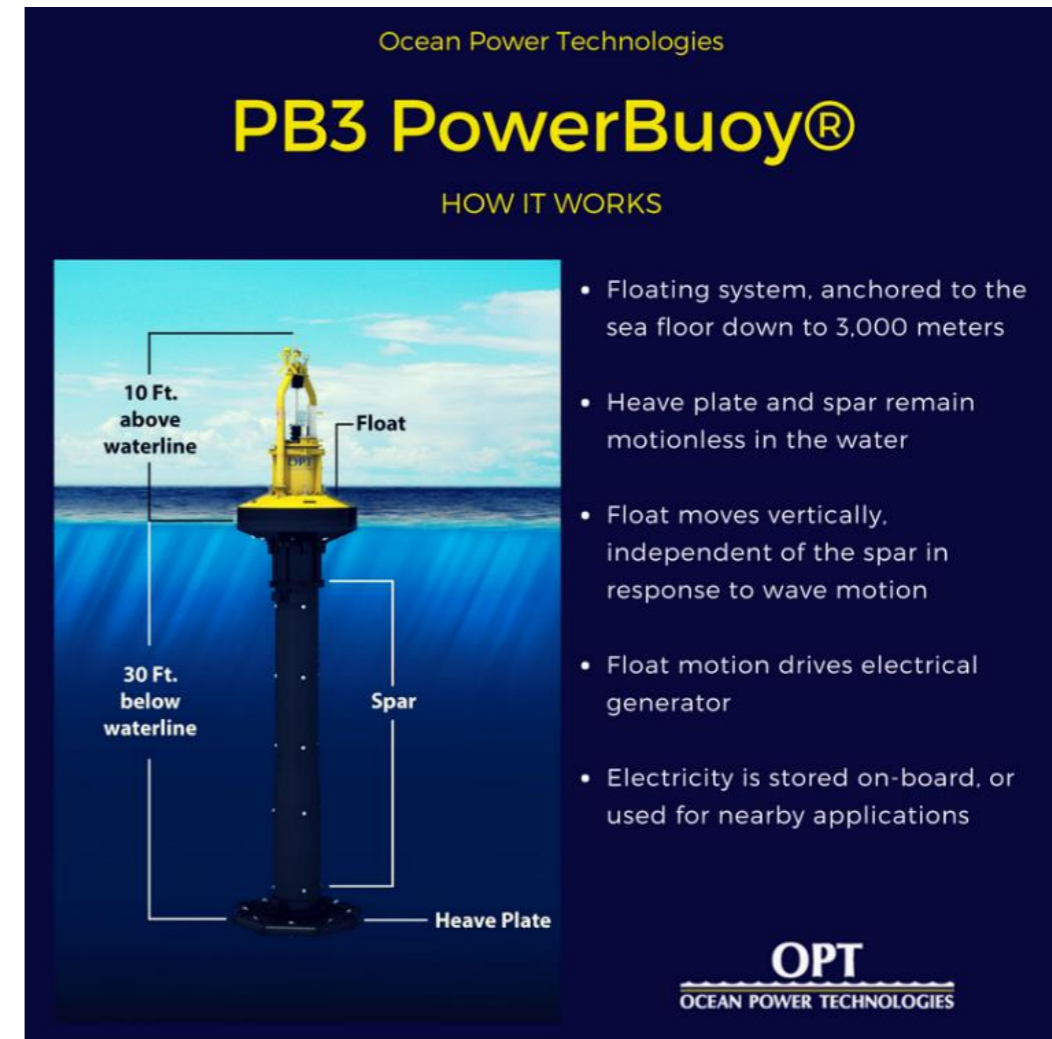


Figura 2. Esquema del sistema PowerBuoy de OPT [26]



Figura 3. Sistema PowerBuoy in situ [26]

En cuanto a datos y características, este sistema es capaz de funcionar en un rango muy amplio de profundidades, desde los 20 metros hasta 3000 metros, con una altura de unos 13 metros aproximadamente y un diámetro de mástil de 1 metro [26]. Por otra parte, su forma de convertir la oscilación vertical en energía se basa en un mecanismo de cilindros hidráulicos bombeando fluido llegando a almacenar energía en cortos periodos de tiempo lo que resulta un punto a favor para aquellas variaciones de energía del oleaje por la irregularidad de este. En cuanto a la producción de energía es difícil de estimar principalmente porque los datos de dicho rendimiento son privados de la empresa que los fabrica así que lo más idóneo es intentar aproximar su rendimiento con otro sistema que puede llegar a funcionar de una forma similar. De todas formas, algo a remarcar de este sistema es la gran durabilidad de los mismos demostrado empíricamente en el 2011 cuando el huracán Irene afectó a toda la costa Este de Norteamérica incluyendo, lógicamente la costa de Nueva Jersey, de donde tiene origen la empresa que fabrica estos dispositivos. Fue en la costa mencionada donde se instalaron estos sistemas y tras el temporal con olas de hasta 9 metros no sufrieron ningún daño además de que fueron capaces de funcionar perfectamente.

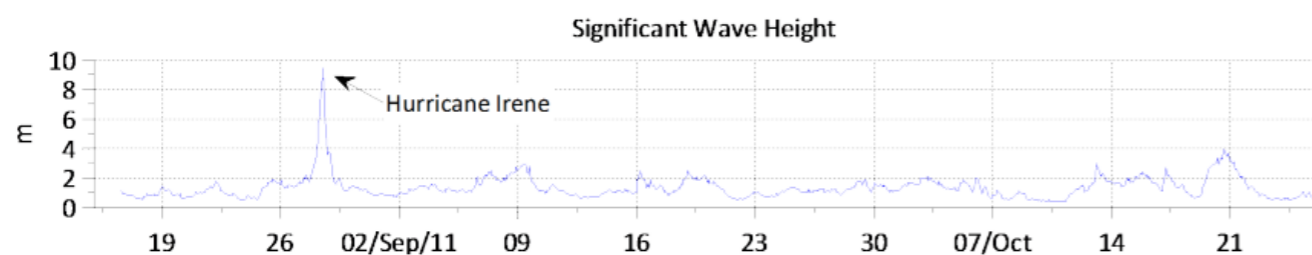
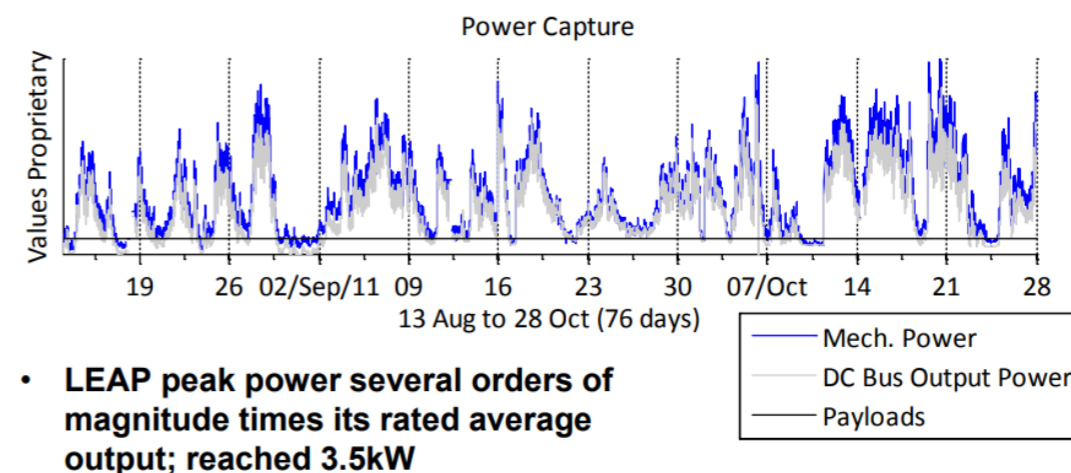


Figura 4. Altura de ola durante el Huracán Irene [26]



- **LEAP peak power several orders of magnitude times its rated average output; reached 3.5kW**

Gráfica 5. Output de Potencia por el Powerbuoy. Fuente: Empresa OPT [26]

Como se puede ver en la ilustración anterior, la empresa (Ocean Power Technologies) ofrece al público un gráfico con la potencia generada durante el periodo de tiempo en el que afectó el huracán, pero no aporta los datos numéricos lo único de lo que informan es que su promedio nominal de producción alcanzó los 3.5 kW [26].

WAVESTAR

En total existen únicamente tres prototipos de este sistema, consiste en una serie de flotadores unidos a una estructura que con el movimiento del oleaje hace oscilar estos flotadores haciendo rotar un eje horizontal fijado a una estructura anclada al fondo marino mediante cuatro pilas.



Figura 5. Sistema flotante WaveStar

Es importante mencionar que cuando existe un fuerte temporal o ausencia de oleaje, tal y como se puede observar en la Fig. 5, se suelen levantar los flotadores para evitar un funcionamiento innecesario puesto que no van a generar el rendimiento esperado, además de alargar su vida útil.



Figura 6. Prototipo del sistema WaveStar.

Fue puesto en marcha por primera vez en Dinamarca por la Universidad de Aalborg [33] en el año 2004 y se estuvieron recogiendo datos durante un año completo. En las pruebas realizadas en Roschage con una escala 1:2 se detectó una potencia de 600 kW y que además doblando el tamaño de esta la potencia obtenida es capaz de ascender once veces la ya mencionada. EL sistema WaveStar es idóneo para zonas costeras poco profundas, del estilo de 15 metros. Otra ventaja de este dispositivo es que la energía mecánica producida por la ola se transfiere directamente al generador a través de un sistema de engranajes por lo que las pérdidas son muy pequeñas. En la Fig. 7 se detalla un esquema del funcionamiento.

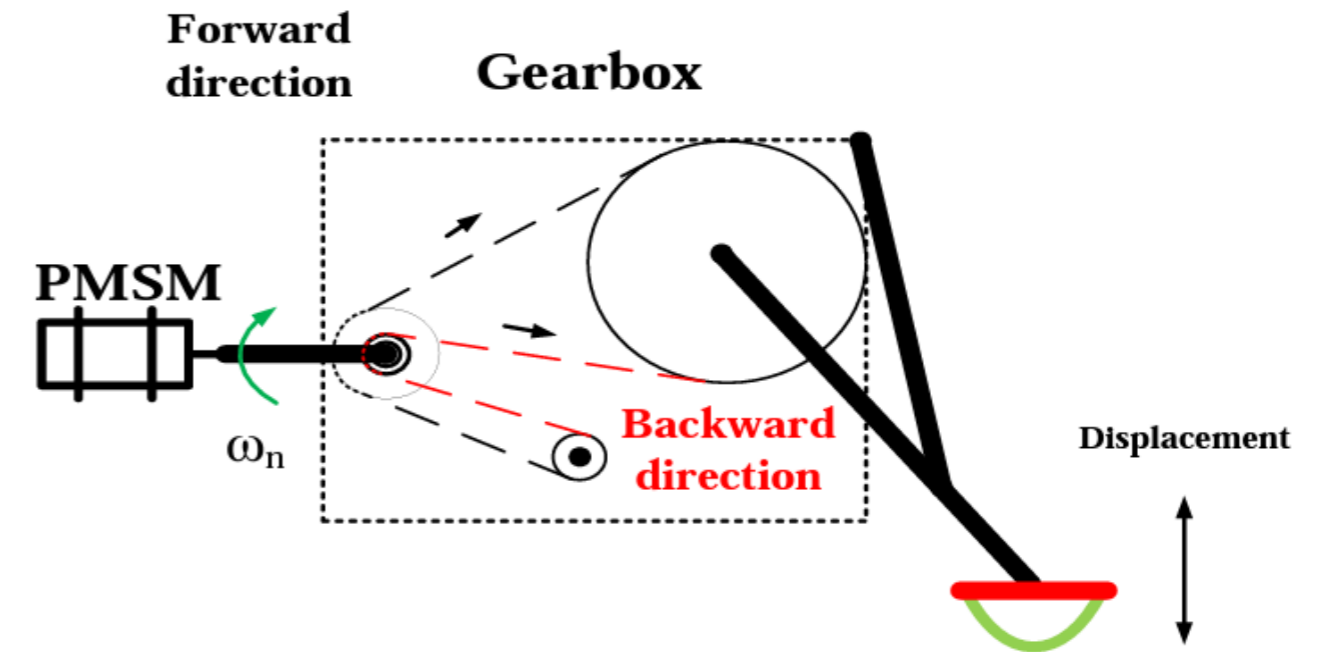


Figura 7. Esquema de funcionamiento del WaveStar [33]

PELAMIS

En primer lugar, este tipo de sistema está anclado al fondo marino y se basa en la rotación de distintas partes del mismo dispositivo aprovechando los movimientos descendentes y ascendentes del oleaje. Básicamente, se podría decir que es un flotador cilíndrico semisumergido y articulado cada 4 metros, donde en su interior se encuentran los cilindros con la capacidad de rotar alrededor de los dos ejes horizontales provenientes de los flotadores adyacentes. Se genera energía gracias a los sistemas hidráulicos de dichos cilindros los que bombean fluido a los acumuladores de alta presión.



Figura 8. Sistema Pelamis.

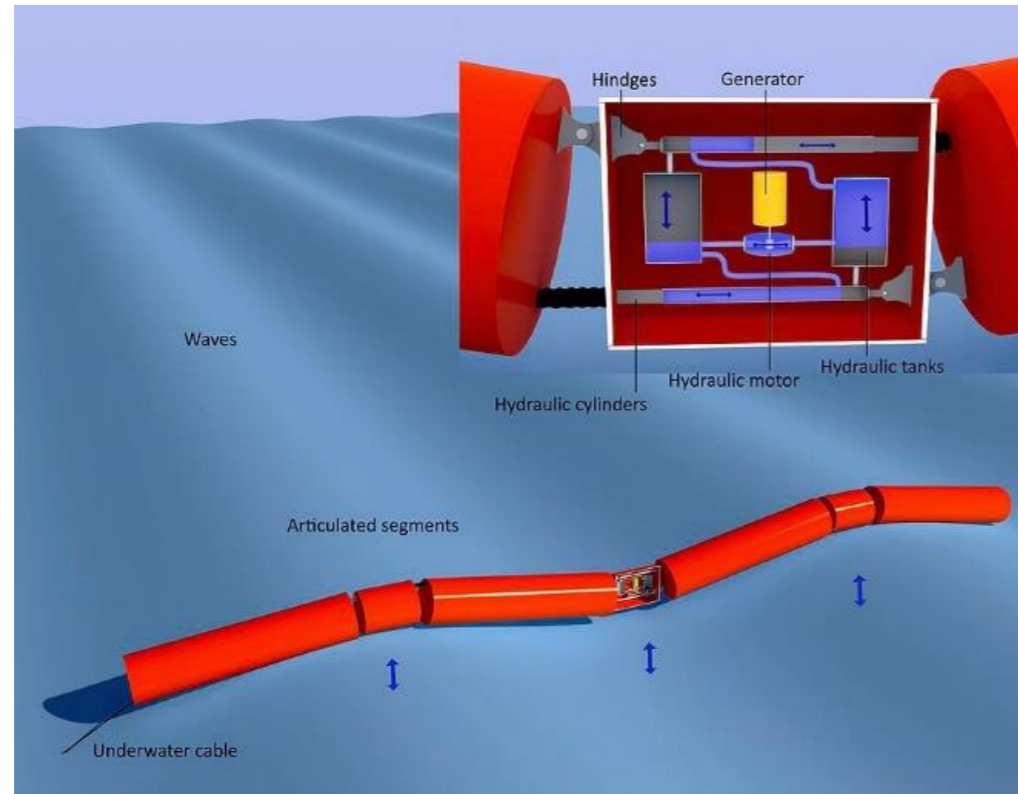


Figura 9. Funcionamiento del sistema Pelamis.

Pelamis	T_w [s]																
	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0
0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	0	22	29	34	37	38	38	37	35	32	29	26	23	21	0	0	0
1.5	32	50	65	76	83	86	86	83	78	72	65	59	53	47	42	37	33
2	57	88	115	136	148	153	152	147	138	127	116	104	93	83	74	66	59
2.5	89	138	180	212	231	238	238	230	216	199	181	163	146	130	116	103	92
3	129	198	260	305	332	340	332	315	292	266	240	219	210	188	167	149	132
3.5	-	270	354	415	438	440	424	404	377	362	326	292	260	230	215	202	180
4	-	-	462	502	540	546	530	499	475	429	384	366	339	301	267	237	213
4.5	-	-	544	635	642	648	628	590	562	528	473	432	382	356	338	300	266
5	-	-	-	738	726	731	707	687	670	607	557	521	472	417	369	348	328
5.5	-	-	-	760	750	750	750	750	737	667	658	586	530	496	446	395	355
6	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	711	633	619	558	512	470	415
6.5	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	750	743	658	621	579	512	481
7	-	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	750	750	676	613	584	525
7.5	-	-	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	750	750	686	622	593
8	-	-	-	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	750	750	690	625

Tabla 2. Matriz de potencia del sistema Pelamis [6]

2.2.1.2 SISTEMAS SUMERGIDOS

Dentro de los sistemas sumergidos podemos diferenciar dos familias, los sumergidos basados en la rotación (Oyster) y los sumergidos basados en la oscilación vertical (AWS).

OYSTER

El dato curioso de este dispositivo es que para que tengan buen rendimiento requieren ser situados en zonas de poca profundidad, en torno a los 15 metros concretamente. Su funcionamiento consiste en el movimiento rotatorio que posee una pala articulada adherida a la estructura anclada al fondo. Las palas mencionadas tienen una dimensión de 18x10 metros y, similar al sistema Pelamis ya comentado, el movimiento de la pala acciona los cilindros hidráulicos que bombean fluido a altas presiones generando así electricidad.



Figura 10. Dispositivo Oyster [5]

A día de hoy, únicamente existe una generación de este tipo de sistemas, llamados "P1"; se instaló una granja de estos dispositivos con las siguientes características [14]:

- Longitud: 120 m
- Diámetro: 3,5 m
- Peso: 700 T
- Potencia: 750 kW

La segunda generación de este sistema está actualmente en investigación y como es de esperar la denominan "P2" y posee unas características parecidas a la generación "P1" pero con el objetivo de mejorar el rendimiento del sistema. Algunas de las características son las siguientes:

- Longitud: 180 m (5 grupos de 36 m)
- Diámetro: 4 m
- Peso: 1300 T
- Potencia: misma potencia, pero mejorar el rendimiento hasta un 40%

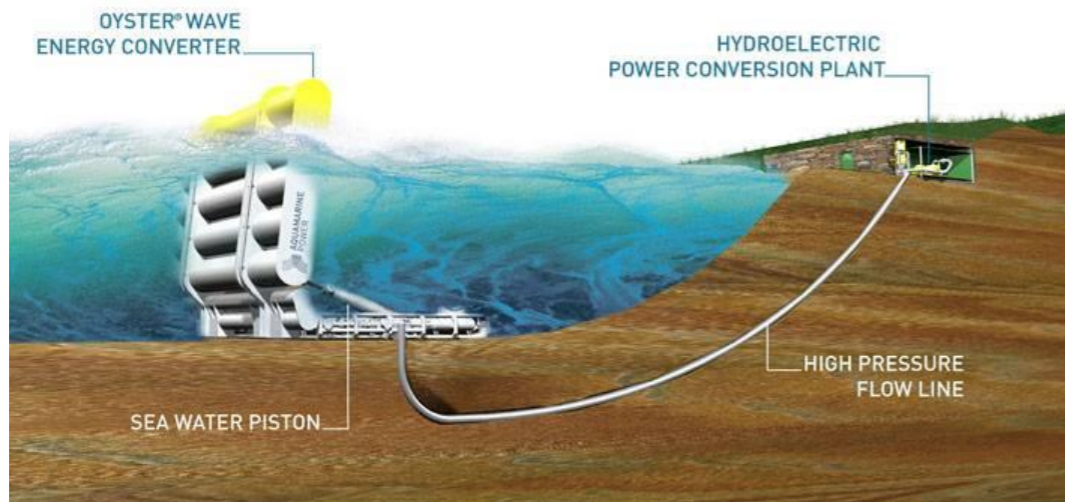


Figura 11. Funcionamiento del dispositivo Oyster [5]

Al igual que en el sistema Pelamis, su matriz de potencia en la que se identifica la salida de potencia en kW según la altura de ola y periodo se ve reflejado en la Tabla 3.

Oyster		T_p [s]								
		5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0
H_{inc} [m]	0.5	0	0	0	0	0	0	1	3	3
	1	20	30	38	42	44	44	45	47	45
	1.5	80	85	92	97	102	103	104	100	104
	2	140	147	152	158	155	155	160	161	156
	2.5	192	197	208	202	203	209	211	201	204
	3	241	237	237	241	243	230	236	231	235
	3.5	-	271	272	269	268	267	270	260	260
	4	-	291	290	290	280	287	276	278	277
	4.5	-	291	290	290	280	287	276	278	277
	5	-	-	290	290	280	287	276	278	277
	5.5	-	-	290	290	280	287	276	278	277
6	-	-	290	290	280	287	276	278	277	

Tabla 3. Matriz de potencia del sistema Oyster [6]

AWS (ARCHIMEDES WAVE SWING)

Idóneo para profundidades entre 40 y 100 metros este sistema consiste en un flotador cilíndrico lleno de aire (huevo en su interior) que es capaz de oscilar verticalmente respecto a la estructura fija anclada al fondo marino la cual por supuesto forma parte del sistema. Cuando una ola pasa por encima del dispositivo, la superficie del mar varía y por tanto se produce una diferencia de presión del aire encerrado en el flotador provocando el ascenso del flotador y su posterior descenso cuando la ola continúa con su recorrido dejando atrás el dispositivo. Este movimiento acciona un generador en el interior del sistema provocando de esta forma electricidad.

Actualmente existen gran variedad de prototipos, pero todos ellos en desarrollo, como en el 2004 en Portugal que se instaló una granja de 2 MW de estos dispositivos teniendo cada uno de los mismo una potencia de 350 kW. Sin embargo, para poder obtener un rendimiento óptimo de este dispositivo es preciso tener alturas de ola significante en torno a los 6 metros y periodos de aproximadamente 12 segundos.

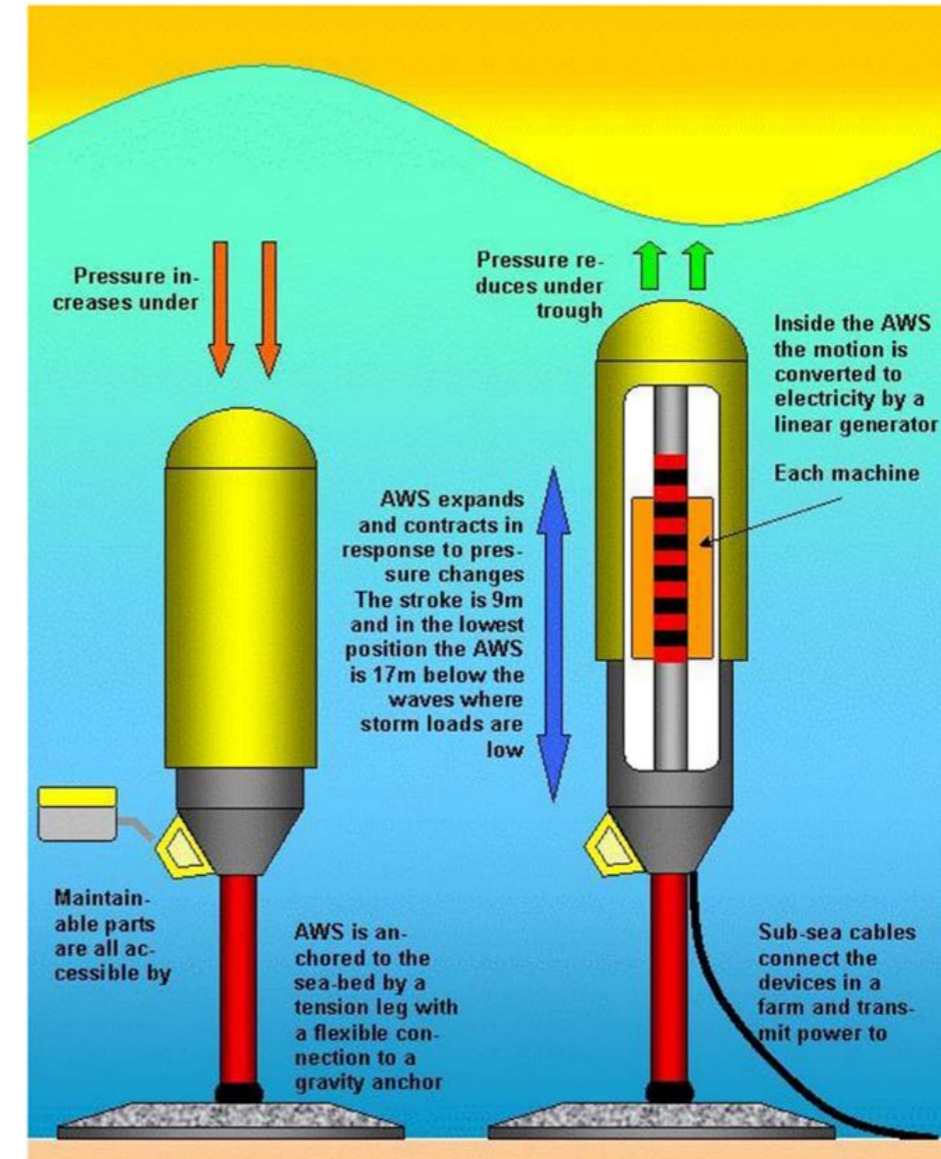


Figura 12. Sistema AWS.

2.2.2 SISTEMAS DE COLUMNA DE AGUA OSCILANTE

2.2.2.1 ESTRUCTURA FIJA

A continuación, se va a comentar quizá uno de los sistemas más interesantes en cuanto a funcionamiento dado que, al contrario de los sistemas basados en la oscilación que extraen del movimiento del oleaje directamente con el contacto del agua para accionar un sistema hidráulico, este sistema emplea la compresión y succión que es capaz de generar la oscilación del oleaje en el interior de una cámara. Concretando más a fondo sobre estos tipos de sistema, los sistemas de columna de agua oscilante o en inglés denominadas Oscillating Water Column (OWC) presentan varias cámaras que inciden en la superficie del mar creando un espacio de aire en su interior estanco. El oleaje al incidir en la estructura provoca el movimiento ascendente del nivel del agua en el interior haciendo que el aire se comprima y, es precisamente esa presión del aire la que se aprovecha para accionar la turbina, encargada de la producción de energía eléctrica. Por otra parte, cuando la ola abandona la estructura hace que el nivel de agua en el interior de la cámara descienda, lo que provoca un efecto de succión capaz de accionar nuevamente la turbina y por tanto volver a generar energía.

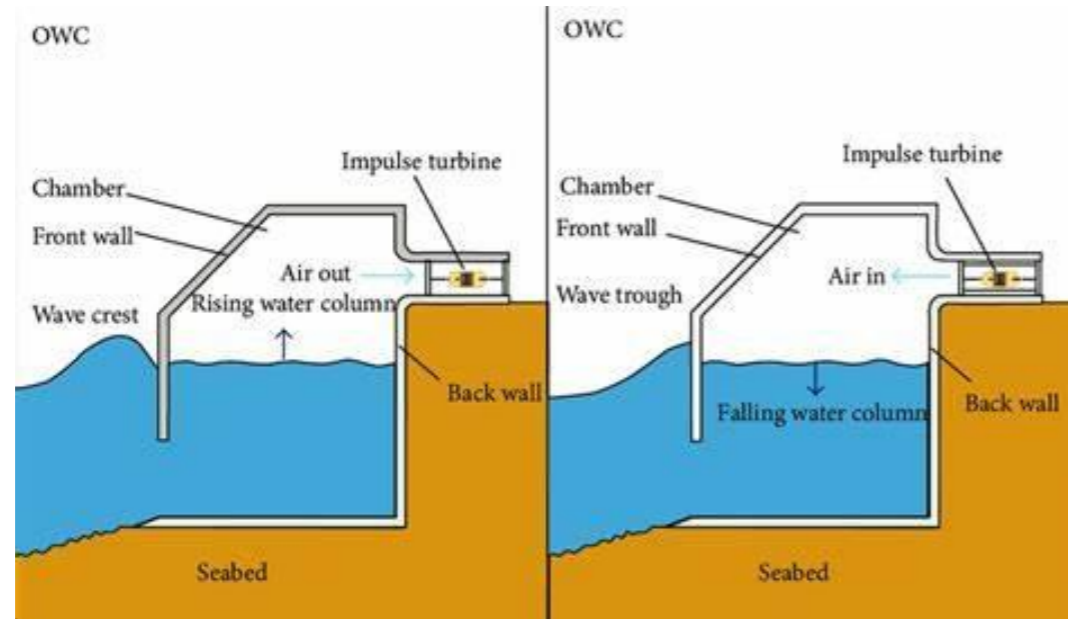


Figura 13. Funcionamiento del sistema OWC. [33]

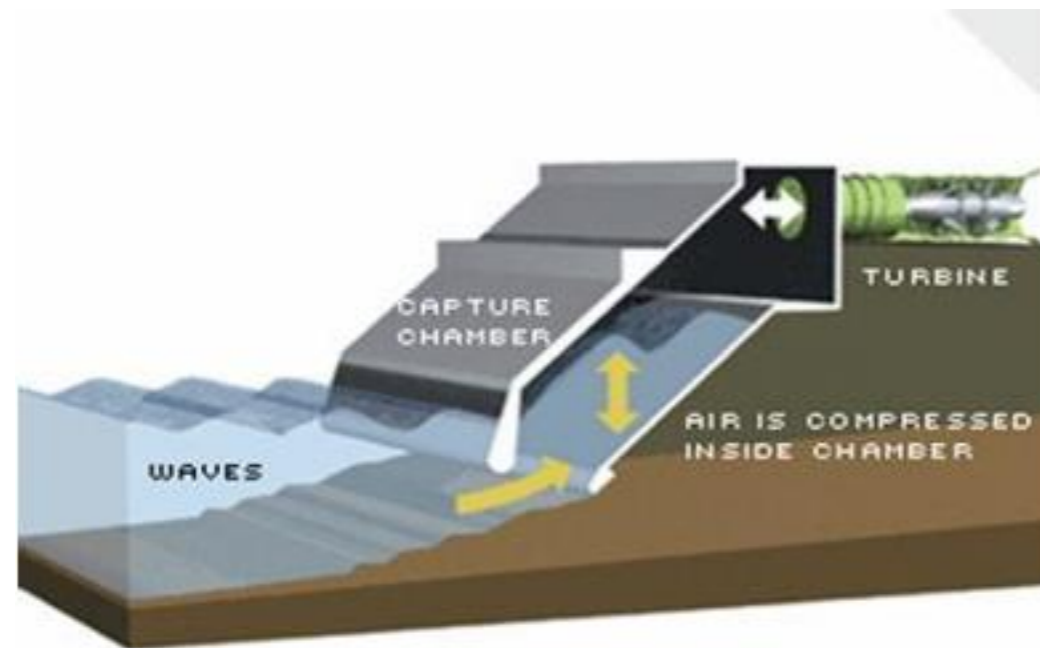


Figura 14. Esquema 3D del funcionamiento del sistema OWC [33]

La principal ventaja que tienen a su favor esta clase de sistemas es la sencillez, ya que no necesitan partes móviles ni todos los problemas de mantenimiento que necesitan dichas partes, presentando así indirectamente una vida útil muy larga comparado con otros sistemas. Sin embargo, no llegan a obtener grandes rendimientos.

2.2.2.2 ESTRUCTURAS FLOTANTES (Mighty Whale)

Aunque existen modelos fijos y flotantes (offshore) que llegan a obtener gran versatilidad a la hora de aprovechar la energía del oleaje, pero siendo los primeros los más eficientes. Se podría afirmar que es un dispositivo terminador, es decir, tiene su eje principal paralelo al frente de la ola incidente, interceptan físicamente a las olas. Este tipo de sistemas ha sido ensayado tanto como modelo como prototipo en escala real. Las dimensiones de la estructura que necesita son de 50 metros de eslora, 30 metros de manga y 8 metros de puntal. Un peso aproximadamente de 1000 toneladas, con una potencia de 110 kW en profundidades de 40 metros.

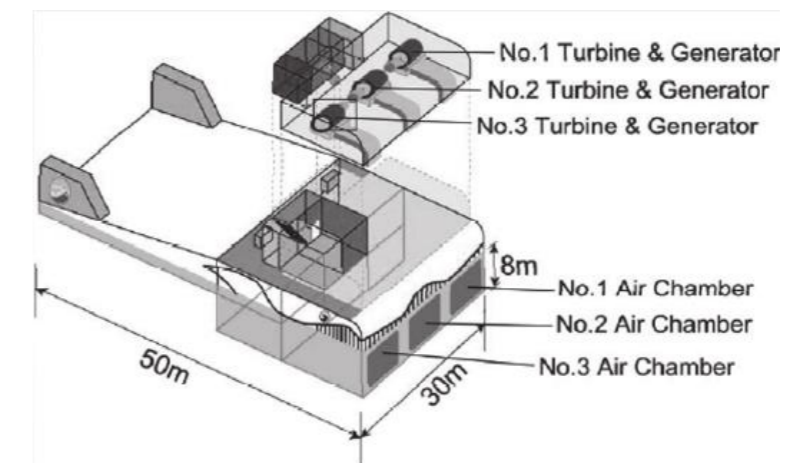


Figura 15. Dimensiones de la estructura Mighty Whale.

Los ensayos comenzaron en el año 1998 en Japón donde la altura de ola y el periodo eran 1 m y entre 5 y 8 segundos respectivamente, el output de potencia que se obtuvo fue de 7 kW lo cual significa una eficiencia global del 15% con una producción media de 85 kWh. Para sacar la potencia mencionada el sistema dispone de 3 turbinas Wells con las siguientes características individualmente por turbina:

- Potencia: 30 kW
- Velocidad de rotación: 2000 rpm
- Número de palas por hélice: 8
- Diámetro exterior: 2.3 m
- Diámetro del eje: 1.2 m
- Ángulo de ataque: 15 grados
- Eficiencia: 47%

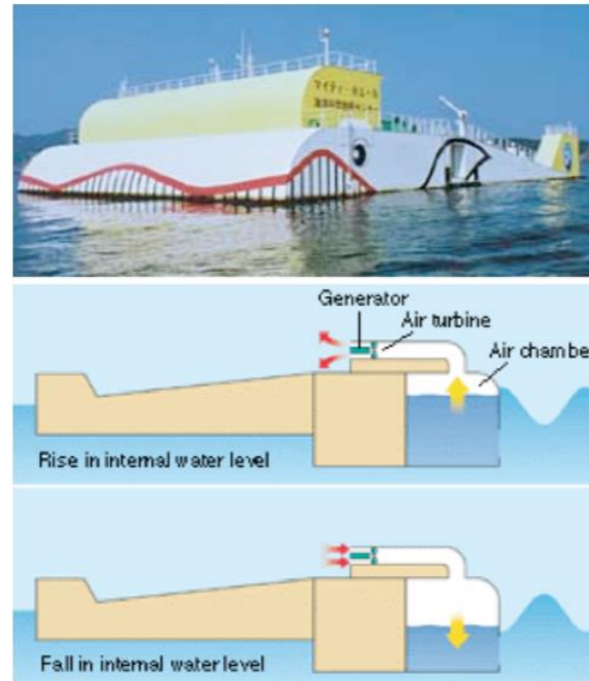


Figura 16. Funcionamiento del sistema Mighty Whale.

2.2.3 SISTEMAS BASADOS EN EL REBASE

Lo que diferencia a este tipo de sistemas del resto de sistemas es que emplean la energía potencial de las olas para generar electricidad. Se consigue aprovechando el movimiento de la ola para almacenar agua y que esta se sitúe a una altura mayor de la que estaba con respecto al nivel del mar. Lo principal que se puede destacar de esta clase de sistemas tanto fijos como flotantes es el bajo mantenimiento que necesitan además de la gran durabilidad que presentan frente a temporales.

2.2.3.1 ESTRUCTURA FIJA (TAPCHAN)

Prácticamente coetáneo con el prototipo de OWC de Yoshio Masuda ya comentado, en 1985 se fabricó el primer prototipo de convertidor de energía basado en el rebase con una estructura fija, denominado TAPCHAN proveniente de las palabras en inglés TAPered CHANnel. Fue en unas islas noruegas situadas al noroeste de Bergen por la empresa Norwave.

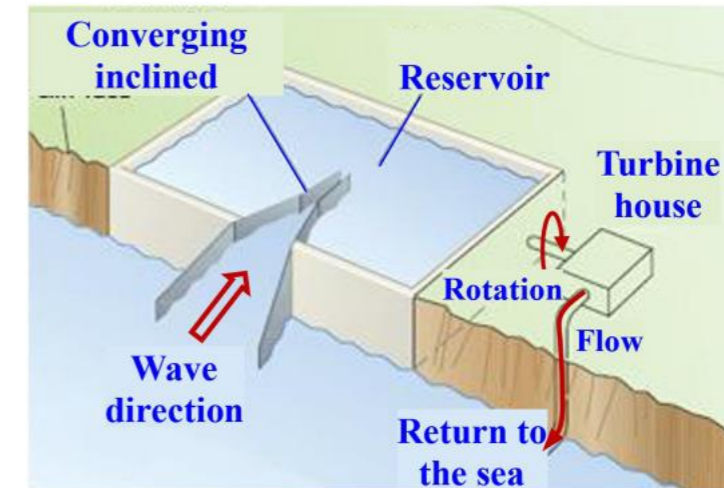


Figura 17. Sistema TAPCHAN.

Gracias a la imagen anterior, se puede hacer una idea del mecanismo del sistema, el canal que sobresale fuerza a las olas a pasar por el mismo siendo preciso destacar como este se estrecha provocando que la altura de la ola entrante aumente hasta que las crestas llegan al tope de los muros del depósito, hasta unos 3 metros sobre el nivel del mar. Una vez la ola rebosa trasvasa al depósito y por propia diferencia de alturas con respecto del nivel del mar el agua es transportada de nuevo al mar haciéndola pasar por una turbina Kaplan consiguiendo así 350 kW.

Aproximadamente las dimensiones de los prototipos que obtuvieron buenos resultados en cuanto a rendimiento son las siguientes [17]:

- Boca del canal: 40 metros
- Muros del canal sobre el prototipo: 10 metros
- Longitud: 170 metros

Como se puede deducir, el concepto de este sistema es muy simple además de que más allá de la propia turbina, no posee partes móviles ya que como ha sucedido con otros sistemas, esto significa una gran ventaja por sus bajos costes de mantenimiento y alta fiabilidad. Lo que si hay que tener en cuenta es que este sistema es totalmente dependiente de que los niveles entre el depósito y el propio nivel del mar sean constantes precisamente para mantener el flujo de agua y, por ello el funcionamiento de la turbina constante; ya que es cuando esta obtendrá un mayor rendimiento.

Un aspecto notable sobre este tipo de sistemas son las dimensiones que estos requieren, sin ir más lejos la longitud del prototipo descrito (170 metros). Esto conlleva unos costes constructivos elevados. Por ello, la empresa Norwave, creadora de dicho prototipo durante la década de los 90 trató de reducir estos costes de distintas formas. Entre estas formas se destaca el esquema para la predicción de las olas, lo que permite a la turbina salidas más elevadas antes de que se alcancen olas más grandes de tal forma se reduce el nivel del agua en el depósito y, así tener la libertad de diseñar depósitos más reducidos y por tanto menores costes de construcción.

Los principales requisitos para que el TAPCHAN pueda ser explotado económicamente es necesario lo siguiente:

- Buen clima de oleaje
- Aguas profundas cercanas a la costa (acantilados)
- Pequeño régimen de mareas, menores a 1 metro

- Que las propiedades del medio faciliten la obra, puesto que va a ser de grandes dimensiones

2.2.3.2 ESTRUCTURA FLOTANTE (Wave Dragon)

Este dispositivo, al igual que el mencionado previamente, funciona de una manera muy similar jugando con la velocidad de las olas para hacer que la cantidad de agua que se transporta ascienda su nivel respecto del nivel del mar empleando así la energía potencial para hacer funcionar una turbina Kaplan y generar electricidad.

El primer prototipo con el que se hicieron una serie de pruebas para comprobar su rendimiento fue en marzo de 2003 en Dinamarca, concretamente en el fiordo Nissum Bredning. Este prototipo emplea dos grandes reflectores para ayudar a concentrar las olas a la parte central donde la ola será capaz de ascender por la rampa hasta el depósito y ahí obtener la energía potencial gracias a la diferencia respecto al nivel del mar. El prototipo precisó de una inversión de 1 millón de euros más 5 millones para su construcción y posicionamiento definitivo [17]. Sin embargo, existen dos inconvenientes para saber el verdadero coste de este tipo de dispositivos por dos principales motivos. El primero es que el dinero invertido para el desarrollo e investigación fue muy alto principalmente por ser el primero jamás colocado y puesto en funcionamiento, por lo que se espera que su coste final sea menor debido a que cuando este llegue a una fase comercial ya no será necesario ese incremento de coste por investigación. El segundo motivo es que el prototipo construido en Dinamarca fue a escala, esto significa que la construcción y el posicionamiento del dispositivo conllevaría costes mayores.

Presenta las siguientes características [14]:

- Ancho: 58 m
- Longitud: 33 m
- Potencia nominal: 20 kW
- Peso: 261 t
- Altura: 2-3 metros sobre el nivel del mar
- Turbina: Kaplan de baja presión
- Rango de oleaje óptimo: 4,5 y 8 metros

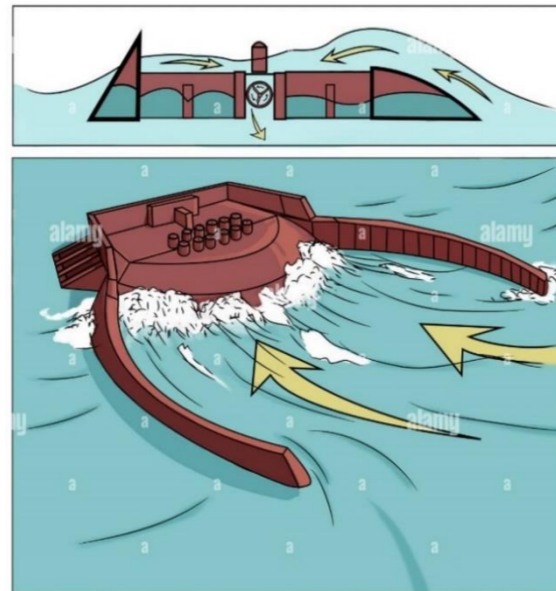


Figura 18. Croquis del funcionamiento del dispositivo Wave Dragon.

El dispositivo consta de tres elementos principales (Fig. 17):

- **Dos deflectores de onda** que van unidos a la plataforma central cuya función es la de enfocar las olas entrantes al dispositivo para que entren de la forma más directa a la rampa. Dichos reflectores poseen el efecto verificado de aumentar la altura de ola significativa y, por tanto, aumentar la captura de energía en un 70% en base a la ola que normalmente pueda haber en la zona se precise el dispositivo.

- **La plataforma principal** compuesta por un depósito flotante y la ya mencionada rampa curvada orientada a la dirección de la que proceden las olas.
- **Conjunto de turbinas de agua Kaplan** que en próximo apartado 2.3.1 “Turbina de agua” será explicado su funcionamiento.

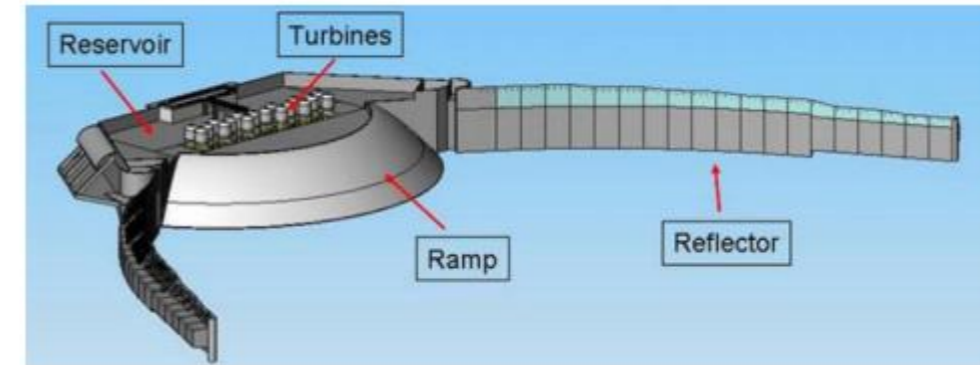


Figura 19. Diseño del dispositivo WaveDragon [10]

Significant Wave Height -Hm0(m)	Wave Period - Te (s)																					
	4.0	4.5	5	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	203	276	348	432	516	608	699	798	896	925	953	958	962	941	919	870	820	742	663	555	446	
1.5	412	448	485	617	750	899	1049	1212	1375	1433	1491	1509	1527	1502	1477	1404	1332	1209	1086	912	737	
2	621	621	621	802	983	1191	1398	1626	1853	1941	2029	2061	2092	2063	2034	1939	1844	1677	1509	1269	1028	
2.5	1123	1123	1123	1213	1304	1609	1914	2258	2602	2752	2903	2972	3041	3017	2993	2868	2743	2504	2266	1910	1555	
3	1624	1624	1624	1624	1624	2027	2430	2890	3350	3563	3776	3883	3989	3970	3951	3796	3641	3332	3022	2552	2082	
3.5	2581	2581	2581	2581	2581	2783	2984	3588	4191	4494	4796	4870	4945	4935	4926	4845	4765	4374	3983	3372	2761	
4	3538	3538	3538	3538	3538	3538	3538	4285	5032	5424	5816	5858	5900	5900	5900	5895	5889	5416	4943	4191	3439	
4.5	4719	4719	4719	4719	4719	4719	4719	5093	5466	5662	5858	5879	5900	5900	5900	5897	5895	5658	5423	4822	4222	
5	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900
5.5	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900
6	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900
6.5	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900
7	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900
7.5	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900
8	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900

Tabla 4. Matriz de potencia del sistema WaveDragon [7]

2.3 MÉTODOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

A lo largo de los apartados anteriores se ha comentado el funcionamiento mecánico de los distintos dispositivos que existen, pero en algunas de estas descripciones únicamente se han nombrado la forma que tienen de transformar la energía mecánica producida por el oleaje en electricidad. El presente apartado tiene como intención describir brevemente que métodos se emplean para dicha conversión de energía.

Los tipos más comunes que se utilizan son las turbinas de agua, turbinas de aire y los motores hidráulicos de alta presión. Se trata de una de las partes más importantes de todo sistema de energía undimotriz debido a que es la que acumula más porcentaje de fallos.

2.3.1 TURBINA DE AGUA

Esta clase de turbinas se pueden clasificar en dos subgrupos que son las de alta altura y las de baja altura. Siendo las últimas las utilizadas para los sistemas basados en el rebase. Una de sus mayores ventajas es la versatilidad que presentan por la posibilidad de ajustar el número de palas de la turbina en función del caudal que pase y la potencia requerida.



Figura 20. Turbina Kaplan [39]

En la Fig. 20 se observa una turbina Kaplan que como se ha comentado en el estado del arte, existen varios de los dispositivos estudiados que precisan de esta clase de turbinas, como es el caso del WaveDragon y TAPCHAN.

Por otra parte, existen las turbinas de gran altura o tipo Pelton que se emplean en sistemas basados en la oscilación, siendo esta una alternativa más económica que los motores de alta presión.

2.3.2 TURBINAS DE AIRE

Se trata de uno de los primeros tipos de turbinas en instalarse en dispositivos de energía undimotriz, pero no fue hasta el desarrollo de las turbinas de aire bidireccionales que no se alcanza un rendimiento competitivo con el resto mecanismos de conversión. La turbina de aire bidireccional recibe el nombre “Wells” por el Doctor Alan Wells que invento en la década de los setenta dichos mecanismos basándose en una turbina de flujo axial con las palas colocadas en posición perpendicular al flujo del aire. Normalmente son utilizadas en los sistemas OWC como en la central undimotriz de Mutriku.

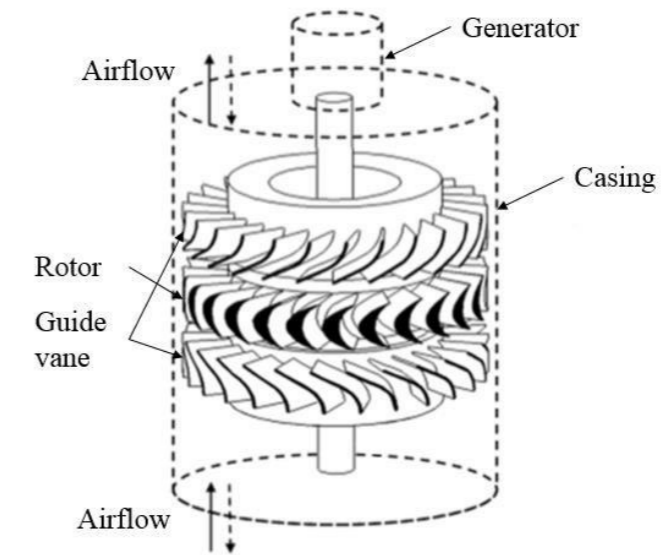


Figura 21. Turbina Wells [21]

Las ventajas de las turbinas Wells son las siguientes:

- Elevada relación entre pala-flujo, es decir, con pequeños flujos de aire se alcanzan altas velocidades de rotación
- Bajos costes de fabricación e instalación
- Alta eficiencia

Sin embargo, también presentan desventajas:

- En flujos pequeños se dan pares bajos
- Ruido
- Caídas bruscas de potencia por pérdidas aerodinámicas

2.3.3 MOTORES HIDRÁULICOS DE ALTA PRESIÓN

Estos mecanismos se dan en los sistemas basados en la oscilación principalmente por su efectividad en la conversión de energía generada por momentos y fuerzas elevadas, es decir, los movimientos que se dan en los sistemas mencionados. Puestos que estos motores necesitan una frecuencia constante del oleaje para alcanzar rendimientos competitivos, los sistemas albergan acumuladores que son depósitos de gas cuya labor es la de almacenar la energía para contrarrestar los periodos irregulares del oleaje. El gas mencionado se trata de nitrógeno y este mediante un pistón libre se separa del fluido. La elevada presión en el fluido provoca la compresión del gas admitiendo de esta manera más fluido en la cámara. Posteriormente, cae la presión, se expande el gas y el fluido vuelve al circuito. Como es de esperar la caída de presión repentina conlleva un peligro de cavitación por lo que para evitar dicho peligro se mantiene una presión positiva en el depósito de forma constante.

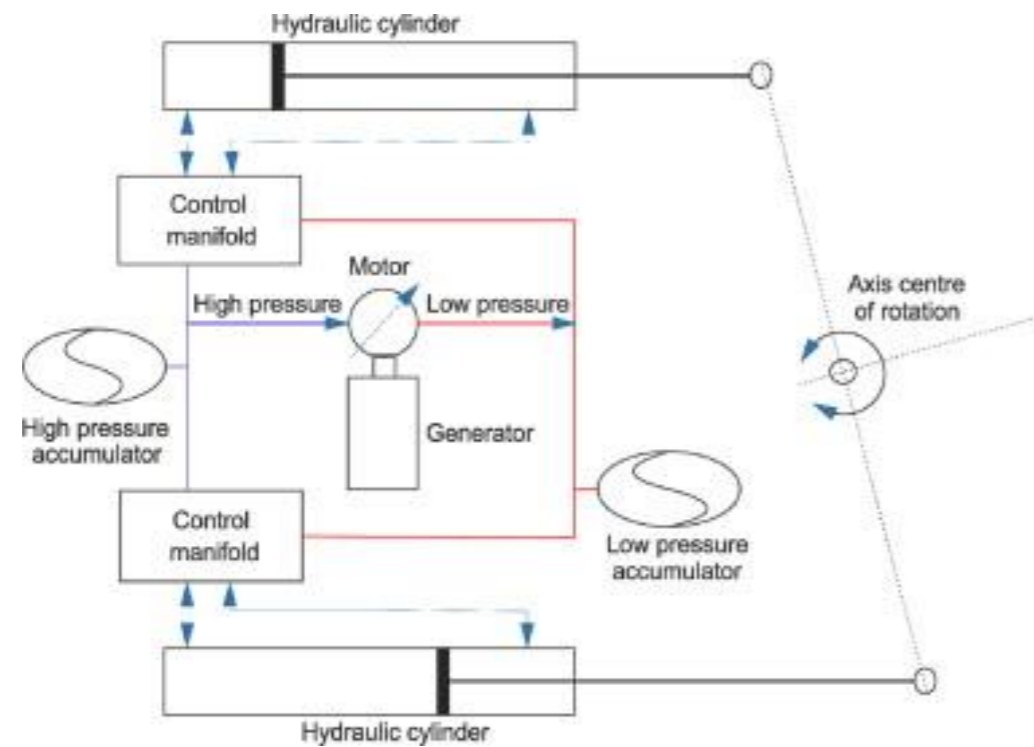


Figura 22. Esquema de un motor hidráulico de alta presión de un dispositivo Pelamis [8]

La principal desventaja que presentan son las pérdidas de fluido que se pueden dar en las distintas partes, lo que supondría una pérdida de presión en una parte concreta del sistema y por tanto pérdida de rendimiento. Es por este motivo por el que los costes de mantenimiento de esta clase de motores son elevados.

2.4 ENERGÍA UNDIMOTRIZ EN ESPAÑA

Es muy importante recalcar, aunque escasa, la aportación de España a este tipo de energía renovable. Destacando principalmente las dos centrales con más rendimiento del país, la central de Mutriku en el País Vasco y la central de Santoña en Santander

2.4.1 CENTRAL UNDIMOTRIZ DE MUTRIKU (PAÍS VASCO)

Es la primera central de energía undimotriz en Euskadi y se diseñó de una forma muy eficiente puesto que, aprovechando un dique de abrigo ya construido, se modificaron 100 metros de la sección de este. Asimismo, es la primera del mundo en tener una configuración multiturbina. La tecnología empleada se denomina columna de agua oscilante, en inglés Oscilating Water Column (OWC) ya explicado su funcionamiento en el punto 2.3.2.

- Datos técnicos [14]:
 - Tecnología Wavegen-Voith Siemens Hydro Power Generation
 - Multiturbina (16x18.5 kW), 296 kW Potencia instalada
 - 600 MWh/año (consumo equivalente a 1000 personas)
 - 600 t CO² evitadas
 - Inversión 5.73 millones de euros



Figura 23. Central Undimotriz de Mutriku [28]

Inciendo en la descripción de lo que fue la obra civil de la infraestructura, la central se cimentó a 4,2 metros bajo el nivel del mar empleando una losa de hormigón armado de 0,8 metros y unos anclajes empotrados en roca de 1,5 metros con un diámetro de 25 milímetros. La estructura como tal está conformada por 140 piezas prefabricadas de hormigón armado HA-35 con un peso de cada una de ellas de aproximadamente 20 Tm. Por otra parte, la galería donde se ubican las turbinas son de hormigón *in situ* hasta una cota de 16,5 metros donde se encuentra la coronación del dique [28].

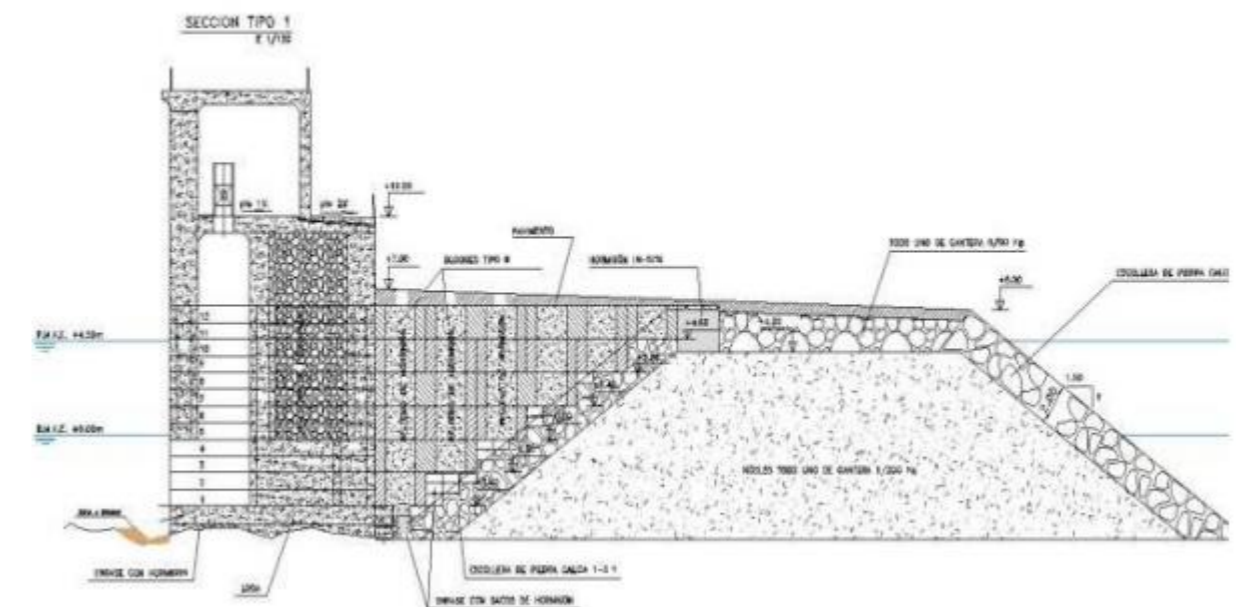


Figura 24. Sección de la Central Undimotriz de Mutriku [9]

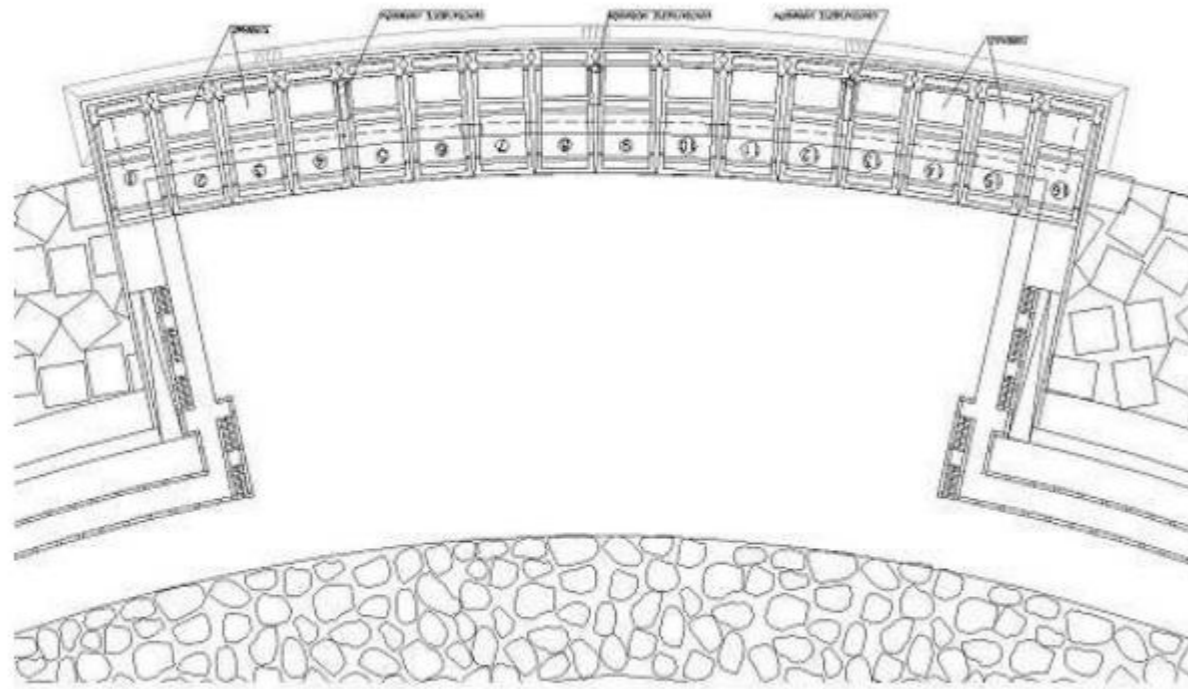


Figura 25. Planta de la Central Undimotriz de Mutriku [9]

El proceso de ejecución de las obras de la central fue la siguiente:

1. Dragado y enrase a cota -4,20 metros
2. Colocación de las armaduras para los anclajes y la losa de cimentación
3. Hormigonado de la losa de cimentación
4. Colocación de las piezas prefabricadas
5. Unión de la central con el dique

Fechas:

- Inicio de obras en 2005
- Finalización de obra dique: verano 2009
- Construcción turbinas: finales 2007
- Instalación turbinas: octubre 2008 – marzo 2009
- Puesta en marcha: marzo 2009

2.4.2 PLANTA UNDIMOTRIZ DE SANTOÑA (CANTABRIA)

Fue un proyecto proporcionado por Iberdrola Energías Marinas de Cantabria S.A. y a su vez participaron numerosas instituciones y empresas para poder llevarlo a cabo [14]:

- IBERENOVA: 60%
- Sociedad para el Desarrollo Regional de Cantabria (SODERCAN): 10%
- Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE): 10%
- Total (compañía francesa): 10%
- Ocean Power Technologies Inc.: 10%

En un principio la promotora, en este caso, Iberdrola planteaba situar 10 dispositivos PowerBuoy desarrollados por la empresa Ocean Power Technologies (OPT) los cuales ya han sido comentados previamente. Estos iban a estar sumergidos a una profundidad de 40 metros y a una distancia de la costa de alrededor de 2 kilómetros abarcando una superficie de 2000 km². Con todo el sistema organizado y suponiendo su pleno funcionamiento se esperaba una potencia de 1,39 MW mediante el modelo PowerBuoy PB40 más otras nueve boyas de 150 kW de potencia unitaria del modelo PowerBuoy PB150. El presupuesto asciende a 10.523.855 euros [29] pero finalmente tras situar un único dispositivo el proyecto fue abandonado.

Las principales ventajas que vendían los promotores era la seguridad, la durabilidad (recordar la prueba de durabilidad de estos prototipos, que fueron sometidos al temporal generado por el huracán Irene en la costa de Nueva Jersey y que resultaron ilesos) e impacto ambiental mínimo.

2.4.3 OTRAS CENTRALES DESTACABLES

Para ampliar la investigación y el estudio de este tipo de energía renovable no está de más comentar algunas de las centrales a destacar ya no solo en España. En Europa se puede destacar la central Okeanos de Póvoa de Varzim ubicada en Portugal y en Escocia, el sistema LIMPET 500 que también emplea el sistema de columna de agua oscilante. La central de Okeanos inaugurada en 2008 utilizaba tres convertidores de energía de olas Pelamis con una capacidad total instalada de 2,25 MW, el parque se clausuró dos meses después de la apertura oficial. Por otra parte, la LIMPET 500 fabricada por la empresa Wavegen situó, como ya se ha mencionado, en Escocia el primer dispositivo comercial de la clase de OWC en funcionamiento desde el año 2000 hasta el 2012. Fue al año siguiente cuando la empresa artífice de este proyecto cerró [40].



Figura 26. Dispositivo Pelamis de la central de energía undimotriz de Okeanos en Portugal [40]

2.5 COMPARATIVA

PARÁMETROS	SISTEMAS								
	Sistemas basados en la oscilación			Sistemas de columna de agua oscilante				Sistemas basados en el rebase	
	POWERBUOY (OPT-US)	WAVESTAR	PELAMIS	OYSTER	AWS	OWC (Mutriku)	MIGHTY WHALE	TAPCHAN	WAVEDRAGON (prototipo)
Ubicación	Offshore	Offshore/Nearshore	Offshore	Offshore	Offshore	Onshore	Nearshore	Onshore	Offshore
Captación	Cuerpo boyante	Cuerpo boyante	Cuerpo boyante	Cuerpo boyante	Efecto Arquímedes	-	OWC	Rebosamiento	Rebosamiento
Tamaño y Orientación	Absorbedor puntual	Absorbedor puntual múltiple	Atenuador	Absorbedor	Absorbedor puntual	Terminador	Terminador	Terminador	Terminador
Longitud (m)	14	70	120	18x10	-	440	50m eslora x 30 manga	170	33
Altura respecto nivel de mar (m)	4	10	Nivel del mar	2	-	-	8 puntal	3 a 7	2 a 3
Peso (T)	8,3	27,5	700	200	1300	-	1000	-	237
Diámetro mástil (m)	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Diámetro flotador (m)	2,65	24	3,5	-	9,5	-	-	-	-
Rango de oleaje óptimo (m)	-	1 a 4	5 a 8	2,5 a 4	5,5 a 6,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5
Turbina	-	-	-	-	-	Wells multiturbina	Wells	Kaplan	Kaplan de baja presión
Profundidad (m)	25 a 1000	15 a 20	50 a 70	12 a 15	43	-	<40	-	11 a 14
Potencia	50 kW (máxima)	600 kW	750 kW (máxima)	315 kW	2 MW (máxima)	296 kW	110 kW	0,5 MW - 300 MW	20 kW (máxima)
Factor de capacidad	30%	5,22%	0,32%	2%	3%	0,11%	-	2% - 4%	0,37%

Tabla 5. Comparativa de los sistemas de energía undimotriz. Fuente: Elaboración propia.

2.6 POSIBLES DESARROLLOS FUTUROS

A día de hoy, el principal desafío de la energía undimotriz es diseñar y construir un sistema o dispositivo que pueda producir la energía suficiente para que la inversión sea rentable y, a nivel ejecución que produzca energía con oleajes de entre 1 y 5 metros de altura significativa. Al mismo tiempo que este dispositivo pueda realizar la tarea mencionada que sea capaz de aguantar los temporales del clima, es decir, ser robustos ante olas de 10 metros. Otro desafío es la fiabilidad, esto consiste en que a lo largo de la vida útil del dispositivo va a recibir millones de movimientos producidos por las olas con periodos y alturas distintas por lo que hay que asegurarse que el sistema colocado a pesar de esta aleatoriedad de movimientos sea capaz de generar electricidad de la forma más continua posible.

En el panorama nacional, España apostará por la energía undimotriz en Mallorca donde se inaugurará la mayor central del país en Mallorca. La central empleará sistemas basados en la oscilación, se basa en un conjunto de grandes flotadores colocados en posiciones estratégicas para captar la oscilación del oleaje. Estos flotadores comprimirán y descomprimirán una serie de pistones hidráulicos conectados a un generador eléctrico produciendo 2 MW capaz de abastecer a 400 hogares de la isla. La empresa sueca Eco Wave Energy es la encargada de llevar a cabo la ejecución de la central mencionada.

3 SELECCIÓN DEL SISTEMA UNDIMOTRIZ PARA LA APLICACIÓN DEL PUERTO DE VALENCIA

Tras realizar una labor de documentación e investigación sobre toda clase de dispositivos y sistemas desarrollados para el aprovechamiento de la energía del oleaje hasta la fecha, en el presente apartado se pretenden analizar los posibles condicionantes que puedan dar la clave para poder escoger aquel sistema que mejor convenga para las condiciones del oleaje en la zona de Valencia.

3.1 RECURSO ENERGÉTICO DISPONIBLE

Al tratarse del mar Mediterráneo, en comparación con otros mares u océanos, perfectamente se puede afirmar que es un mar poco energético.

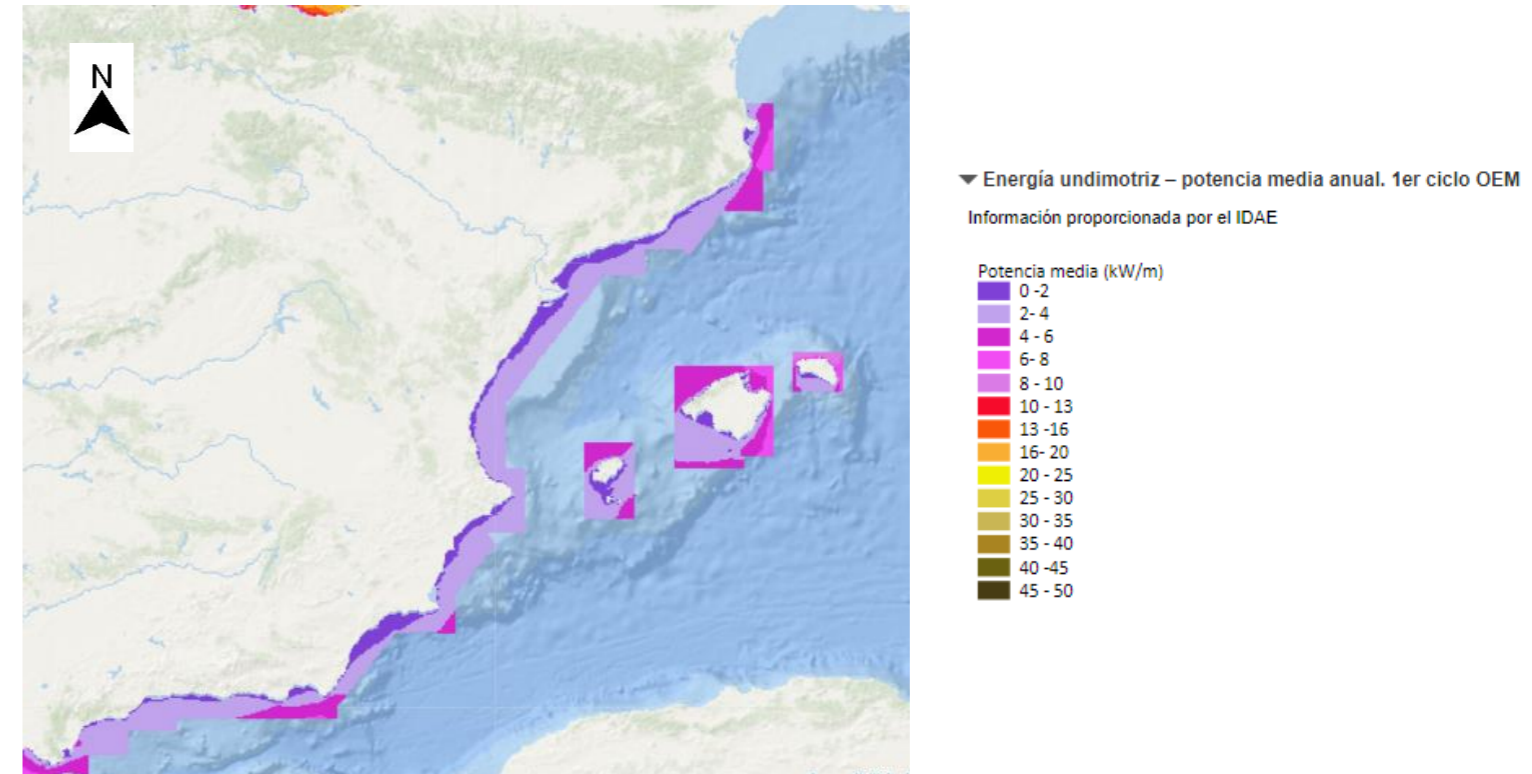


Figura 27. Potencia Media Anual de la energía undimotriz en la costa Mediterránea [20]

Atendiendo más en detalle la zona objeto del estudio se observa lo siguiente.

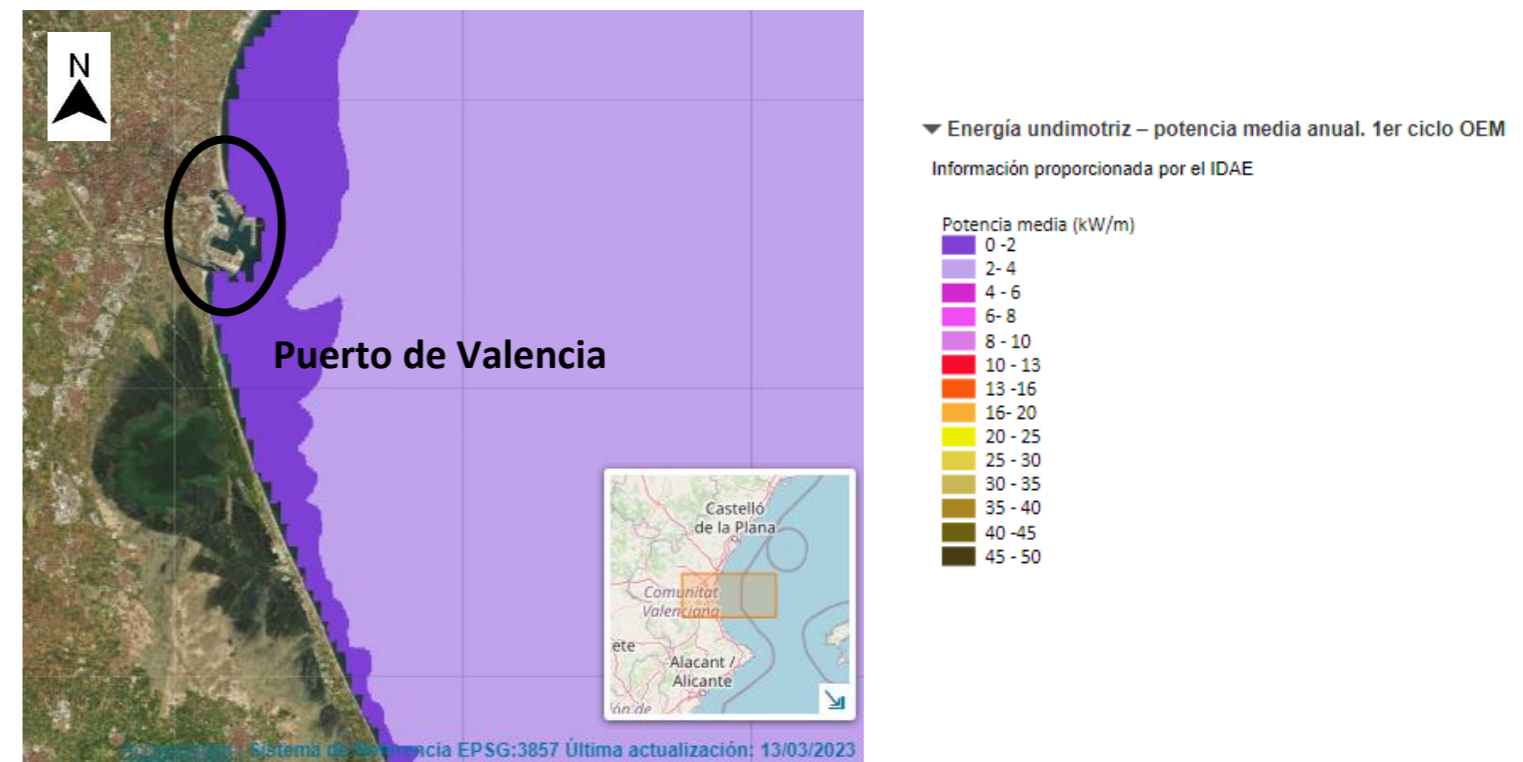


Figura 28. Potencia Media Anual de la energía undimotriz en el Puerto de Valencia [20]

A pesar de ello existen diversos dispositivos que resultan ser opciones factibles para la producción de energía, siempre teniendo en cuenta por supuesto el método elegido y el emplazamiento que estamos tratando. Tal y como se puede observar en la ilustración anterior existen zonas cercanas al puerto con un recurso total de hasta 4 kW/m lo que conlleva a la utilización de aquellos sistemas capaces de aprovechar niveles bajos de energía. Puesto que este condicionante ya es suficiente para descartar sistemas offshore, es importante recordar que no todos los dispositivos o sistemas serán idóneos por tener un oleaje más enérgico y con frecuencias cortas de ola en la zona a estudiar. Por supuesto, toda la información relativa al oleaje será expuesta en el apartado “4. Estudios Previos”.

3.2 DEMANDA ENERGÉTICA

Saber las necesidades energéticas de la zona en la que se pretende instalar una fuente de energía es el primer paso para poder realizar esta labor de la forma correcta. Más aún tratándose de una energía renovable en investigación y desarrollo como lo es la energía undimotriz y la gran inversión que esta va a conllevar. Es, por este motivo, que estimando la demanda energética del Puerto de Valencia ayude a la tarea de selección del sistema idóneo para el caso.

Durante los últimos años, el Puerto de Valencia ha incrementado la demanda energética por el aumento del tráfico que posee y ello se ha visto reflejado en las expansiones que ha ido requiriendo con el paso del tiempo. A pesar de que alberga una gran variedad de actividades comerciales, la principal es el tráfico de contenedores de mercancías teniendo una capacidad de más de 5 millones de TEUs y una superficie de aproximadamente 2 millones de metros cuadrados. Según los boletines ofrecidos por la Autoridad Portuaria de Valencia (APV), bajo la denominación comercial de “Valenciaport”, se puede observar que en los años 2021 y 2022 se han movilizado un total de 85.269.726 y 79.365.321 toneladas incluyendo tanto graneles líquido y sólido como mercancía containerizada y no containerizada. En cuanto a contenedores (TEU), la actividad principal del puerto como se ha mencionado, para el año 2021 fueron 5.604.478 mientras que para el 2022 fueron un total de 5.052.272. La Autoridad Portuaria, como ya se ha mencionado en la introducción, se ha planteado como objetivo 0 emisiones en el año 2030 pero la cantidad de movimientos comentado que se realizan cada año conlleva aproximadamente un gasto de energía de 50 GW/año [25]. Se trata de una cifra muy grande para que únicamente un sistema o infraestructura de energía undimotriz se haga cargo de todo este consumo.

3.3 CONDICIONANTES AMBIENTALES

A priori, los aspectos ambientales que se deben de tener en cuenta ya no solo para situar alguna infraestructura o dispositivo para la extracción de energía a partir del oleaje sino para cualquier ejecución en el mar se deben de tener en cuenta lo siguiente:

- Clima
- Mareas y Oleaje
- Calidad del agua
- Protección de la biodiversidad
- Regulaciones ambientales

En lo referente al clima, la marea y el oleaje en el Puerto de Valencia se verá con mayor detenimiento en el próximo apartado “4. Estudios Previos”

El aspecto ambiental del sistema que se vaya a escoger es verdaderamente importante, ya que el objetivo principal de una energía renovable es no contribuir al deterioro del medio, es decir, si la solución va a ser peor que el problema es señal significativa de que no se está yendo por el camino correcto. Como se ha mencionado en las desventajas en el apartado 2.1 y, después de analizar todos y cada uno de los sistemas o dispositivos que existen,

uno de los factores que pueden afectar al medio es el espacio que ocupan algún de ellos. Por ello, hay que valorar detenidamente si a pesar de que un sistema saque mayor rendimiento este va a tener una afección al ecosistema severa sería necesario descartarla.

Para poder valorar qué sistema será el idóneo ambientalmente es necesario saber las posibles zonas vulnerables que pueden verse afectadas. Para ello, acudiendo a la Red Natura 2000 se puede saber que en España existen más de 200 espacios marinos protegidos que pertenecen a esta red de conservación de la biodiversidad en la Unión Europea. Esta red diferencia varios tipos de espacios que deben ser protegidas, algunas de ellas son los Lugares de Importancia Comunitaria (LIC), Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) o Áreas Marinas Protegidas (AMP). Para el caso que concierne al Puerto de Valencia, se ha utilizado el visor de la Generalitat Valenciana (GVA) para poder ubicar en el mapa si algunas de las zonas afectan directamente al puerto o alrededores. Concretamente, se han detectado dos posibles afecciones siendo una de ellas más importante que la otra por el tipo y la ubicación de las mismas.

Comenzando con la Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) que ocupa todo el territorio de L’Albufera además de una parte que se adentra en el mar inmediatamente al sur del Puerto de Valencia. Esto podría llegar a ser un problema dado que como es lógico pensar, el comportamiento de las aves no es exacto tal y como se muestra en la imagen, es decir, son estimaciones en base a su comportamiento. El problema es que por la cercanía es posible que en el caso de colocar un sistema offshore estas podrían estorbar en la alimentación de las aves ya que estos dispositivos pueden llegar a ocupar una gran cantidad de superficie.



Figura 29. Zona de Especial Protección para las Aves. Fuente Visor GVA.

Por otra parte, otro factor a tener en cuenta en la zona es la biocenosis en los alrededores del Puerto de Valencia. La biocenosis se puede definir como una comunidad o conjunto de poblaciones con diferentes especies que habitan en una zona concreta e influida por factores como son la temperatura, humedad y luz. Con otras palabras, es el término biológico que hace referencia a los seres vivos que coexisten en un mismo ecosistema. A continuación, gracias al visor GVA se pueden identificar las siguientes especies. Las cuales al colocar sistemas offshore anclados al fondo marino se vean afectadas, reduciendo de esta manera la población. Las poblaciones de algas llegan a ser verdaderamente importantes para un ecosistema puesto que producen el oxígeno necesario para el resto de seres vivos.

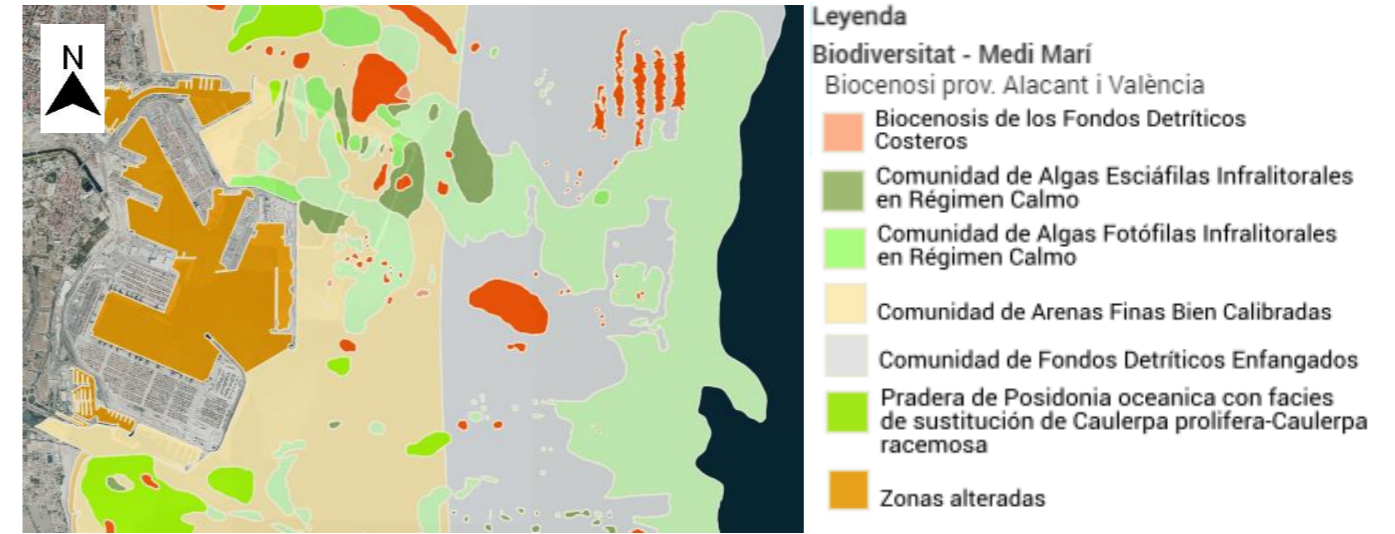


Figura 30. Biocenosis en la zona del Puerto de Valencia. Fuente: Visor GVA.

En el caso de tener que situar un dispositivo con anclaje de fondo, como es lógico la parte que ocupe dicho anclaje reducirá la población de las algas alterando de esta manera el ecosistema que se presenta en los alrededores del puerto, dependiendo del sistema o dispositivo undimotriz que se coloque habrá o no anclaje de fondo o dicho anclaje ocupará mayor o menor superficie perjudicando de distinta manera a dichas especies y al ecosistema.

3.4 PARÁMETROS PRINCIPALES Y CRITERIOS DE SELECCIÓN

Para abordar la selección del sistema idóneo se ha elaborado una puntuación comprendida entre 0 y 5 para cada uno de los criterios o parámetros a tener en cuenta de cada uno de los nueve dispositivos de energía undimotriz estudiados. Se van a presentar y explicar uno por uno todos los parámetros tenidos en cuenta y posteriormente se mostrarán a modo de tablas la puntuación para estos, finalmente se plantea una tabla final donde se realiza el sumatorio de todas las valoraciones y la que obtenga una menor puntuación será el dispositivo idóneo para las características del Puerto de Valencia.

Los criterios que se van a considerar, explicar y valorar son:

- Rango de oleaje
- Tráfico marítimo
- Infraestructura
- Profundidad
- Requerimientos medioambientales
- Ruido (OWC)
- Costes de instalación y mantenimiento

3.4.1 RANGO DE OLAJE

Es uno de los criterios más importantes a la hora de escoger un tipo de dispositivo de energía undimotriz puesto que es el oleaje y sus características son la condición indispensable para que se pueda dar dicha energía renovable. Por ello, tal y como se va analizar en el apartado “4.1.2 Régimen del oleaje” observando la Tabla 17, el rango del oleaje con mayor porcentaje que se da en la zona objeto del estudio resulta entre 0.5 y 2 metros. La valoración para dicho criterio se va a plantear en función a la Tabla 6 donde se realiza una comparativa entre todos y cada uno de los dispositivos o sistemas analizados en el estado del arte y, atendiendo al rango del oleaje, si el dispositivo cumple con el rango se declarará como “**APTO**” mientras que para aquel dispositivo que no cumpla con el rango “**NO APTO**”.

PARÁMETROS	SISTEMAS								
	Sistemas basados en la oscilación			Sistemas de columna de agua oscilante				Sistemas basados en el rebase	
	POWERBUOY (OPT-US)	WAVESTAR	PELAMIS	OYSTER	AWS	OWC (Mutriku)	MIGHTY WHALE	TAPCHAN	WAVEDRAGON (prototipo)
Rango de oleaje del dispositivo (m)	-	0,5 a 4	5 a 8	2,5 a 4	5,5 a 6,5	> 0,5	> 0,5	> 0,5	4,5 a 8
Valoración del criterio (0.5 - 2 metros)	NO APTO	APTO	NO APTO	NO APTO	NO APTO	APTO	APTO	APTO	NO APTO

Tabla 6. Valoración del rango de oleaje. Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 TRÁFICO MARÍTIMO

Este criterio está especialmente relacionado con aquellos sistemas de energía undimotriz offshore, es decir, dispositivos que se sitúan alejados a la costa. Concretamente, en el Puerto de Valencia se dan situaciones de elevado tráfico marítimo y se exceden las plazas de atraque simultaneo, por lo que las embarcaciones de cualquier índole han de esperar en las zonas de fondeo específicas en las inmediaciones del puerto. Con este concepto a tener en cuenta, a la hora de plantear una central de energía undimotriz offshore es de vital importancia saber si de alguna forma dicha central va a limitar o perjudicar la zona de fondeo del puerto dedicada al tráfico. El Puerto de Valencia en base a los datos expuestos en el apartado “3.2 Demanda energética” se puede calificar como un puerto con un tráfico marítimo elevado.

Tal y como se observa en el Referencial de Vehículos del Puerto de Valencia [27] se detalla la siguiente tabla ubicando mediante coordenadas la zona de fondeo mencionada.

CARACTERÍSTICAS	APLICA A	EVIDENCIA
<p>A.1.2.- Lugares de atraque y fondeo Están definidos, y dados a conocer, lugares de atraque específicos, de uso habitual, para la carga y descarga de buques car carrier; así como áreas de fondeo para espera de los mismos, definidas por coordenadas geográficas, representadas en planos mediante líneas que las unen.</p>	Autoridad Portuaria	Relación de atraques para tráfico de vehículos nuevos. Coordenadas geográficas de zonas de fondeo y plano.
<p>La Autoridad Portuaria asigna el atraque dependiendo de diferentes variables, entre ellas, la hora prevista de llegada, horas previstas de inicio y fin de operaciones, la hora prevista de salida y la terminal, empresa estibadora o empresa prestadora del servicio de embarque y desembarque.</p> <p>La APV define las áreas de fondeo para la espera de los buques. El Puerto de Valencia define sus áreas de fondeo como:</p> <p>1) Zona de fondeo para su utilización por buques que transporten Mercancías No Peligrosas, la comprendida por los puntos de coordenadas siguientes:</p> <p>A. Latitud 39 grados 24,30 minutos N B. Longitud 00 grados 18,05 minutos W C. Latitud 39 grados 24,30 minutos N Longitud 00 grados 16,50 minutos W D. Latitud 39 grados 23,30 minutos N Longitud 00 grados 16,50 minutos W</p>	En todas: Autoridad Portuaria	Autorización de atraques Áreas de fondeo

Tabla 7. Características de los lugares de atraque y fondeo [27]

Por otra parte, para poder visualizar las coordenadas de la tabla 7 se ha empleado el portal Navionics donde se observa coloreado en **color verde claro** la zona de fondeo a tener en cuenta para no obstaculizar.

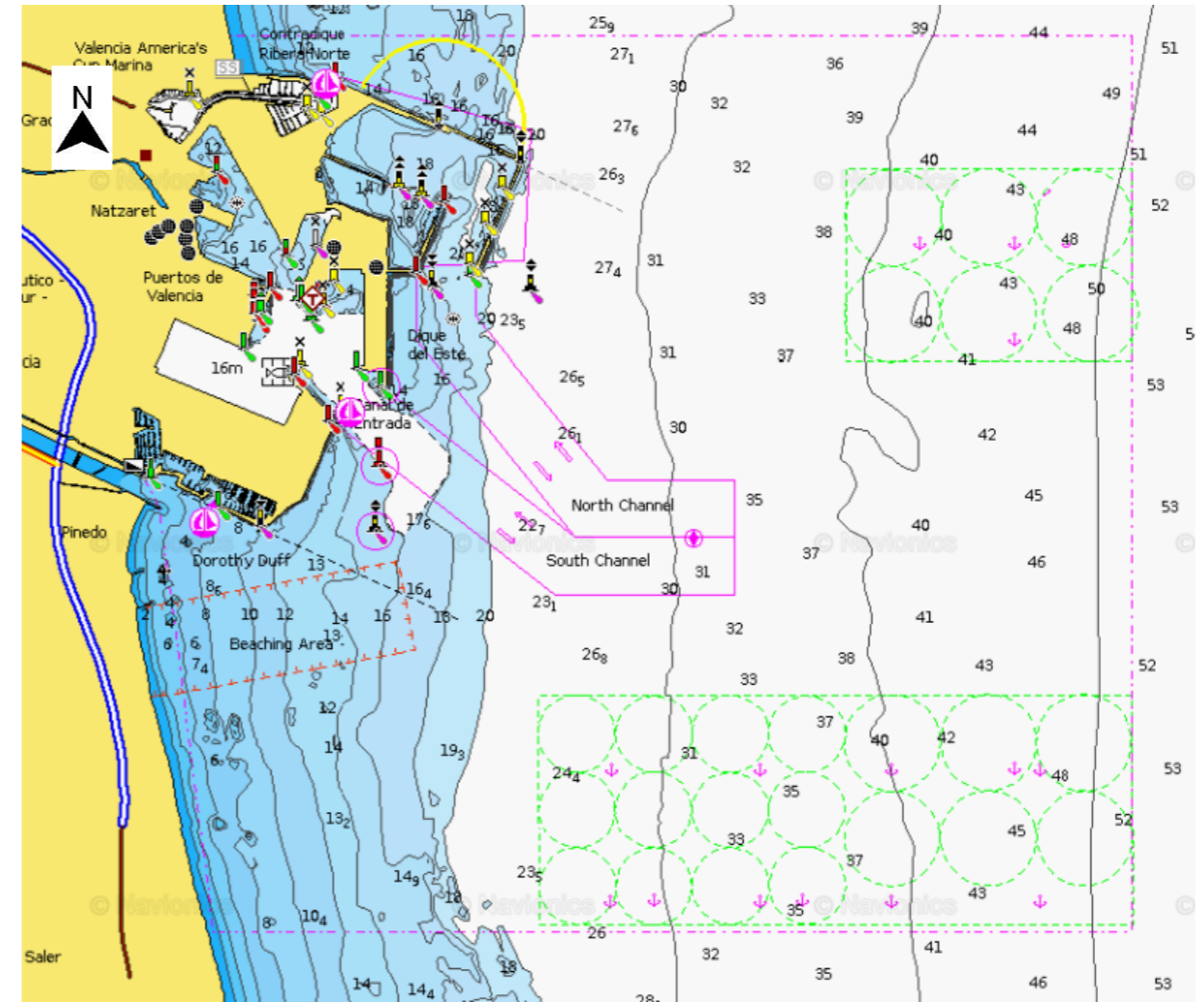


Figura 31. Zonas de fondeo (color verde claro) en el Puerto de Valencia [19]

Para poder valorar cada dispositivo en base al criterio mencionado se van a puntuar de 0 a 5 siendo 0 cuando no interfieran en absoluto con los canales de entrada y zonas de fondeo y 5 si imposibilitan por completo la labor de las embarcaciones por una supuesta central undimotriz del respectivo dispositivo.

Como se puede observar en la Tabla 8 se adjunta en la primera fila la ubicación del dispositivo respecto de la línea de costa. Puede ser:

- **Offshore:** automáticamente por estar alejado de la costa y estar en aguas profundas ya obtiene una valoración mínima de 4 por el hecho de ser un claro obstáculo al tráfico marítimo. Teniendo como excepción el sistema Pelamis, perteneciente al grupo de dispositivos offshore, que ha sido valorado con un 5 por ser el dispositivo con mayor ocupación del resto de sistemas.
- **Nearshore:** Aquellos sistemas situados a una distancia cercana a la costa, pero sin llegar a estar instalados en ella. Se tratan del sistema WaveStar y el Mighty Whale, que han sido valorados sin una puntuación mínima para ser estudiado el presente criterio con la mayor objetividad posible.
 - **WaveStar:** La supuesta ubicación del dispositivo sería a pie de dique por lo que no entorpecería en absoluto el tráfico marítimo, de tal manera se ha puntuado con un 0.
 - **Mighty Whale:** Es un sistema que prácticamente es tratado como una embarcación más y rondaría por las inmediaciones del puerto por lo que al fin y al cabo sería un obstáculo

para las embarcaciones. Siendo las inmediaciones del puerto su ubicación óptima y el elevado tráfico que presenta el puerto se ha puntuado con un 5.

- **Onshore:** Dispositivos o sistemas de energía undimotriz cuyo requisito de instalación es estar ubicado en la línea de costa. Sistemas como el **OWC** y el **TAPCHAN** que por razones obvias al estar instalados en el mismo dique (requiriendo una modificación del mismo) para el caso del **OWC** no entorpecería en absoluto al tráfico marítimo, valorando ambos dispositivos con un 0.

PARÁMETROS	SISTEMAS								
	Sistemas basados en la oscilación			Sistemas de columna de agua oscilante				Sistemas basados en el rebase	
	POWERBUOY (OPT-US)	WAVESTAR	PELAMIS	OYSTER	AWS	OWC (Mutriku)	MIGHTY WHALE	TAPCHAN	WAVEDRAGON (prototipo)
Ubicación	Offshore	Nearshore	Offshore	Offshore	Offshore	Onshore	Nearshore	Onshore	Offshore
Afección al tráfico marítimo (0 a 5)	4	0	5	4	4	0	5	0	4

Tabla 8. Valoración de la afección al tráfico marítimo. Fuente: Elaboración propia.

3.4.3 INFRAESTRUCTURA

Antes de situar un sistema de energía undimotriz, es de vital importancia analizar la clase de infraestructura que ya existe en el puerto, es decir, intentar en la medida de lo posible el aprovechamiento de la infraestructura ya existente. Existen dos motivos muy importantes, la viabilidad funcional y la viabilidad económica. Añadir que de ambas viabilidades entre otras se hará un desarrollo preciso del dispositivo que finalmente se haya escogido. Con todo ello, para saber cómo va a poder aprovechar cada dispositivo la infraestructura existente se puntuará entre 0 a 5, siendo 5 en el caso de que no se pueda aprovechar nada de lo existente y 0 en el caso contrario. Hay que añadir que la valoración de 0 a 5 para este criterio puede parecer poco intuitiva, pero se ha realizado por este motivo para que luego la suma de las valoraciones en conjunto de los distintos parámetros sea más sencilla.

Tal y como se observa en la Tabla 9 los sistemas que verdaderamente son viables en cuanto a aprovechamiento de infraestructura existente en el puerto son: **WaveStar** y **OWC**. Para este parámetro el sistema **OWC**, como se ha ejecutado en Mutriku, es muy factible porque su ejecución se basa en la modificación de un dique ya existente. Para el caso de Valencia y por sus extensos diques de abrigo verticales, la modificación de los mismos sería una solución sencilla para la ejecución del sistema mencionado. Por otra parte, destacar el **WaveStar** que es capaz de utilizar el dique para el apoyo de la plataforma (donde salen los flotadores encargados de transmitir el movimiento ondulatorio de las olas en energía mecánica) sin necesidad de modificar el dique al contrario que el ya mencionado sistema **OWC**. Por ello, se ha valorado el **OWC** con un 2 y el **WaveStar** con un 0.

PARÁMETROS	SISTEMAS								
	Sistemas basados en la oscilación			Sistemas de columna de agua oscilante				Sistemas basados en el rebase	
	POWERBUOY (OPT-US)	WAVESTAR	PELAMIS	OYSTER	AWS	OWC (Mutriku)	MIGHTY WHALE	TAPCHAN	WAVEDRAGON (prototipo)
Aprovechamiento de la infraestructura (0 a 5)	4	0	5	5	5	2	5	5	5

Tabla 9. Valoración del aprovechamiento de infraestructuras existentes. Fuente: Elaboración propia.

3.4.4 PROFUNDIDAD

Al igual que sucede con el rango del oleaje, la profundidad se trata de uno de los parámetros determinantes a la hora de escoger el sistema de energía undimotriz idóneo. Principalmente porque cada uno está diseñado para un rango de profundidad específico. Atendiendo a la batimetría en las inmediaciones del Puerto de Valencia, apartado “4.2 Batimetría” se detalla una profundidad que ronda entre los 16 a 45 metros; desde pie de dique hasta el perímetro mar adentro que pertenece al puerto. Para proceder a la valoración de la profundidad se realizará de la misma manera que en el rango del oleaje. Observando la tabla 5 comparativa de los sistemas, si el dispositivo cumple con el rango del puerto se declara “**APTO**” y de lo contrario “**NO APTO**”.

PARÁMETROS	SISTEMAS								
	Sistemas basados en la oscilación			Sistemas de columna de agua oscilante				Sistemas basados en el rebase	
	POWERBUOY (OPT-US)	WAVESTAR	PELAMIS	OYSTER	AWS	OWC (Mutriku)	MIGHTY WHALE	TAPCHAN	WAVEDRAGON (prototipo)
Profundidad óptima (m)	25 a 1000	15 a 20	50 a 70	12 a 15	43	-	< 40	-	11 a 14
Valoración del criterio (16 - 45 metros)	APTO	APTO	NO APTO	NO APTO	APTO	APTO	APTO	APTO	NO APTO

Tabla 10. Valoración de la profundidad. Fuente: Elaboración propia.

3.4.5 REQUERIMIENTOS MEDIOAMBIENTALES

Existen varios requerimientos medioambientales que hay que tener en cuenta para cada uno de los dispositivos. Al igual que en la valoración de otros parámetros se puntuará cada uno de los requerimientos con un valor entre 0 y 5 siendo 0 nula afección al medioambiente y 5 una posible afección grave.

Los requerimientos son:

- **Afección al fondo marino:** Todo dispositivo que precise de anclaje al fondo marino o en su caso cimentación ya va a suponer una modificación al medio capaz de perjudicar la biodiversidad de la zona. En base a lo estudiado en el apartado “2 Estado del Arte” del presente trabajo es el dispositivo **TAPCHAN** el que más perjudicaría el fondo marino principalmente por las dimensiones que necesita además de la notable modificación del litoral para su emplazamiento, tal y como se puede observar en la Fig. 15. Por otra parte, hay que detallar aquellos sistemas que son offshore y que necesitan de una cimentación al fondo marino para evitar el desplazamiento de los mismos y queden a la deriva. Estos dispositivos son el **Oyster** y **AWS** y se les ha puntuado con un 4 por no ser tan dañino como el **TAPCHAN** al fondo marino. Por el contrario, destacar aquellos sistemas como son **PowerBouy**, **Pelamis** y **Mighty Whale** que únicamente sería necesario un anclaje al fondo marino apenas perjudicial para el fondo marino, así que su valoración es de 0. Finalmente, los dispositivos como el **WaveStar** y el **OWC** han sido valorados con un 1 y un 2 respectivamente dado que requieren del fondo marino para su ejecución, pero no llega a ser una afección grave porque ambos se colocarían a pie de dique. Sin embargo, el **WaveStar** necesita una cimentación más pequeña que el **OWC** por ello la afección resulta menor.
- **Fauna:** La presencia de dispositivos móviles “offshore” son obstáculos para el hábitat de las especies que rondan la zona, por lo que hay que tener en cuenta esta afección. Cabe destacar el peligro que supone la presencia de circuitos eléctricos en varios de los dispositivos “offshore” que, por alguna clase de fallo en el mismo, es probable que puedan llegar a tener contacto con el agua y por tanto una electrificación de la misma afectando directamente a la fauna. Con todo ello, para aquellos dispositivos “offshore” (**PowerBouy**, **Pelamis**, **Oyster**, **AWS**, **WaveDragon**) se les ha puntuado con un 4. Por el contrario, aquellos dispositivos flotantes o “onshore” se ha considerado una afección nula y por ello una puntuación de 0.
- **Calidad del agua:** No se trata de una de las afecciones a tener en cuenta más graves, pero si hay que tener especial atención con la clase de materiales y metales que van a estar en contacto con el agua. Esto se refiere a si la oxidación o corrosión de los dispositivos cede metales pesados perjudiciales o que por esta misma corrosión parte de la pintura protectora de los dispositivos se desprenda alterando la calidad del agua. Por último, también tener en cuenta el factor de la electrificación del agua que no deja de ser un problema también de la calidad del agua. Para poder puntuar este parámetro se ha valorado con un 1 a aquellos dispositivos cuya estructura (donde se encuentra el sistema eléctrico) se encuentra en contacto directo con el agua. Destacar los sistemas como el **OWC** y el **TAPCHAN** cuya afección a la calidad del agua está completamente relacionada a su fase de construcción puesto que son estructuras de hormigón armado. Por último, la valoración del dispositivo **WaveStar** con un 0 porque el único contacto con el agua son los flotadores y la plataforma donde se localiza el sistema eléctrico no se encuentra en contacto directo con el agua, por tanto, no afecta en absoluto a la calidad del agua.

PARÁMETROS	SISTEMAS								
	Sistemas basados en la oscilación			Sistemas de columna de agua oscilante				Sistemas basados en el rebase	
	POWERBUOY (OPT-US)	WAVESTAR	PELAMIS	OYSTER	AWS	OWC (Mutriku)	MIGHTY WHALE	TAPCHAN	WAVEDRAGON (prototipo)
Afección al fondo marino	0	1	0	4	4	2	0	5	1
Fauna	4	0	4	5	4	0	0	3	4
Calidad del agua	1	0	1	1	1	3	1	3	1

Tabla 11. Valoración de los requerimientos medioambientales. Fuente: Elaboración propia.

3.4.6 RUIDO

Únicamente se va a estudiar la afección del ruido para el sistema que verdaderamente lo produce y es el sistema OWC. El ruido que produce dicho sistema proviene del aire saliente de la turbina producida por la ola que entra en la cámara y eleva el nivel dentro de la misma haciendo que el aire salga a presión por la única vía de escape, la chimenea donde se encuentra la turbina ya mencionada. A medida que aumenta el tamaño de la turbina y su velocidad de rotación el ruido será mayor. Una alternativa a este problema es la instalación de un silenciador, pero provoca una disminución del rendimiento de la turbina. Al tratarse de un puerto relativamente cercano de la zona urbana se ve necesario una breve investigación para analizar si el ruido generado por este sistema va a causar una afección grave a la población o bien si es necesario un silenciador. En el caso de que sea necesario un silenciador sería un punto negativo para dicho sistema ya que la instalación del silenciador supondría como se ha mencionado una disminución del rendimiento y aun aumento del coste de dicho sistema.

Según un estudio de viabilidad para la ubicación de sistemas undimotrices para la costa del Cantábrico [30] establece que las turbinas Wells instaladas en el sistema OWC son capaces de producir 73 dB. Según la Generalitat Valenciana se acoge a los límites que evidencian los estudios ofrecidos por las instituciones internacionales y en concreto de la Unión Europea que establecen los límites de sonido en decibelios considerados como desagradables y molestos para los seres humanos. Se establece que a partir los 65 dB de nivel equivalente diurno y los 55 dB durante el periodo nocturno ya se superan los límites mencionados como incómodos para el ser humano [31].

Con estos datos ya se puede concluir que el ruido producido es capaz de producir molestias o ser desagradable para una persona que se ubique cerca del dispositivo como puede ser un operador encargado del mantenimiento. En lo que atañe a la zona urbana más próxima al Puerto de Valencia, esta se ubica aproximadamente a 2800 metros de la supuesta ubicación del sistema, tal y como se detalla en la Fig. 29.

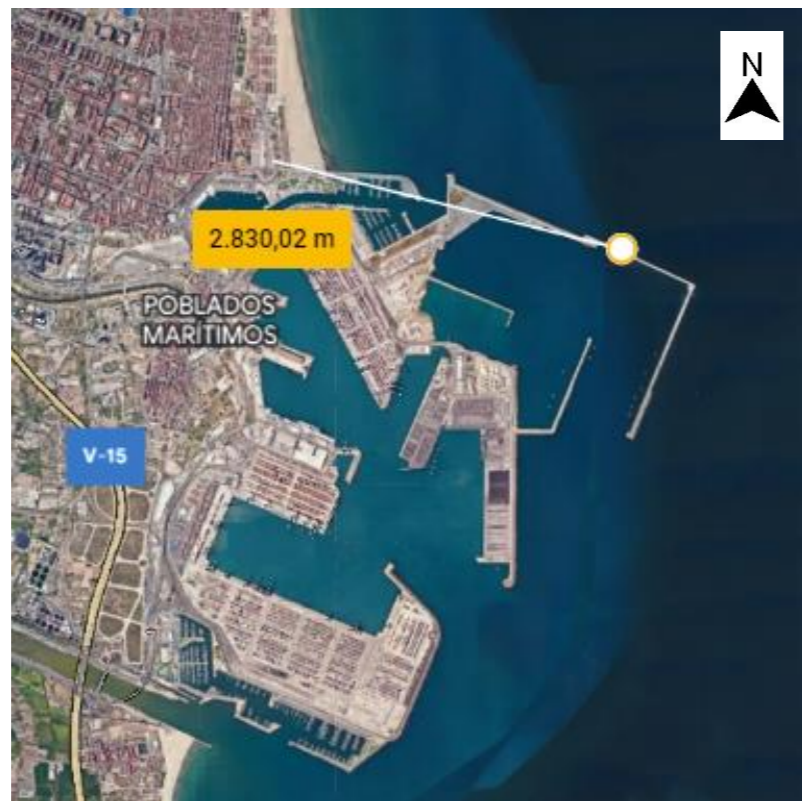


Figura 32. Ubicación más cercana de la zona urbana. Fuente: Google Earth.

En base a al documento de Conceptos Básicos del Ruido Ambiental [32] ofrecido por el CEDEX se puede establecer la propagación del sonido en campo libre resulta en que cada vez que doblamos la distancia, el nivel de presión sonora disminuye 6 dB. De esta manera y como se puede observar en la Tabla 12 que a los 2 kilómetros aproximadamente se percibiría únicamente 7 dB.

Distancia (m)	Decibelios (dB)
1	73
2	67
4	61
8	55
16	49
32	43
64	37
128	31
256	25
512	19
1024	13
2048	7
4096	1

Tabla 12. Decibelios percibidos en función de la distancia. Fuente: Elaboración propia.

Con todo ello, las viviendas más cercanas ubicadas a 2,8 km apenas se percibirían el ruido generado por las turbinas del sistema OWC por lo que el ruido no tendría una afección negativa. Si cabe destacar que los trabajadores o clientes ubicados entre un radio de 1 km y 500 metros dentro del puerto llegarían entre 13 y 19 dB lo cual si sería un sonido perceptible, pero para nada molesto tal y como se afirma en [31].

3.4.7 COSTES DE INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

Como es lógico, los costes del dispositivo o sistema de energía undimotriz resulta un factor esencial a la hora de escoger el adecuado. Todo este parámetro girará en función de que dispositivo a priori va a resultar más rentable en cuanto a sus costes de instalación y mantenimiento a lo largo de su vida útil (20 años). Para la puntuación de este parámetro se dividirá en dos tablas, la primera sobre el coste de instalación y su valoración, mientras que la segunda es la valoración del mantenimiento. Para la puntuación de los costes de instalación se plantea la más cara con un 5 mientras que la más barata un 0, de esta forma el resto de dispositivos se valora en dicha escala.

Por otra parte, la valoración del mantenimiento se ha realizado en base a los expuesto en el apartado del Estado del Arte para cada dispositivo y sus características técnicas. Dado que la mayoría de dispositivos se encuentran en fase de prototipo el dato del coste de mantenimiento es difícil de precisar así que, además de la información expuesta en el Estado del Arte, se ha tenido en cuenta si el dispositivo es “Offshore” u “Onshore” dado que el coste del mantenimiento de un dispositivo alejado de la costa será mayor por el añadido de la intendencia que supone las pertinentes embarcaciones para llegar al dispositivo además por supuesto, del coste de mantenimiento base esperado que ya precisan estos dispositivos.

PARÁMETROS	SISTEMAS								
	Sistemas basados en la oscilación			Sistemas de columna de agua oscilante				Sistemas basados en el rebase	
	POWERBUOY (OPT-US)	WAVESTAR	PELAMIS	OYSTER	AWS	OWC (Mutriku)	MIGHTY WHALE	TAPCHAN	WAVEDRAGON (prototipo)
Coste de instalación	10,5 M€	15 M€	8 M€	12,6 M€	-	5,73 M€	5 M€	1 - 5 M€	13,5 M€
Valoración de la instalación	3	5	2	4	-	1	1	0	4

Tabla 13. Valoración del coste de instalación. Fuente: Elaboración propia.

PARÁMETROS	SISTEMAS								
	Sistemas basados en la oscilación			Sistemas de columna de agua oscilante				Sistemas basados en el rebase	
	POWERBUOY (OPT-US)	WAVESTAR	PELAMIS	OYSTER	AWS	OWC (Mutriku)	MIGHTY WHALE	TAPCHAN	WAVEDRAGON (prototipo)
Valoración del mantenimiento	5	3	5	5	5	3	5	1	5

Tabla 14. Valoración del coste de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia.

3.4.8 SELECCIÓN

Con todo lo descrito hasta ahora, se podría juntar cada una de las tablas y realizar el sumatorio de cada una de las valoraciones establecidas. Con el sumatorio hecho y de la forma en la que se ha realizado se podría afirmar que aquel dispositivo o sistema de energía undimotriz es el idóneo para las características y el entorno del Puerto de Valencia.

PARÁMETROS	SISTEMAS								
	Sistemas basados en la oscilación			Sistemas de columna de agua oscilante				Sistemas basados en el rebase	
	POWERBUOY (OPT-US)	WAVESTAR	PELAMIS	OYSTER	AWS	OWC (Mutriku)	MIGHTY WHALE	TAPCHAN	WAVEDRAGON (prototipo)
Valoración del rango del oleaje	NO APTO	APTO	NO APTO	NO APTO	NO APTO	APTO	APTO	APTO	NO APTO
Afección al tráfico marítimo	3	0	5	4	4	0	5	0	5
Aprovechamiento de la infraestructura	4	0	5	5	5	2	5	5	5
Valoración de la profundidad	APTO	APTO	NO APTO	NO APTO	APTO	APTO	APTO	APTO	NO APTO
Afección al fondo marino	0	1	0	4	4	2	0	5	1
Fauna	4	0	4	5	4	0	0	3	4
Calidad del agua	1	0	1	1	1	3	1	3	1
Valoración del coste de instalación	3	5	2	4	-	1	1	0	5
Valoración del coste del mantenimiento	5	3	5	5	5	3	5	1	5
TOTAL	NO APTO	9	NO APTO	NO APTO	NO APTO	11	17	17	NO APTO

Tabla 15. Selección del sistema de energía undimotriz para el Puerto de Valencia. Fuente: Elaboración propia.

Tal y como se puede observar en la Tabla 14, se trata del dispositivo **WaveStar** el que posee una **menor puntuación (9)** por lo que, en base al sistema ya explicado, el dispositivo mencionado sería el idóneo para las características y parámetros que se precisan para el **Puerto de Valencia**.

A modo de recapitulación, el WaveStar consiste en una serie de flotadores unidos a una estructura que con el movimiento del oleaje hace oscilar estos flotadores haciendo rotar un eje horizontal fijado a una estructura anclada al fondo marino.

4 ESTUDIOS PREVIOS

4.1 CLIMA MARÍTIMO

Para este apartado se va a llevar a cabo la caracterización del clima marítimo en la zona objeto del estudio, el Puerto de Valencia. Para poder analizar el clima marítimo se ha empleado el Banco de Datos Oceanográficos de Puertos del Estado de la boya de Valencia. La boya con los datos más actualizados (2022) y lo más cercana posible se ubica en las coordenadas:

- Longitud: 0, 2º E
- Latitud: 39, 51º N
- Profundidad: 260 m
- Código: 2630



Figura 33. Localización de la Boya de Valencia [35]

El principal motivo por el que se ha elegido esta boya y no las otras dos que se observan en la Fig. 33 que, aparentemente se obtendrían datos más precisos de las características del oleaje que llega al puerto por su cercanía, no es lo más conveniente porque la boya escogida es la que tiene los datos actualizados hasta la fecha e incluso continúa tomando datos. Es por esto que se ha decidido escoger la boya mencionada y calcular la propagación del oleaje.

Se obtendrá el régimen de vientos, corrientes de la zona y propagación del oleaje. El sistema empleado para la extracción de todos los datos de medición y predicción del clima marítimo es el desarrollado por Puertos del Estado, que trata de otorgar al sistema de puertos español los datos más precisos posibles para la correcta operatividad de los puertos y cualquier otra infraestructura que requiera dichos datos. Gracias a esta clase de sistemas se consigue un aumento de eficiencia y por ello una reducción de costes.

Son las redes SIMAR y REDEXT (Red de Boyas de Aguas Profundas) las encargadas de captar y registrar los datos tanto a tiempo real como histórico del oleaje, marea, viento, temperatura, corrientes, niveles del mar, presión atmosférica y salinidad.

Para este apartado se pretende analizar los agentes climáticos más importantes y que caracterizan al Puerto de Valencia. Se estudiarán los siguientes agentes:

- Régimen de vientos

- Régimen de oleaje, tanto régimen medio como el régimen extremal

4.1.1 RÉGIMEN DE VIENTOS

Para el análisis de vientos en el tramo a estudiar es necesario describir las características principales de la costa mediterránea española. Las características más importantes son las siguientes:

- Durante la mayor parte del año el frente polar empuja los ciclones tropicales hacia latitudes menores.
- Aquellas épocas denominadas como temporadas frías, las borrascas se sitúan en las costas del Norte y al Oeste de la península, pero, cuando estas llegan con suficiente potencia llegan a afectar también a la costa del Mediterráneo. Por otra parte, en temporadas cálidas los ciclones se posicionan a unas latitudes mayores sin llegar a afectar a la península salvo casos puntuales.
- La península Ibérica presenta un carácter continental. Fuerte influencia de las radiaciones y escasa nubosidad.
- Por parte del Norte de África, debido al clima desértico resulta una fuente de vientos cálidos sobre la costa mediterránea.

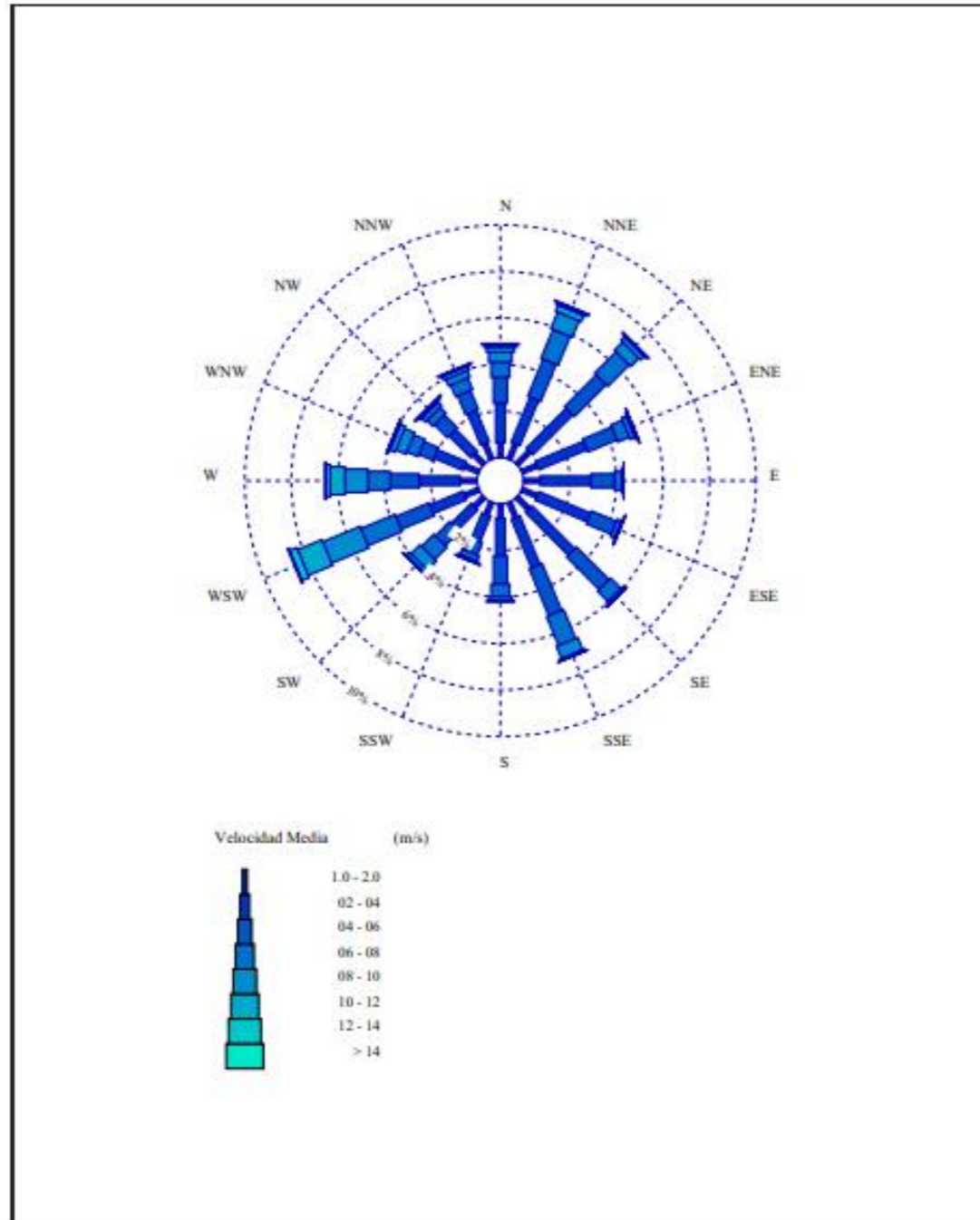
Particularizando más en las latitudes para poder realizar una descripción más detallada. Debido al rápido calentamiento en la fase continental durante el día se producen brisas de marinada llegando a alcanzar un máximo de intensidad hasta la noche donde roza el nulo principalmente, al contrario que por el día, un rápido enfriamiento y volviendo hasta el equilibrio. También hay que destacar que como causa de lo mencionado se llegan a conseguir ausencias completas de vientos básicos y por tanto una calma absoluta. Como ya se ha mencionado anteriormente, se está tratando con una costa en la cual hay un carácter continental y, por tanto, la estación invernal será anticiclónica y la veraniega ciclónica haciendo que se alcancen vientos con velocidades importantes del estilo de 25 nudos. En cuanto a la dirección, cada zona del litoral mediterráneo se ve afectada por las características geomorfológicas del entorno. De manera simplificada el viento se define por la dirección y la velocidad. La componente más importante a tener en cuenta es la horizontal, pero existe un análisis vertical, siendo esta no tan relevante a la hora de caracterizar el viento de una zona. La dirección del viento en el Puerto de Valencia se puede analizar mediante la información histórica aportada por la Boya de Valencia ya mencionada y ubicada previamente en la Fig. 33.

Gracias a la rosa de vientos anual, entre los años 2005 a 2022, claramente se denota que el régimen predominante de vientos es la componente Oeste, pero, como se muestra a continuación, existen dos componentes que se dan con mayor intensidad y frecuencia, estas son noreste y sureste.

ROSA DE VELOCIDAD MEDIA

LUGAR : Boya de Valencia
 CRITERIO DE DIRECCIONES: Procedencia
 INTERVALO DE CALMAS : 0 - 1.0

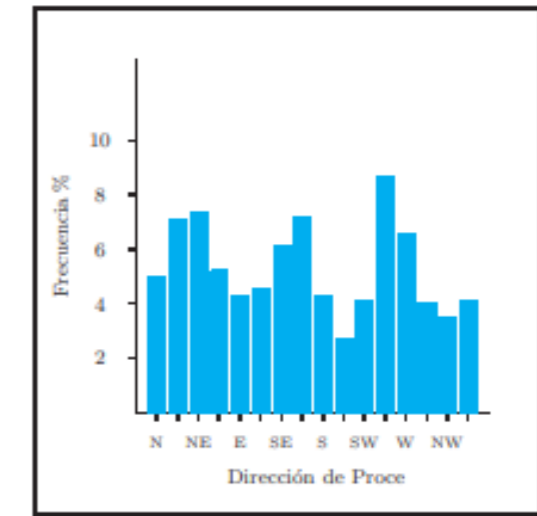
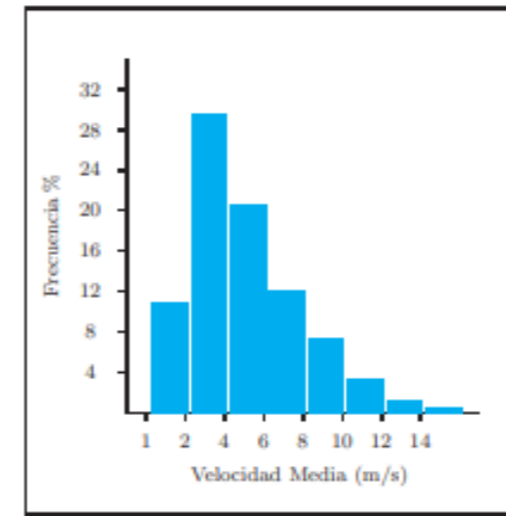
PERIODO : Anual
 SERIE ANALIZADA : Sep. 2005 - Nov. 2021
 PORCENTAJE DE CALMAS : 15.73 %



Gráfica 6. Rosa de viento anual [35]

LUGAR : Boya de Valencia
 CRITERIO DE DIRECCIONES: Procedencia

PERIODO : Anual
 SERIE ANALIZADA : Sep. 2005 - Nov. 2021



Gráfica 7. Distribución conjunta de dirección y velocidad media [35]

A continuación, se puede contemplar con datos numéricos, que efectivamente la máxima velocidad media anual es de 4 m/s como ya se ha mencionado previamente puesto como se puede ver en la siguiente tabla es esta la velocidad la de mayor porcentaje.

Dirección	Ve (m/s)								Total	
	≤ 1.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0		> 14.0
CALMAS	15.731									15.731
N	0.0	.647	1.696	1.106	.655	.440	.208	.099	.051	4.901
NNE	22.5	.715	2.099	1.729	1.338	.770	.287	.094	.036	7.070
NE	45.0	.783	2.425	1.937	1.307	.493	.208	.075	.019	7.246
ENE	67.5	.710	2.253	1.350	.539	.215	.080	.014	.012	5.174
E	90.0	.720	2.179	1.014	.314	.063	.014	.002	.002	4.309
ESE	112.5	.710	2.415	1.157	.213	.043	.002	.007	-	4.548
SE	135.0	.729	2.609	1.985	.630	.118	.019	-	-	6.091
SSE	157.5	.720	2.251	2.193	1.345	.563	.087	.005	-	7.164
S	180.0	.606	1.628	1.210	.551	.167	.039	-	-	4.200
SSW	202.5	.575	1.191	.575	.261	.080	.005	-	-	2.686
SW	225.0	.575	1.196	.886	.744	.541	.184	.031	.005	4.162
WSW	247.5	.652	1.553	1.541	1.592	1.729	1.130	.328	.060	8.586
W	270.0	.729	1.758	1.251	.964	.988	.635	.186	.031	6.543
WNW	292.5	.652	1.367	.659	.519	.471	.232	.075	.017	3.992
NW	315.0	.606	1.311	.787	.365	.220	.085	.039	.017	3.430
NNW	337.5	.732	1.476	.879	.539	.299	.169	.056	.019	4.169
Total	15.731	10.862	29.406	20.262	11.874	7.200	3.384	1.012	.271	100 %

Tabla 16. Tabla velocidad media (Ve) – Dirección de Procedencia en % [35]

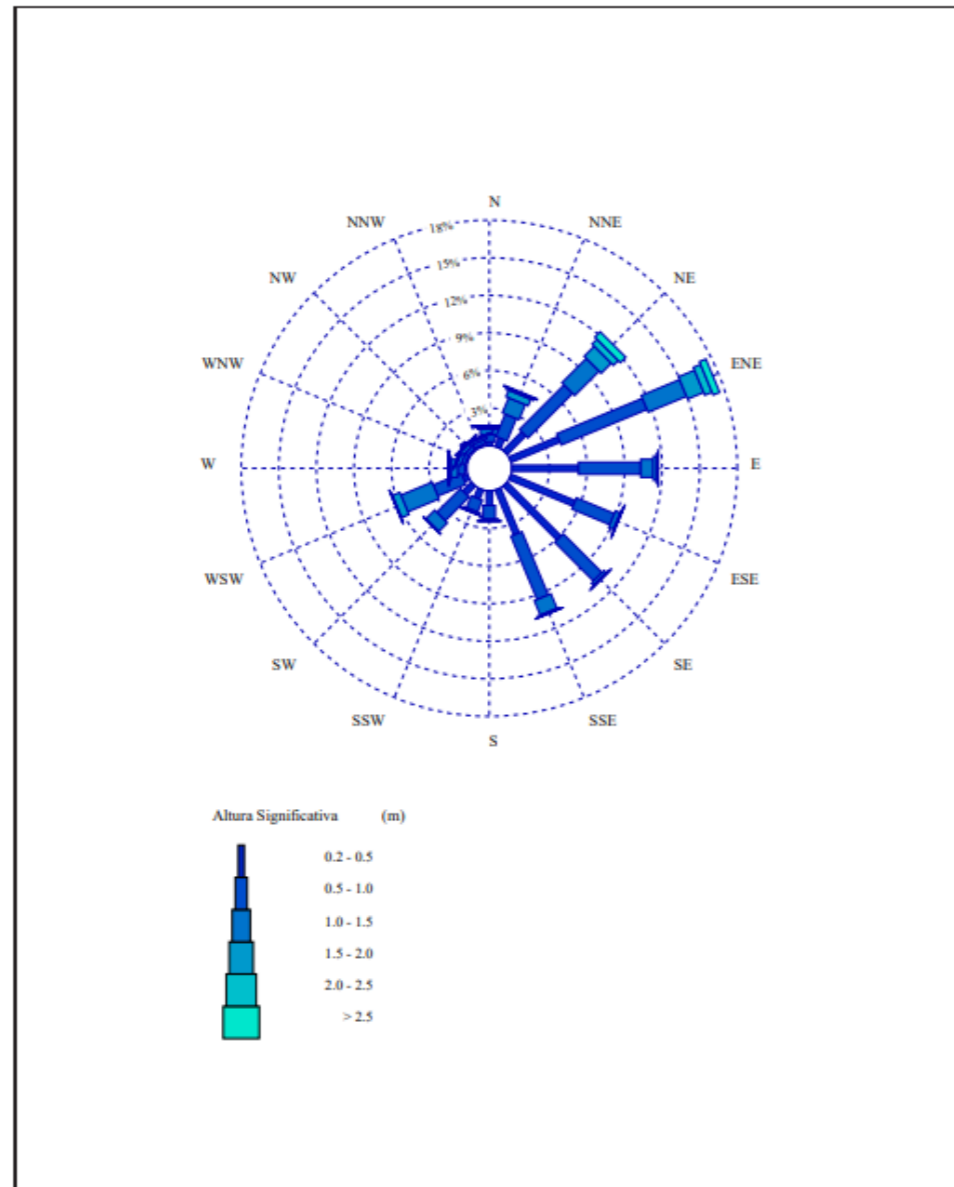
4.1.2 RÉGIMEN DE OLEAJE

4.1.2.1 RÉGIMEN EXTREMAL

Para empezar, hay que analizar las rosas del oleaje que son una representación que indican la frecuencia y la altura de ola con respecto a la dirección de origen. Para poder comprenderlas bien hay que saber que las Rosas de Oleaje están divididas en 16 dirección, cada una de ellas separadas por 22,5°.

ROSA DE ALTURA SIGNIFICATIVA

LUGAR : Boya de Valencia PERIODO : Anual
 CRITERIO DE DIRECCIONES: Procedencia SERIE ANALIZADA : Sep. 2005 - Nov. 2021
 INTERVALO DE CALMAS : 0 - 0.2 PORCENTAJE DE CALMAS : 2.18 %



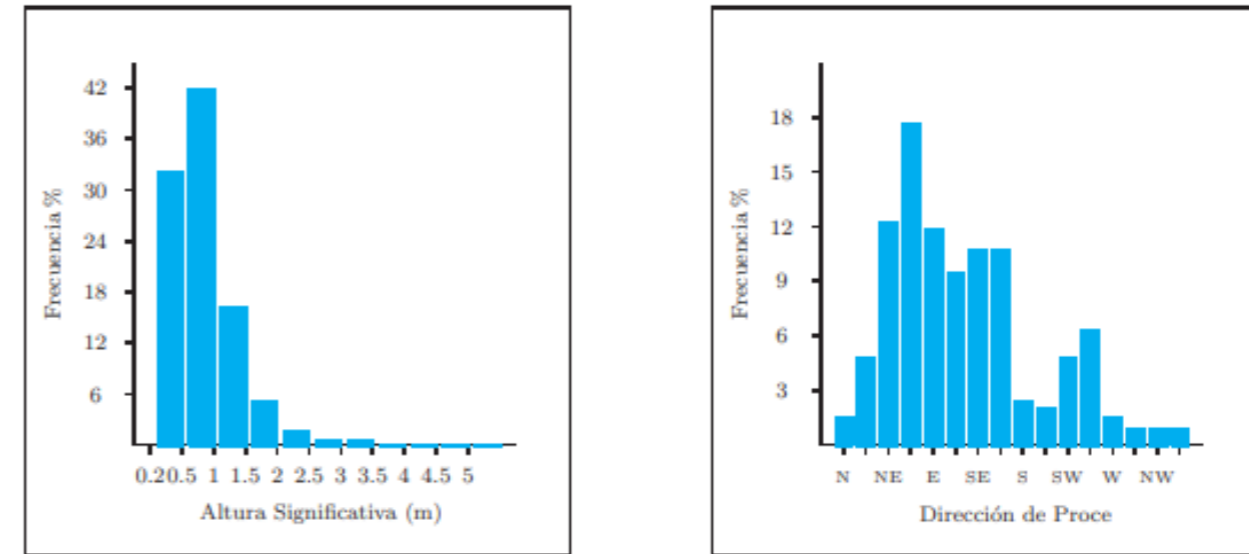
Gráfica 8. Rosa de altura significativa [35]

LUGAR : Boya de Valencia

PERIODO : Anual

CRITERIO DE DIRECCIONES: Procedencia

SERIE ANALIZADA : Sep. 2005 - Nov. 2021



Gráfica 9. Distribución conjunta de dirección y altura significativa [35]

Tabla Altura Significativa (Hs) - Dirección de Procedencia en %

Dirección	Hs (m)												Total
	≤ 0.2	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	> 5.0	
CALMAS	2.170												2.170
N	0.0	.323	.559	.431	.192	.045	.016	.002	-	-	-	-	1.568
NNE	22.5	.758	1.886	1.306	.535	.131	.061	.016	.002	.002	-	-	4.697
NE	45.0	2.093	5.037	2.788	1.137	.553	.293	.187	.092	.025	.014	.045	12.265
ENE	67.5	4.212	7.442	3.309	1.387	.634	.284	.169	.074	.023	.009	.007	17.550
E	90.0	5.351	4.938	.981	.284	.106	.029	.023	.007	-	-	-	11.719
ESE	112.5	5.461	3.246	.386	.070	.011	.009	.002	.002	-	-	-	9.188
SE	135.0	6.061	4.286	.259	.034	.007	-	-	-	-	-	-	10.647
SSE	157.5	3.889	5.421	1.236	.122	.007	-	-	-	-	-	-	10.674
S	180.0	1.191	1.062	.158	.016	-	-	-	-	-	-	-	2.427
SSW	202.5	.796	1.006	.176	.029	-	-	-	-	-	-	-	2.008
SW	225.0	.986	2.664	1.004	.065	-	-	-	-	-	-	-	4.719
WSW	247.5	.453	2.432	2.716	.668	.079	.009	.002	-	-	-	-	6.359
W	270.0	.153	.582	.546	.149	.032	.005	-	-	-	-	-	1.466
WNW	292.5	.129	.302	.311	.113	.011	-	-	-	-	-	-	.866
NW	315.0	.111	.316	.318	.111	.009	-	-	-	-	-	-	.864
NNW	337.5	.153	.318	.219	.102	.011	.002	.007	-	-	-	-	.812
Total	2.170	32.120	41.498	16.145	5.012	1.635	.708	.408	.178	.050	.023	.052	100 %

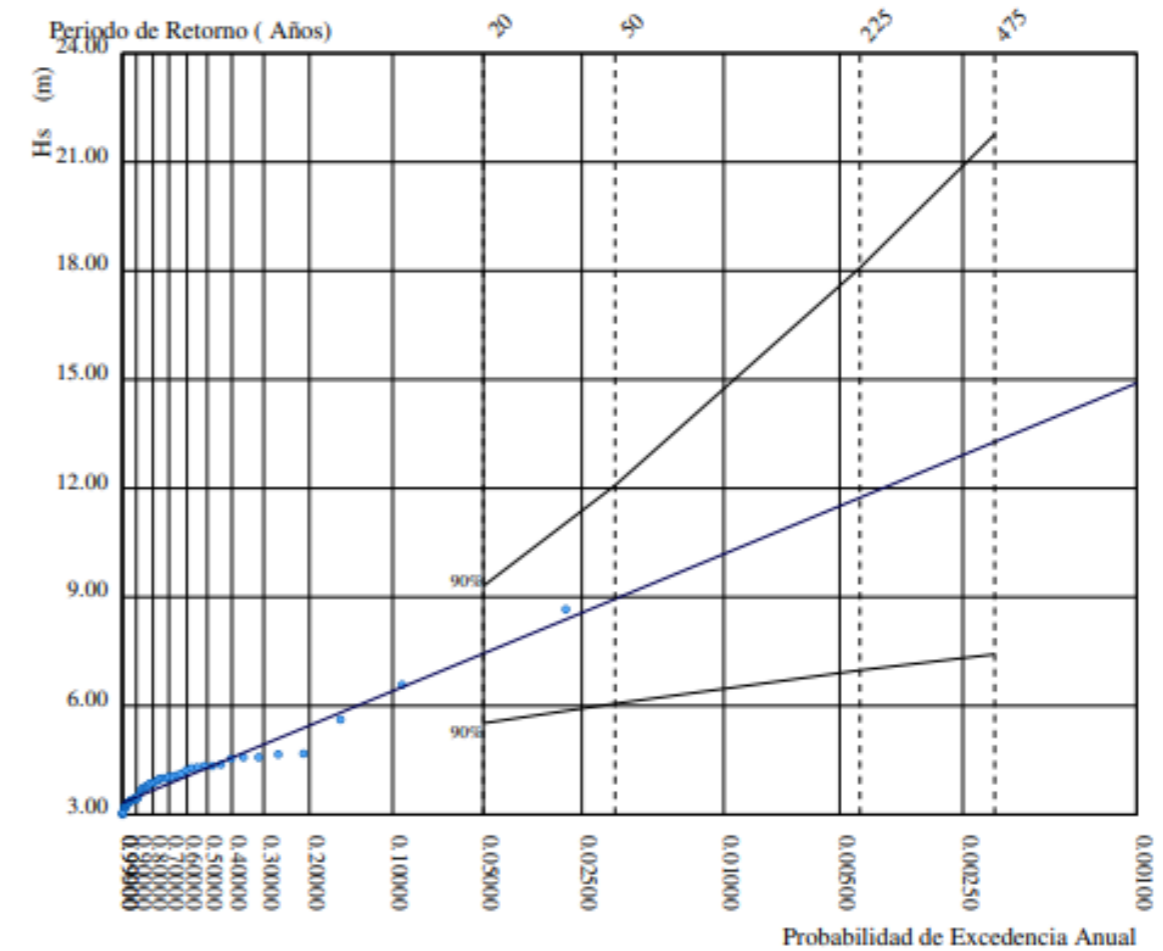
Tabla 17. Altura significativa (Hs) - Dirección de Procedencia en % [35]

Tabla Periodo de Pico (Tp) - Altura Significativa (Hs) en %

Hs (m)	Tp (s)											Total
	≤ 1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	> 10.0	
≤ 0.5	-	0.077	4.468	9.186	8.721	7.058	3.458	0.922	0.169	0.142	0.005	34.206
1.0	-	-	1.062	12.050	11.571	6.803	5.306	3.991	0.601	0.145	0.023	41.551
1.5	-	-	-	0.933	7.228	2.677	1.764	2.105	1.010	0.434	0.016	16.166
2.0	-	-	-	0.002	1.025	1.466	0.768	0.754	0.454	0.522	0.027	5.019
2.5	-	-	-	-	0.014	0.278	0.411	0.375	0.217	0.309	0.034	1.638
3.0	-	-	-	-	-	0.023	0.147	0.248	0.124	0.133	0.034	0.709
3.5	-	-	-	-	-	0.002	0.036	0.151	0.072	0.129	0.018	0.409
4.0	-	-	-	-	-	-	0.002	0.075	0.036	0.047	0.018	0.178
4.5	-	-	-	-	-	-	-	0.005	0.009	0.025	0.011	0.050
5.0	-	-	-	-	-	-	-	0.002	0.005	0.005	0.011	0.023
> 5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.002	0.023	0.027	0.052
Total	-	0.077	5.529	22.172	28.559	18.307	11.892	8.628	2.699	1.913	0.224	100 %

Tabla 18. Periodo de Pico - Altura de ola significativa [35]

Tal y como se puede observar en la Gráfica 8 y Gráfica 9, la dirección del oleaje que predomina en la zona objeto del estudio es la dirección ENE seguida de la NE. La altura de ola significativa se obtiene a partir de la página de Puertos del Estado donde se obtiene la información histórica del oleaje en regímenes extremales de la Boya de Valencia ya mencionada previamente. Atendiendo a la Gráfica 1 que relaciona la Altura significativa (Hs) con la probabilidad de excedencia se obtiene lo siguiente.



P. de Retorno (Años)	20.00	50.00	225.00	475.00
Estima Central de Hs (m)	7.43	8.94	11.73	13.27
Banda Sup. 90% Hs	9.31	12.07	18.08	21.77
Valor Esperado de Tp (s)	10.87	11.76	13.23	13.95
Prob. de Exc. en 20 Años	0.64	0.33	0.09	0.04
Prob. de Exc. en 50 Años	0.92	0.64	0.20	0.10

Parametros del Ajuste POT de Altura Significante

Umbral de Excedencia	3.00 (m)	Parametros de la	Alfa = 3.31
Num. Min. de Dias Entre Picos	5.00	Distribucion Weibull	Beta = 0.38
Num. Med. Anual de Picos (Lambda)	4.13	de Excedencias	Gama = 0.62

Relacion entre Altura Significante (m) y Periodo de Pico (s)

$$Tp = 4.58 Hs^{0.43}$$

Gráfica 10. Hs - Periodo de Retorno - Probabilidad de Excedencia [35]

Para un periodo de retorno de 200 años, una Probabilidad de Excedencia Anual de 0.01 se obtiene una **altura de ola significativa (Hs) de 8,05 metros**. Por otra parte, el Periodo de Pico (Tp) se obtiene mediante la fórmula que aparece en la parte inferior del Gráfico 1:

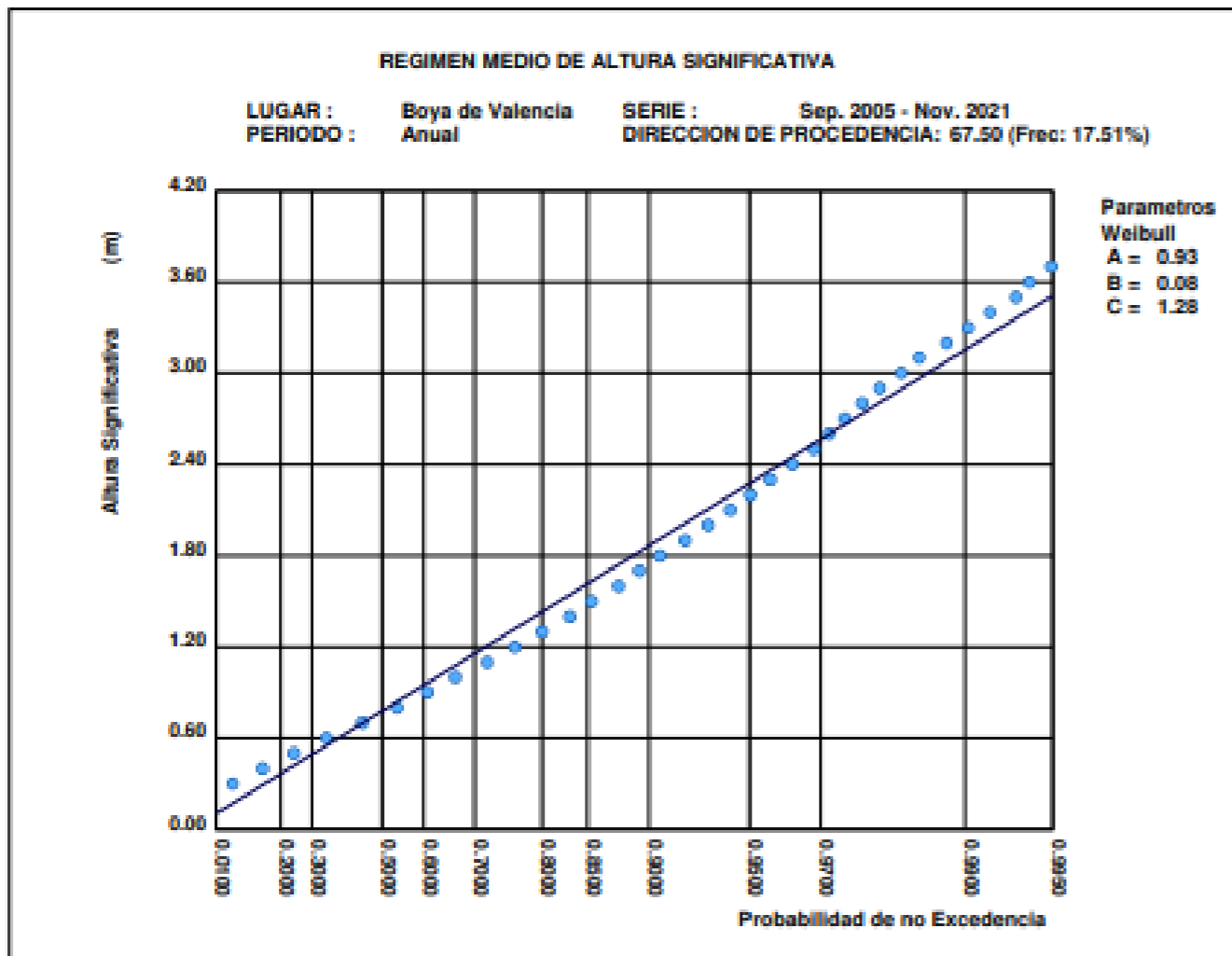
$$T_p = 4.58 H_s^{0.43}$$

Obteniendo de esta forma un **periodo de oleaje pico (Tp) de 11,23 segundos**.

4.1.2.2 RÉGIMEN MEDIO

En este apartado se va a obtener la altura significativa para el régimen medio de las tres direcciones principales o predominantes en la zona objeto del estudio, interpretando las gráficas 11, 12 y 13 se observa que estas direcciones son la ENE, NE y la E.

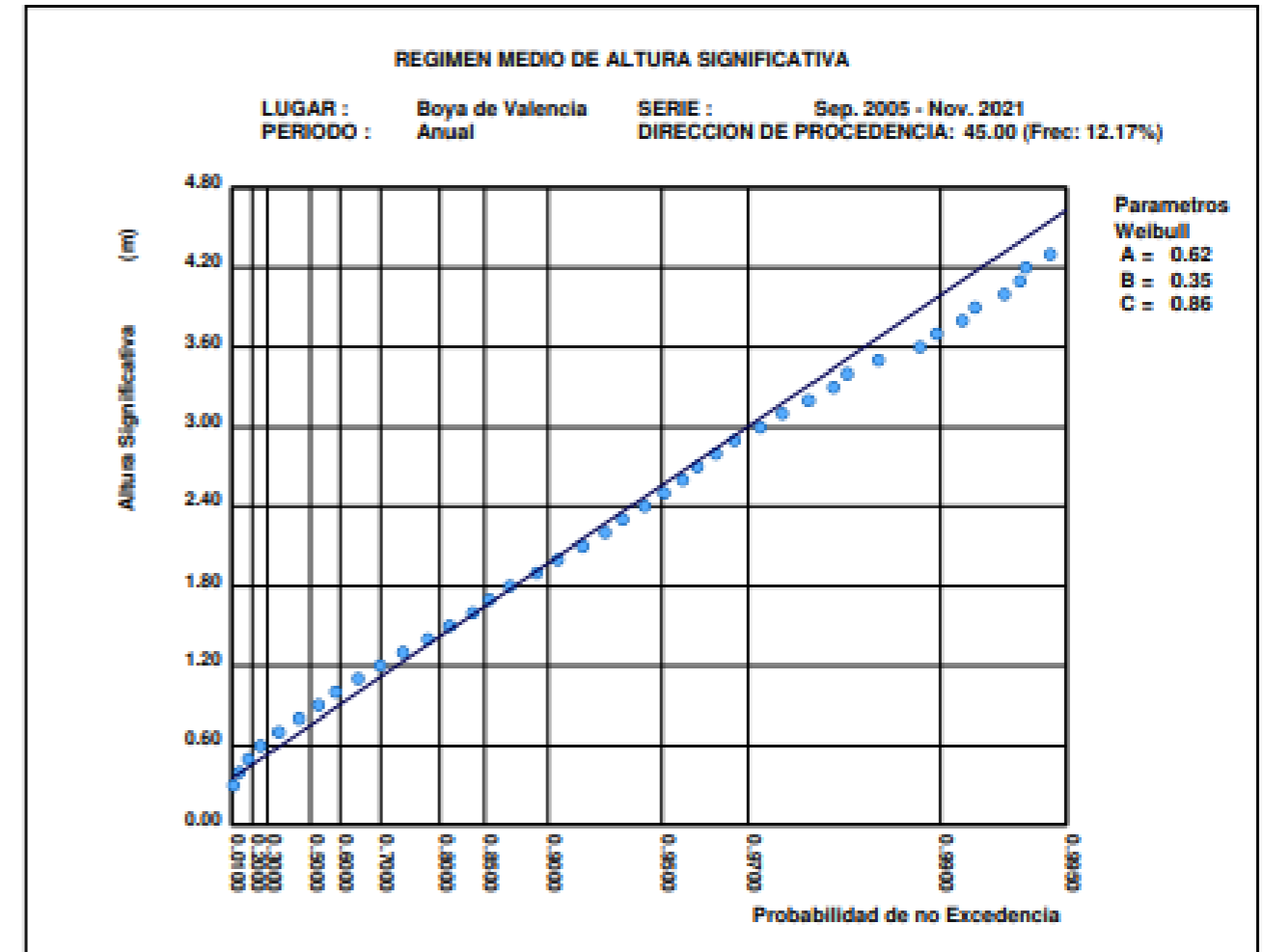
ENE



Gráfica 11. Régimen medio de altura significativa (ENE) [35]

Con una probabilidad de no excedencia de 99% se tiene que la **altura de ola significativa (Hs) es de 3,2 metros** y el **periodo de pico (Tp), empleando la misma fórmula, es 7,55 segundos**.

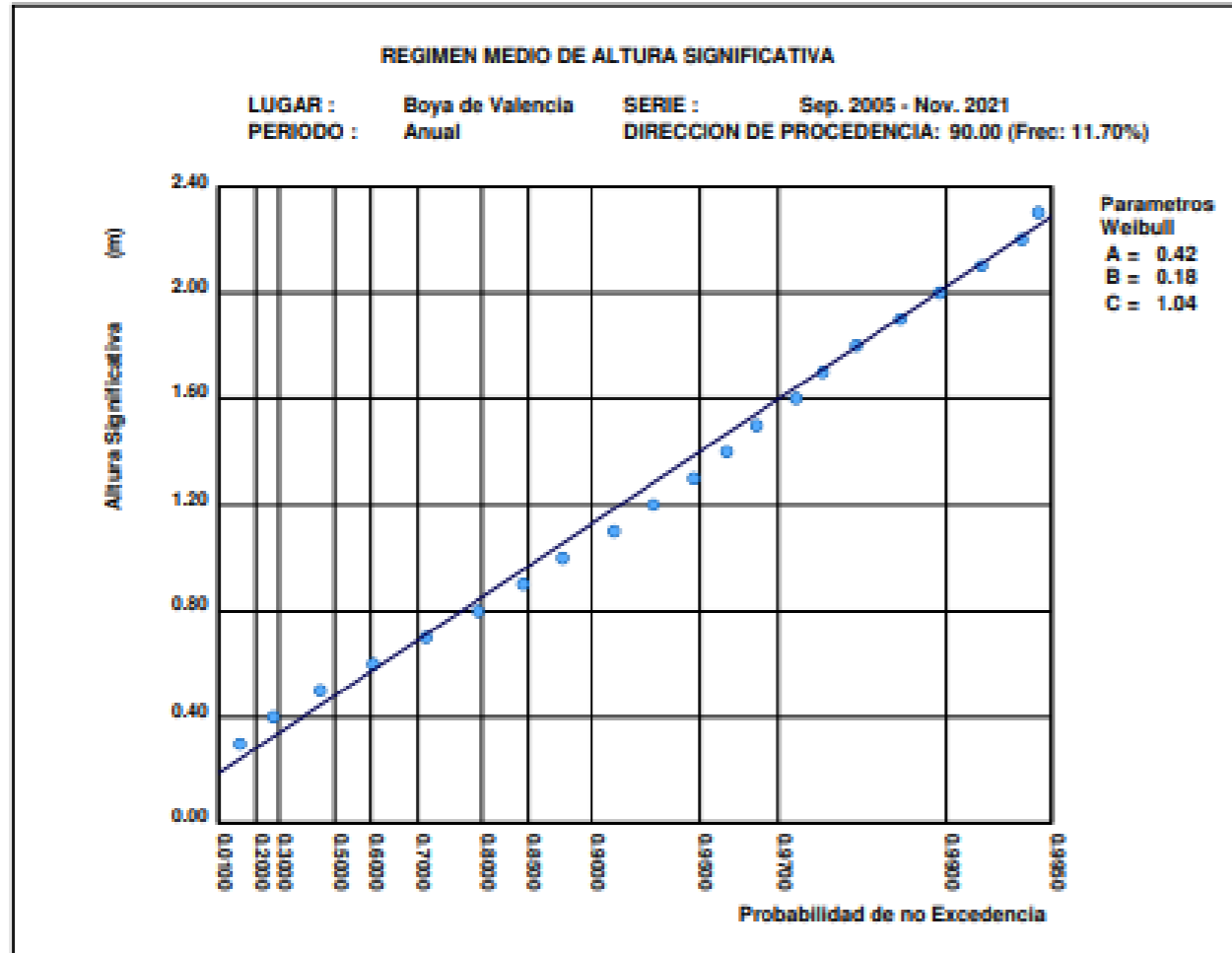
NE



Gráfica 12. Régimen medio de altura significativa (NE) [35]

Con una probabilidad de no excedencia de 99% se tiene que la **altura de ola significativa (Hs) es de 4 metros** y el **periodo de pico (Tp) es 8,31 segundos**.

E



Gráfica 13. Régimen medio de altura significativa [35]

Con una probabilidad de no excedencia de 99% se tiene que la **altura de ola significativa (Hs)** es de **2 metros** y el **periodo de pico (Tp)** es **6,17 segundos**.

4.1.2.3 PROPAGACIÓN DEL OLAJE

Hay que destacar que la Boya de Valencia donde se han extraído los datos se encuentra alejada del Puerto de Valencia y, la altura de ola al igual que la dirección de la misma que se calcula con los datos de la boya no va a ser la misma que la que verdaderamente llega al puerto donde se pretende situar un dispositivo o sistema de energía undimotriz. Por ello es necesario caracterizar con la mayor exactitud posible la ola que llega.

Para poder obtener el oleaje a pie de dique se ha empleado la Tabla 17 obtenida de la web de Puertos del Estado [35] y la ayuda del portal virtual CRESS [13]. En primer lugar, para obtener el periodo de pico medio (Tm), gracias a la Tabla 18 se detalla el periodo de pico más probable para cada altura de ola y mediante la siguiente fórmula se obtiene el periodo de pico medio.

$$T_m = \frac{T_p}{1.25}$$

Tm	3,2	3,2	4	4,8	5,6	6,4	6,4	6,4	8	8
Hs	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5

Tabla 19. Periodo de pico medio para cada altura de ola. Fuente: Elaboración propia.

Con esta información y sabiendo que la profundidad a pie de dique es aproximadamente 20 metros, se acude al CRESS [13].

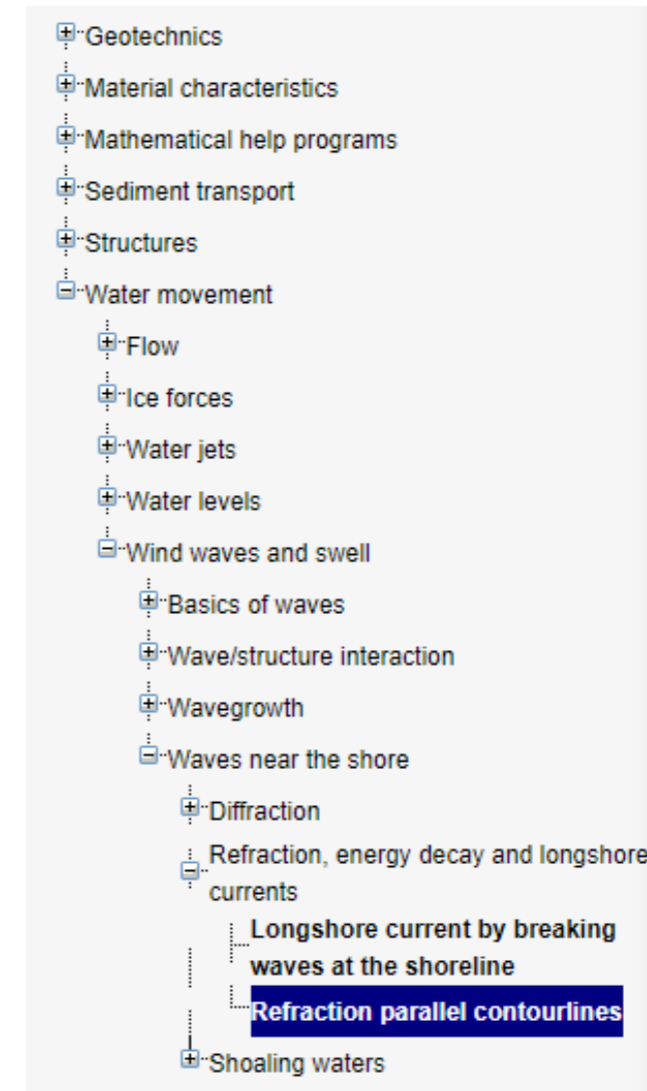


Figura 34. Herramienta elegida para calcular la propagación del oleaje [13]

La herramienta escogida en el CRESS asume los siguientes puntos de partida:

- No se tienen en cuenta las corrientes
- Método según la teoría de ondas lineales
- Fondo impermeable duro/rígido con pendientes suaves y contornos de profundidad paralelos
- No se tiene en cuenta la reflexión/refracción desde los límites
- Ausencia de discontinuidades en las crestas de las olas
- El periodo de la ola es el mismo en todas partes
- No se produce disipación de la energía de las olas

Con las premisas claras se calcula la variación de la altura de ola para cada una de las alturas (con sus respectivos periodos de pico medios) y para cada una de las direcciones que llegan al puerto (NE, ENE, E, ESE, SE y SSE). En la Fig. 34 se muestra un ejemplo (Hs = 3 metros en la dirección NE) de como se usa la herramienta y la altura de ola resultante (Hs' = 2,796) metros después de la propagación desde la boya. Destacar que el input del ángulo de la dirección es el de la dirección respecto a la normal de la línea batimétrica, estimando aproximadamente la batimetría 5 grados respecto al norte.

Dirección	Ángulo respecto normal de batimetría
NE	50°
ENE	27,5°
E	5°
ESE	17,5°
SE	40°
SSE	62,5°

Tabla 20. Ángulos que forman las direcciones respecto a la normal de la línea batimétrica. Fuente: Elaboración propia.

Hay que tener en cuenta que la probabilidad de que llegue la ola será la misma, pero dado que llegará con una altura de ola menor a la detectada por la boya hay que analizar si esta probabilidad entra en el rango de una altura de ola menor o no. Si es el caso, trasladar la probabilidad al rango de ola al que pertenece la respectiva altura de ola. Siguiendo este proceso se obtiene la tabla de probabilidades análoga a la Tabla 17 pero a pie de dique, que es donde interesa saber que oleaje habrá porque es el que recibirá el sistema de energía undimotriz. Por otra parte, la dirección de las olas con la propagación de la misma también varía, es decir, la ola a medida que se acerca a la costa tiende a la perpendicularidad respecto a la línea de costa. Para el análisis de la variación del oleaje se ha empleado la Ley de Snell que calcula el cambio de dirección del oleaje relacionando la variación de los senos del ángulo con la celeridad de ambas ondas (antes y después de la propagación).

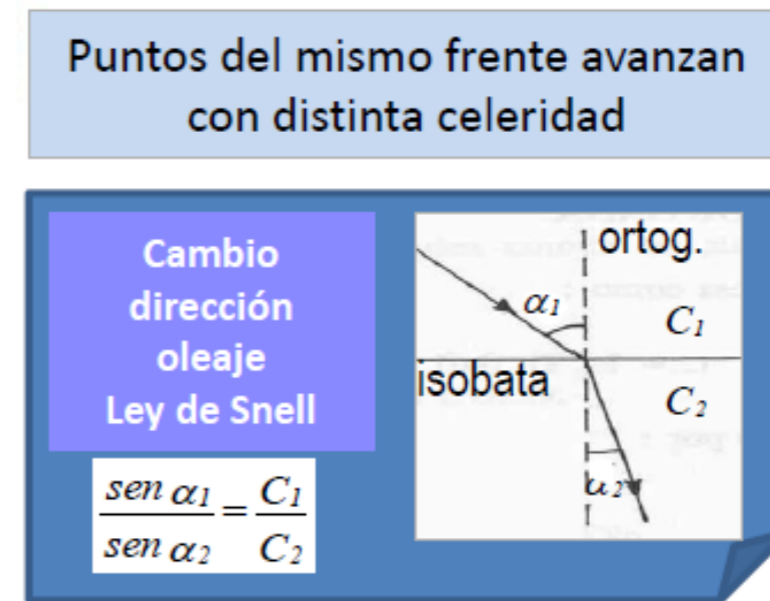


Figura 36. Ley Snell. Fuente: Apuntes UPV

El cálculo de la celeridad requiere la longitud de onda de la ola.

$$L = CT = \frac{gT^4}{2\pi} \tanh kd$$

A su vez en la misma ecuación se tiene el término "k" que para su cálculo se necesita la longitud de onda. Así que empleando la función objetivo de la herramienta Excel se han obtenido los resultados de la Tabla 20.

A12.1 Refraction parallel contourlines [2.0] Coastal and River Engineering Support System

Parameters Graphic Help

Input

- h: 20,00 m
- T_m: 6,40 s
- H₀: 3,00 m
- θ₀: 50,00 °
- H: 2,796 m

Output

- K_r: 0,98
- K_s: 0,95
- U: 1,33
- L: 61,75 m
- Commentary: Lin. theory ok
- Commentary: broken wave

Input

- γ: 0,78

Output

- L_{op}: 63,90 m

Calculate Save Load Graphic Report

Figura 35. Instantánea del cálculo de la propagación del oleaje del NE para un Hs = 3 m y dirección NE [13]

Hs	Tm [s]	d[m]	F(L)=0	L[m]	C[m/s]
0,5	3,2	20	-7,35E-07	15,98781	4,9961907
	3,2	250	0	15,987814	4,996192
1	3,2	20	-1,544E-07	15,98781	4,9961905
	3,2	250	-3,214E-05	15,987846	4,996202
1,5	4	20	7,284E-07	24,978827	6,2447066
	4	250	0	24,98096	6,24524
2	4,8	20	-7,415E-05	35,90707	7,4806397
	4,8	250	-1,019E-08	35,972582	7,494288
2,5	5,6	20	-2,97E-05	48,420379	8,6464963
	5,6	250	-6,805E-09	48,962681	8,743336
3	6,4	20	-1,202E-05	61,797286	9,6558259
	6,4	250	-1,441E-05	63,951272	9,9923862
3,5	6,4	20	-1,202E-05	61,797286	9,6558259
	6,4	250	-1,441E-05	63,951272	9,9923862
4	6,4	20	-1,202E-05	61,797286	9,6558259
	6,4	250	-1,441E-05	63,951272	9,9923862
4,5	8	20	-2,376E-05	88,792692	11,099087
	8	250	-1,263E-05	99,923852	12,490482
5	8	20	-2,376E-05	88,792692	11,099087
	8	250	-1,263E-05	99,923852	12,490482

Tabla 21. Cálculo de la celeridad para las dos profundidades y para cada Hs

Con las celeridades ya es posible aplicar la Ley Snell como se ha mencionado.

Hs	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
	50	27,5	5	17,5	40	62,5
0,5						
	49,999983	27,499992	4,9999987	17,499995	39,999988	62,499972
1						
	49,999843	27,499931	4,9999885	17,499958	39,999889	62,499747
1,5						
	49,994169	27,497453	4,9995719	17,498457	39,995894	62,490602
2						
	49,875807	27,445695	4,9908711	17,467103	39,9125	62,300224
2,5						
	49,249551	27,170142	4,9444822	17,300022	39,469562	61,304808
3						
	47,752101	26,499893	4,8311843	16,892535	38,399245	58,996387
3,5						
	47,752101	26,499893	4,8311843	16,892535	38,399245	58,996387
4						
	47,752101	26,499893	4,8311843	16,892535	38,399245	58,996387
4,5						
	42,899137	24,224402	4,4418287	15,498209	34,832787	52,017709
5						
	42,899137	24,224402	4,4418287	15,498209	34,832787	52,017709

Tabla 22. Variación del ángulo respecto a la normal de batimetría de las direcciones por la propagación del oleaje

Se concluye que los ángulos de las direcciones tienden a ir a la normal de la línea batimétrica como se ha mencionado previamente pero no llegan a cambiar de dirección por lo que no es necesario trasladar ninguna probabilidad a otra dirección. Con todo ello, la tabla de altura de ola significativa (Hs) – Dirección de procedencia en %, después de haber calculado la propagación es la siguiente.

Tm		3,2	3,2	4	4,8	5,6	6,4	6,4	6,4	8	8
Hs		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
NE	45	2,093	7,825	1,137	0,553	0,293	0,187	0,117	0,014	0,045	-
ENE	67,5	4,212	10,751	1,387	0,634	0,284	0,169	0,074	0,023	0,016	-
E	90	5,351	4,938	1,265	0,106	0,029	0,023	0,007	-	-	-
ESE	112,5	5,461	3,246	0,456	0,011	0,009	0,002	0,002	-	-	-
SE	135	6,061	4,286	0,293	0,007	-	-	-	-	-	-
SSE	157,5	3,889	5,421	1,358	0,007	-	-	-	-	-	-

Tabla 23. Altura de ola significativa (Hs) - Dirección de procedencia en % a pie del dique del Puerto de Valencia. Fuente: Elaboración propia.

4.2 BATIMETRÍA

La batimetría se trata del equivalente submarino de la altimetría por lo que se trata un condicionante muy importante para cualquier tipo de proyecto u obra que se vaya a ejecutar en el litoral. Concretamente, para un proyecto de energía undimotriz no deja de ser importante por dos factores, la viabilidad técnica y económica. En el apartado “5. Viabilidad” se comentará de forma precisa los problemas o ventajas sobre la batimetría que se presenta en el entorno del Puerto de Valencia.

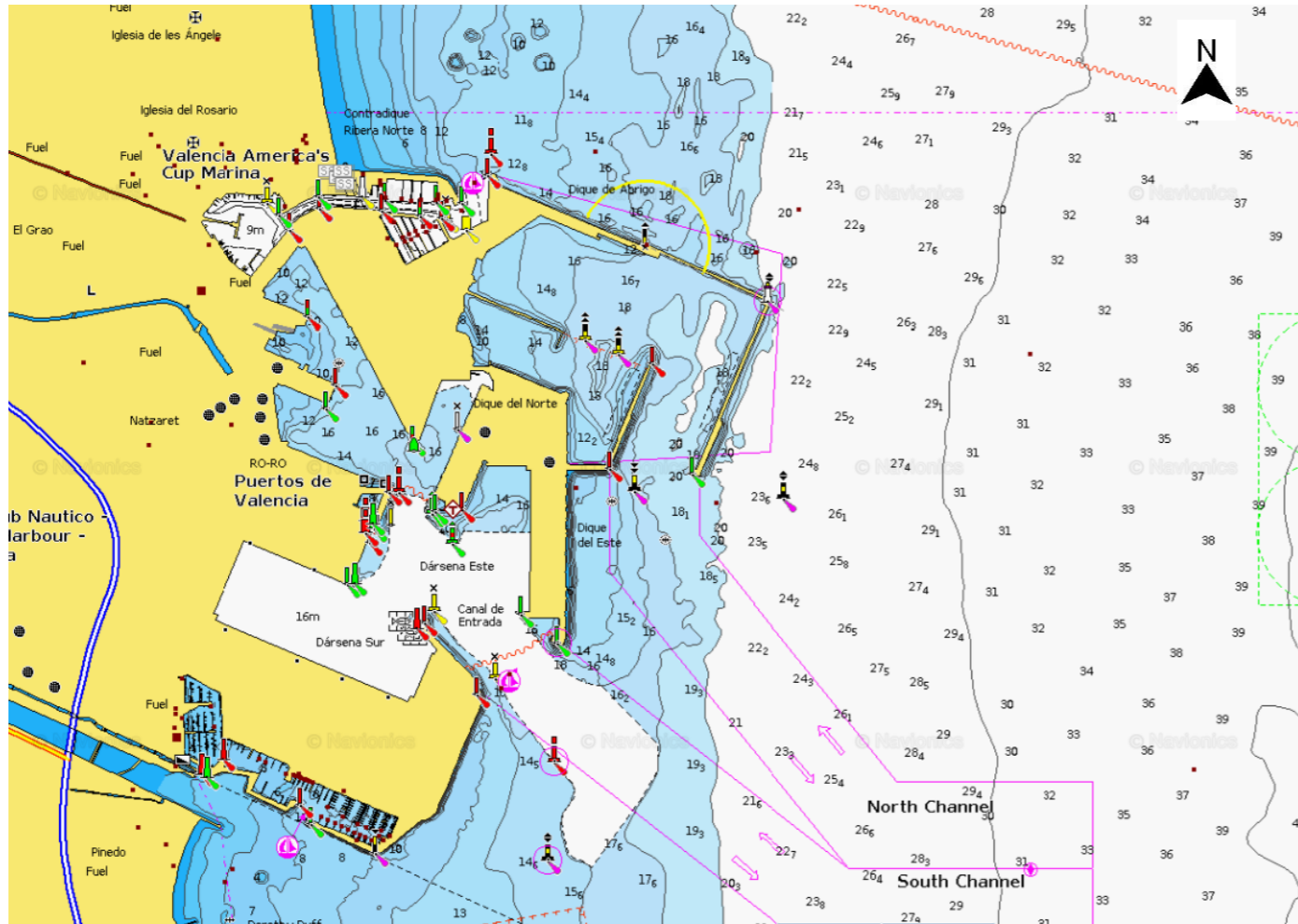


Figura 37. Batimetría del Puerto de Valencia [19]

Para empezar, observando la rosa de altura significativa (Gráfica 8) se observa que las direcciones predominantes son la ENE y la NE, por tanto, se deduce que la ubicación idónea del dispositivo es a pie del dique de abrigo norte del puerto. Analizando la Fig. 33, en las inmediaciones del dique de abrigo norte del puerto la profundidad oscila entre 12 y 26 metros y como se ha analizado en la Tabla 10 el WaveStar entra dentro del rango de profundidad óptimo para su viabilidad funcional.

4.3 CAMBIO CLIMÁTICO

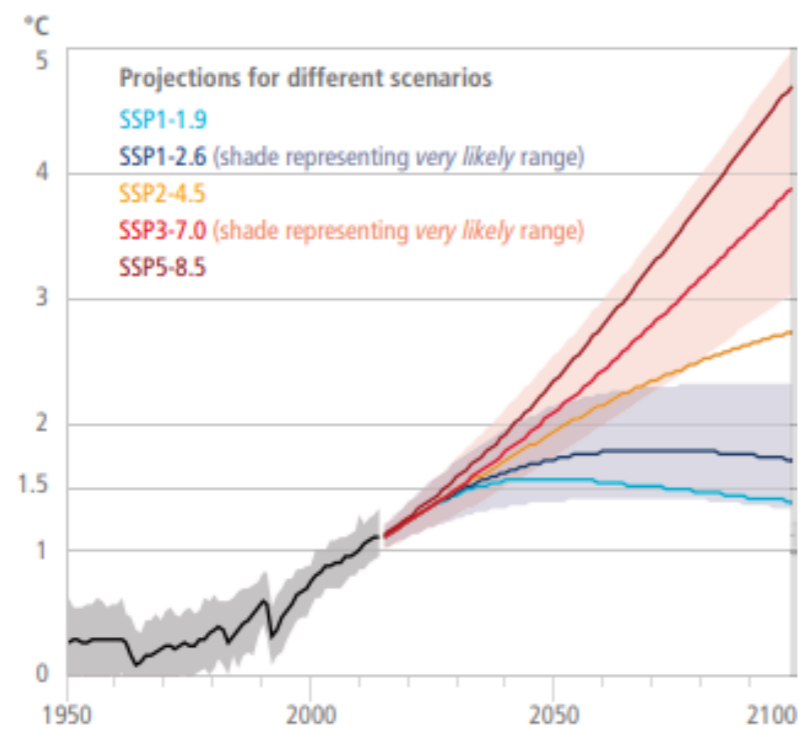
4.3.1 GENERALIDADES

Dentro del ámbito ingenieril, el efecto del cambio climático en el medio resulta muy interesante de investigar, concretamente en el clima marítimo por la variación del nivel del mar por el deshielo de los casquetes polares. Por otra parte, este problema afectará a la vida útil del sistema de energía undimotriz que se vaya a situar. Cabe destacar que el cambio climático no solo afecta al nivel del mar, sino que también afecta al viento y, por tanto, al oleaje que es el tema principal y la fuente de energía mecánica para la generación de electricidad a partir de la energía undimotriz. Normalmente para el campo del estudio del clima marítimo se emplea el “hindcasting” que se trata de la previsión del oleaje con datos del viento a partir de datos extraídos en el pasado. Los datos obtenidos a través de este método proporcionan resultados fiables, pero a la hora de estudiar el cambio climático esto no es tan sencillo, así que lo que se debe realizar es un análisis científico continuo si de verdad se quieren estimar resultados realistas.

Los primeros registros en cuanto a temperatura son del año 1850 y, desde entonces, la temperatura ha crecido de forma continua. Llegando a la cifra de ascender 0,85 grados centígrados en el año 2012 generando un aumento del nivel del mar. Como se ha mencionado previamente, es el deshielo y por ello pérdida de numerosos mantos de hielo lo que provoca el aumento del nivel del mar. Ha sido entre los años 1992 y 2011 donde se han detectado las mayores tasas de deshielo y siendo en los últimos años del periodo mencionado donde se detecta el aumento brusco de esta tasa. El dato importante de todo ello es que durante el 1901 y 2011 la cota del nivel del mar aumento exactamente 0,19 metros [18]. La previsión es que las temperaturas aumenten y que las zonas frías disminuyan.

Para poder hacer un análisis sobre el cambio climático hay que diferenciar entre proyección y predicción. La Intergovernmental Panel on Climate Change [18] afirma que una predicción es “el resultado de un intento de obtener (a partir de un estado particular del sistema climático) una estimación de la evolución real del clima en el futuro” (IPCC, 2013), es decir, las predicciones se basan en la estadística y, por otra parte, es la proyección una simulación del clima en distintos escenarios de las concentraciones de gases de efecto invernadero a través de modelos climáticos. Hay que destacar que el aumento de los gases de efecto invernadero que afectan al calentamiento global vienen provocados por causas demográficas y económicas, es decir, efectos antrópicos.

A continuación, en la siguiente gráfica se muestran los cambios proyectados en el sistema climático durante el periodo comprendido entre los años 1950 y 2100 [18]. La gráfica plantea cinco escenarios diferentes con emisiones distintas de CO2 siendo el escenario SSP5-8.5 el más desfavorable hasta el SSP1-1.9 el más favorable de los escenarios.



Gráfica 14. Cambios proyectados en el sistema climático entre la actualidad y el 2100 [18]

4.3.2 CAMBIO CLIMÁTICO EN EL MAR MEDITERRÁNEO

El Mar Mediterráneo se encuentra entre el Sur de Europa, el Norte de África y Oriente Medio, a través del estrecho de Gibraltar conectado con el Océano Atlántico. La afección del cambio climático a este mar ha sido estudiada desde hace escasas décadas. La situación climática del Mediterráneo se caracteriza por tener veranos secos e inviernos húmedos lo cual supone que esté expuesto a variaciones del cambio climático (Ulbrich et al. 2006).

El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) es un documento nacional español que tiene como propósito establecer una evaluación del cambio climático del litoral del país analizando los factores para el Mar Mediterráneo, el Cantábrico y el Océano Atlántico. Comparando los estudios a escala global con los recientes estudios del Mar Mediterráneo se puede concluir que este mar presenta una sensibilidad a la hora de estos cambios.

En base a informes del Instituto Español de Oceanografía se puede afirmar que existen dos tendencias diferentes del Mar Mediterráneo en dos periodos distintos:

- **Periodo entre 1948 – 1970:** Descenso de la temperatura media del aire y descenso de la superficie marina.
- **Periodo entre 1970 – 2007:** Aumento de la temperatura en 0,2 grados centígrados al igual que la salinidad del mar, entre 0,03 ups y 0,09 ups. El incremento de salinidad entre otros factores implica que las precipitaciones han disminuido.

A partir de los años 90 se detecta un decrecimiento de la presión atmosférica lo cual supone un aumento de las temperaturas y un aumento del nivel del mar llegando a una media de 2,5 a 10 mm/año. En el Mar Mediterráneo el nivel del mar es ascendente a lo largo del tiempo de 1,5 mm/año que comparando con otros litorales del país supone un 1 mm/año menos que el resto (Losada 2014).

El Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria [32] ha sido capaz de realizar proyecciones en base a dos escenarios distintos, RCP4.5 y RCP8.5 siendo el primero el escenario con una previsión optimista de bajas emisiones y el segundo planteando elevadas emisiones en el futuro. El visor C3E que ofrece el IH Cantabria también establece dos periodos de tiempos que son 2026-2045 y 2081-2100. A continuación, se muestran una serie de figuras donde se muestran las distintas situaciones descritas en los periodos mencionados tanto para la variación del nivel del mar como para el comportamiento del oleaje.

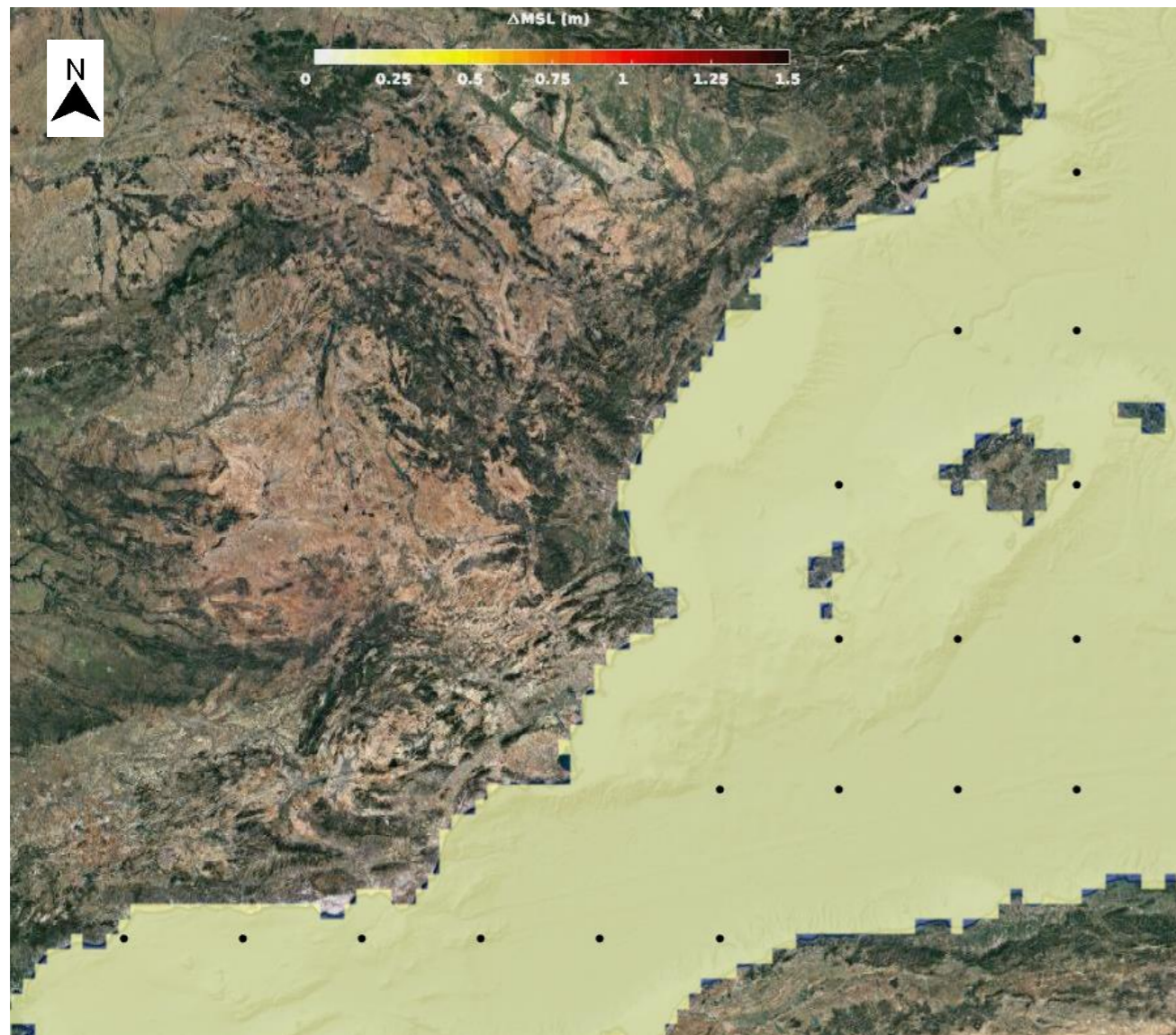


Figura 38. Proyección de la variación del nivel medio del mar para RCP4.5 entre 2026-2045 [32].

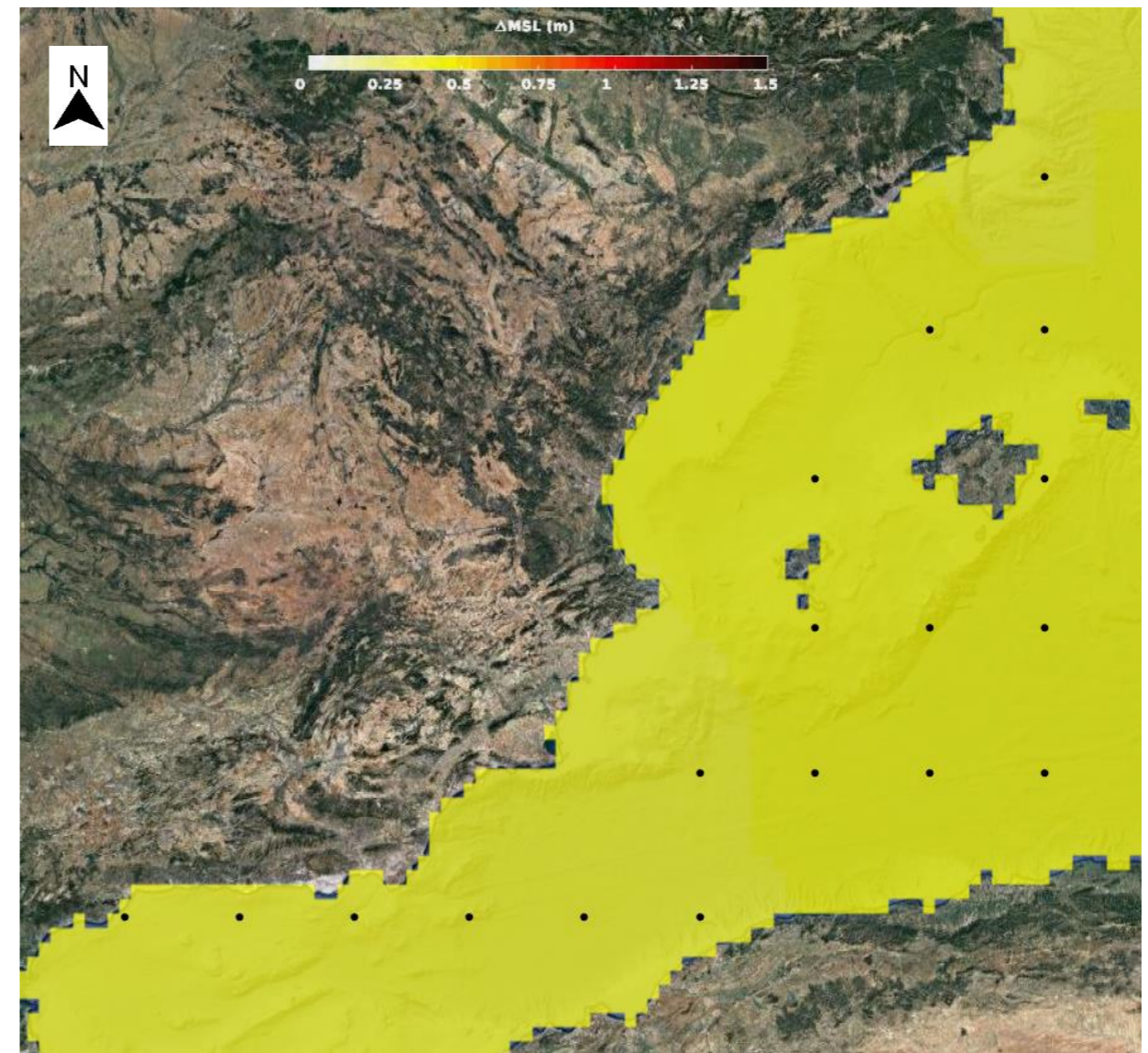


Figura 39. Proyección de la variación del nivel medio del mar para RCP4.5 entre 2081-2100 [32].

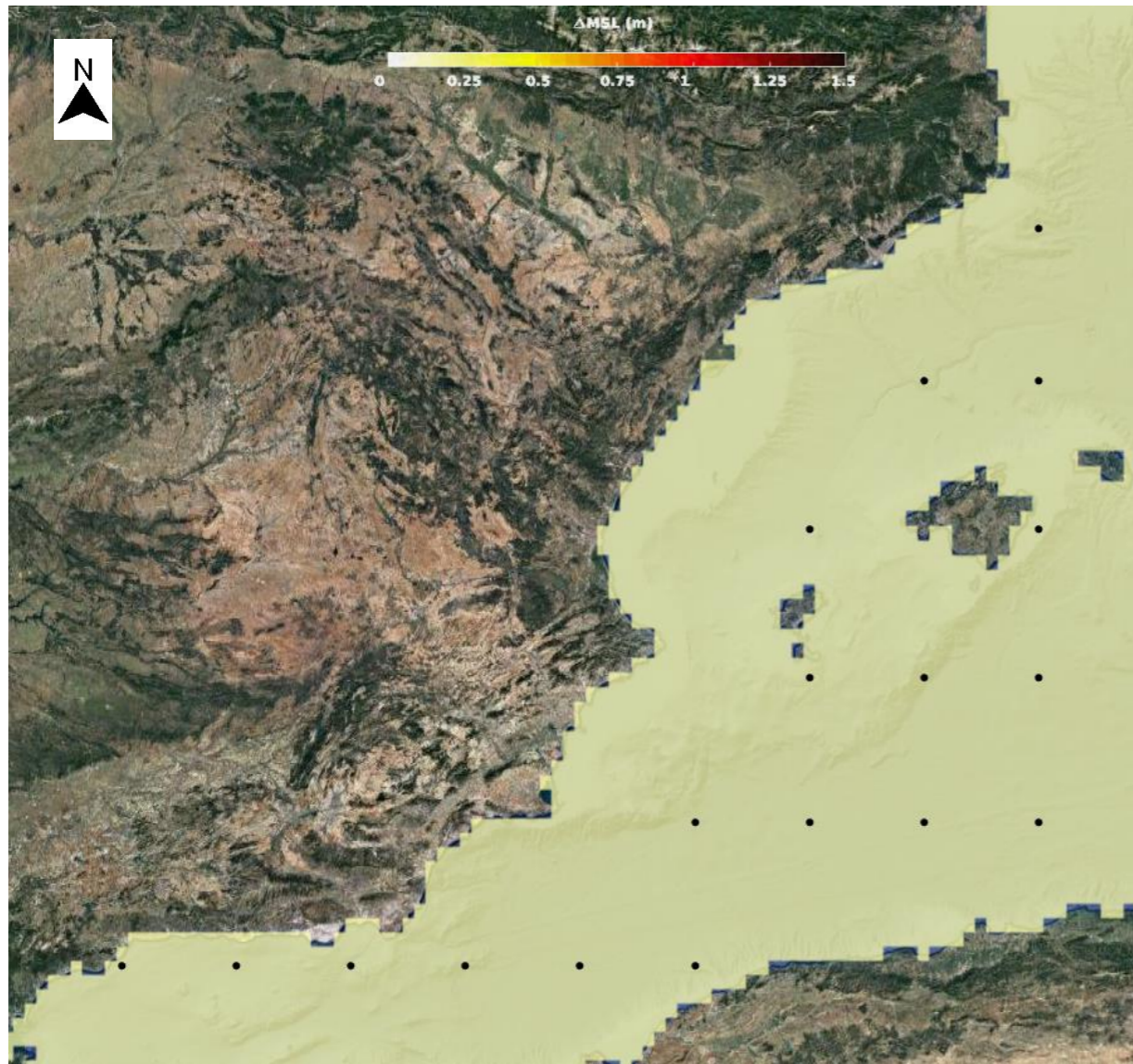


Figura 40. Proyección de la variación del nivel medio del mar para RCP8.5 entre 2026-2045 [32]

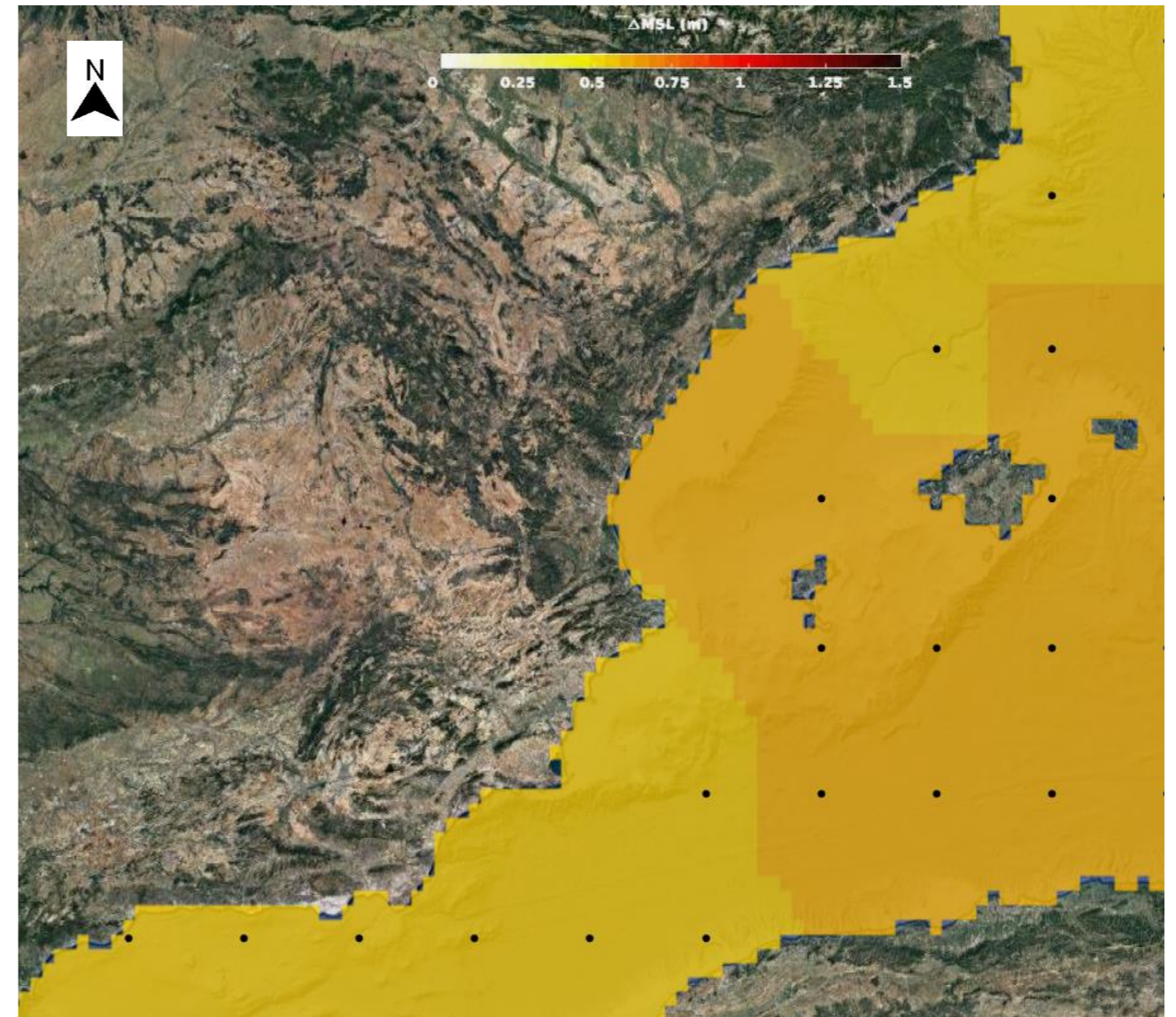


Figura 41. Proyección de la variación del nivel del mar para RCP8.5 entre 2081-2100 [32]

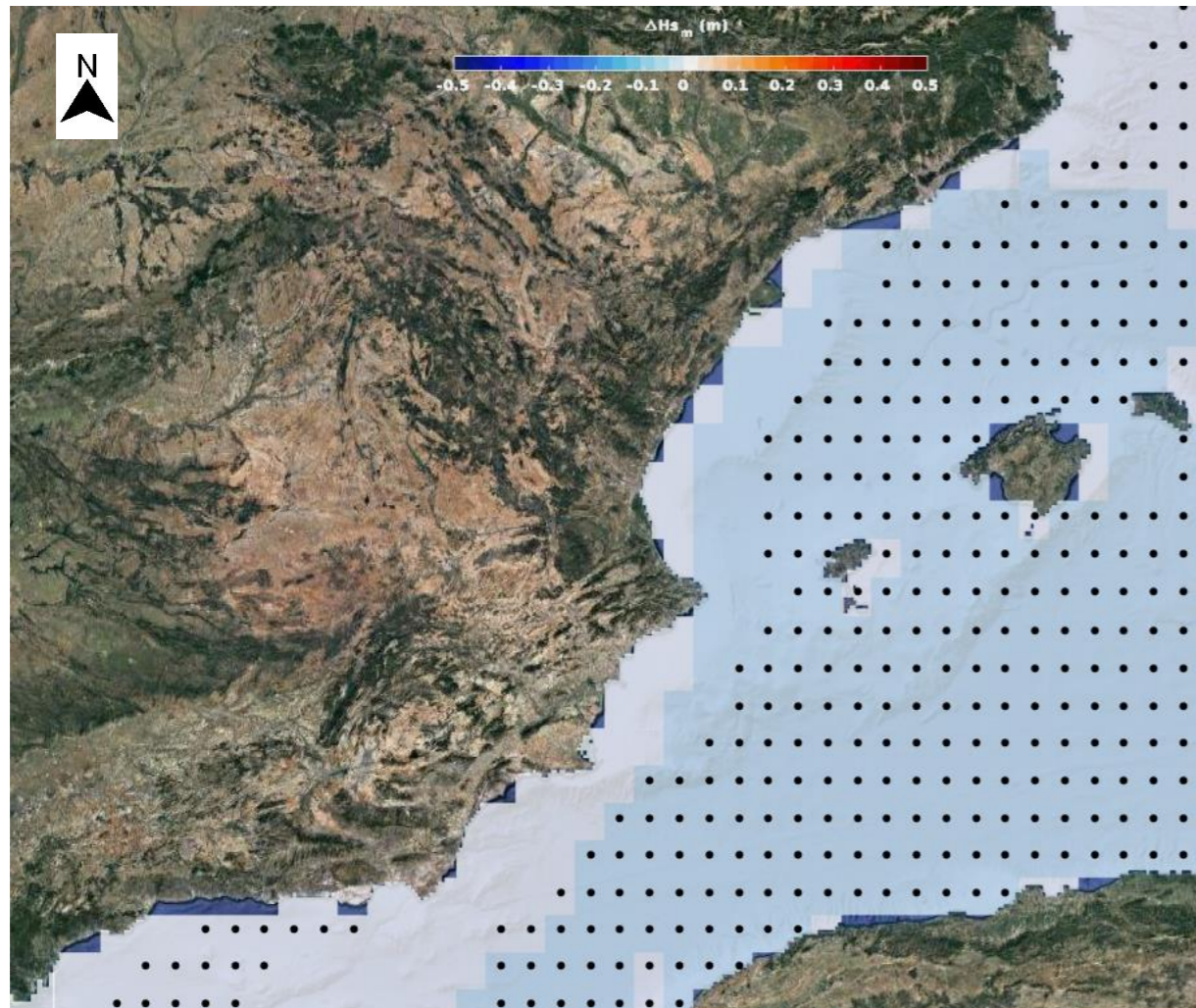


Figura 42. Proyección de la variación de altura media de la ola para RCP4.5 entre 2026-2045 [32]

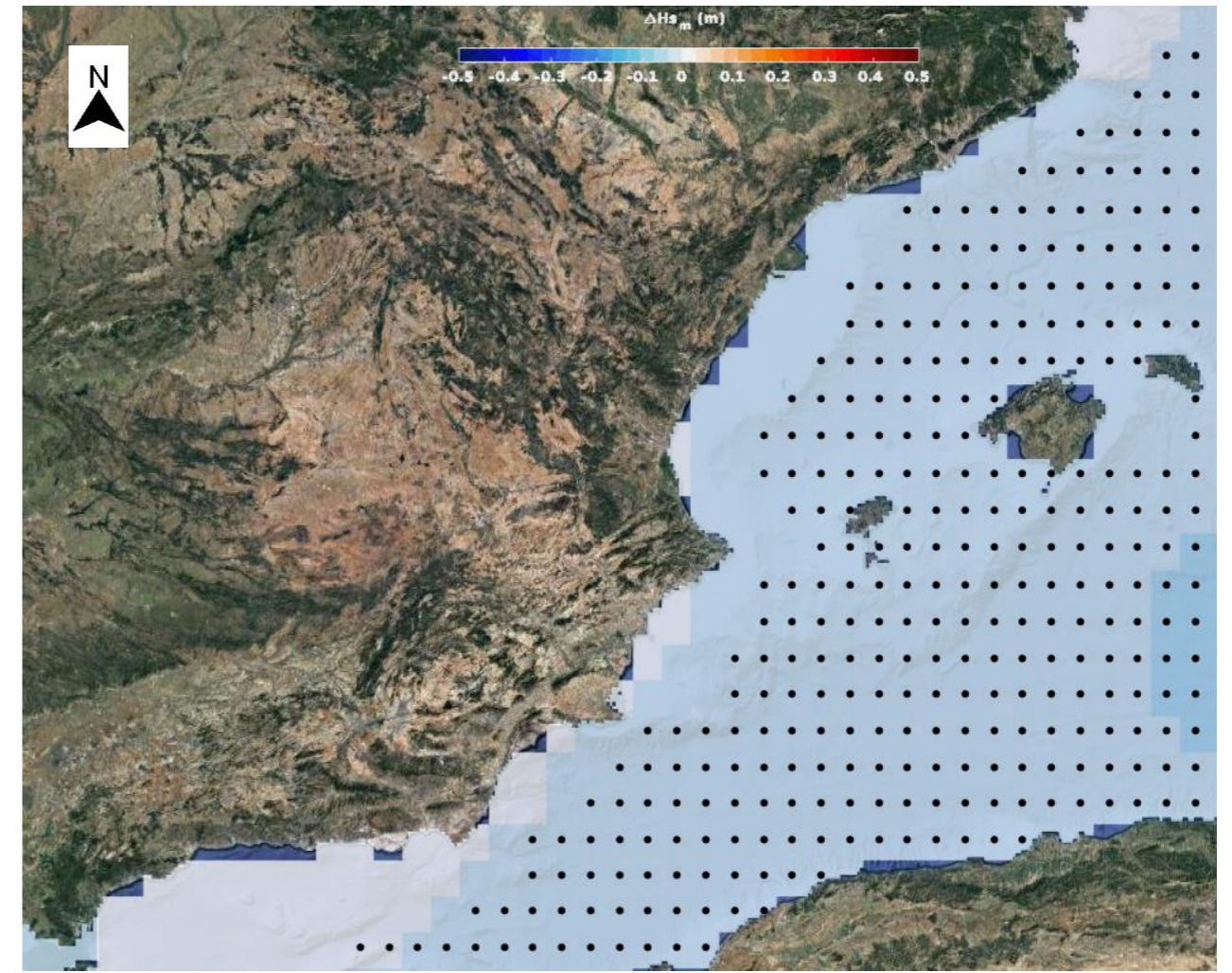


Figura 43. Proyección de la variación de altura media de la ola para RCP4.5 entre 2081-2100 [32]

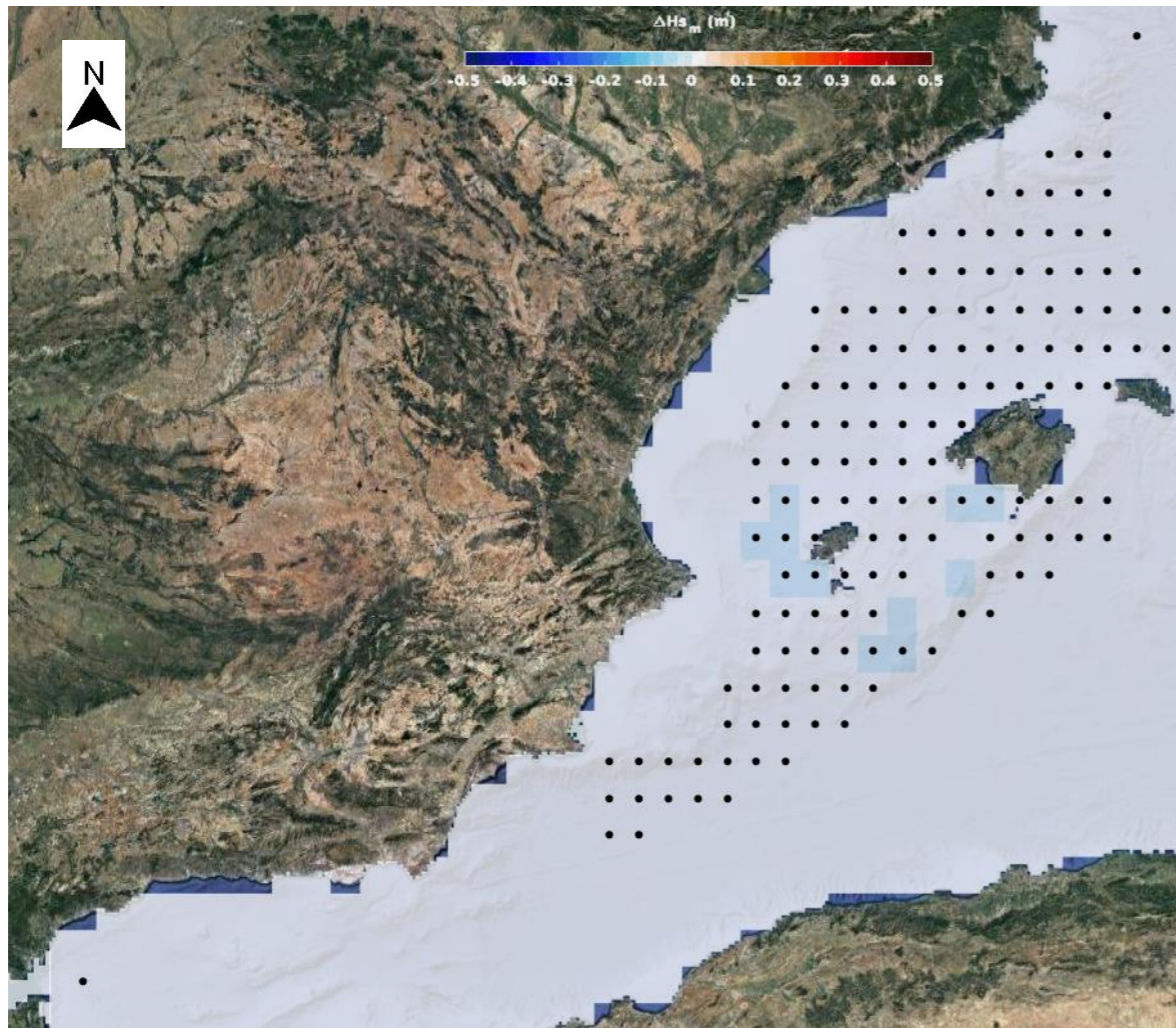


Figura 44. Proyección de la variación de altura media de ola para RCP8.5 entre 2026-2045 [32]

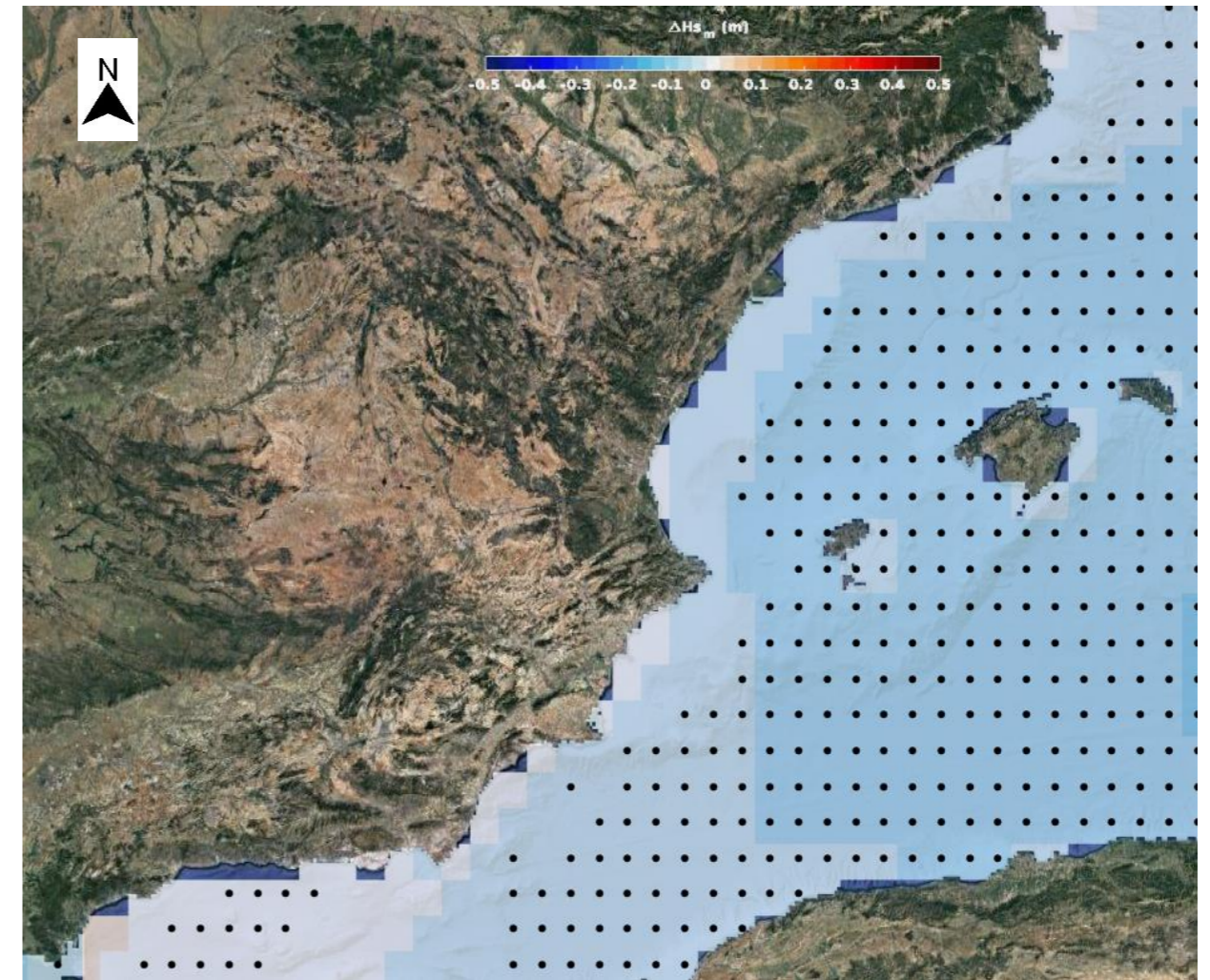


Figura 45. Proyección de la variación de altura media de ola para RCP8.5 entre 2081-2100 [32]

En primer lugar, la vida útil del dispositivo es de 20 años por lo que el objetivo es analizar si en los 20 años siguientes el oleaje variará y que repercusión tendrá en su rendimiento. Analizando entonces la variación de la altura de ola entre los años 2026 y 2045 en las Fig. 41 y 43 correspondientes a los escenarios optimista (RCP4.5) y pesimista (RCP8.5) en cuanto a emisiones de CO2, se observa que no existe una notable variación en la altura de ola en ninguno de ellos por lo que el dispositivo será capaz de trabajar al mismo rendimiento durante su vida útil.

Por otra parte, se ha analizado la cota de inundación que se puede generar por el cambio climático, pero para empezar correctamente sobre el análisis de la cota de inundación lo lógico es preguntarse: ¿Qué es una inundación?

Una inundación se trata de un fenómeno natural que sucede cuando el agua alcanza niveles máximos en los ríos, lagos y mares llegando a cubrir zonas de tierra que normalmente resultan ser secas o sin una presencia de agua constante. Por tanto, el cálculo para saber dónde va a alcanzar dicho nivel máximo resulta de gran importancia para el estudio de la viabilidad de obras marítimas y edificaciones en un tramo de costa o cercano al cauce de un río, tal y como podemos encontrar en el caso de tramo a analizar, es la cota de inundación, donde precisamente en la zona objeto del estudio cada vez que se produce un temporal suele haber una inundación ocasionando graves daños materiales. A continuación se presenta un croquis ilustrativo del concepto de cota de inundación en la costa.

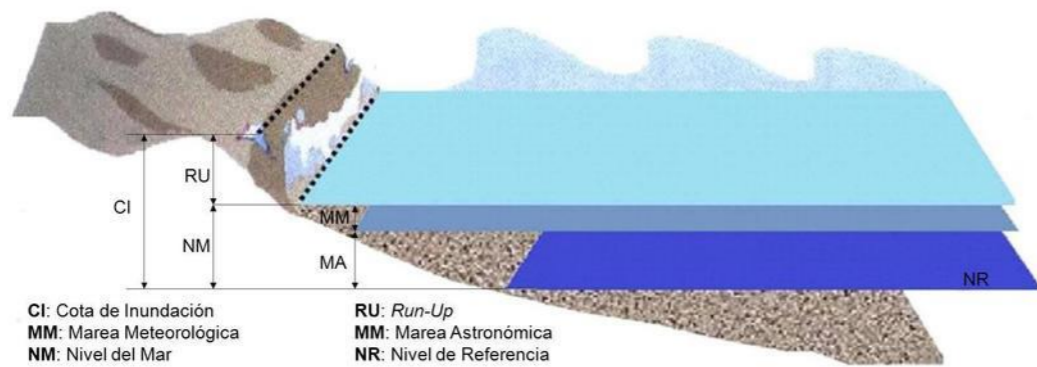


Figura 46. Croquis del concepto de Cota de Inundación.

Con todo ello, es preciso calcular la cota de inundación mediante el procedimiento correspondiente:

$$\text{Cota de inundación} = \text{CM} + \text{CC} + (0.2 * \text{Hs})$$

Siendo:

- **CM:** Carrera de Marea
- **CC:** Altura debida al Cambio Climático
- **Hs:** Altura de ola significativa

En primer lugar, para saber la **carrera de marea** se ha utilizado la página web de Puertos del Estado y se ha escogido el Mareógrafo de Valencia 3, tal y como se aprecia en la siguiente ilustración.

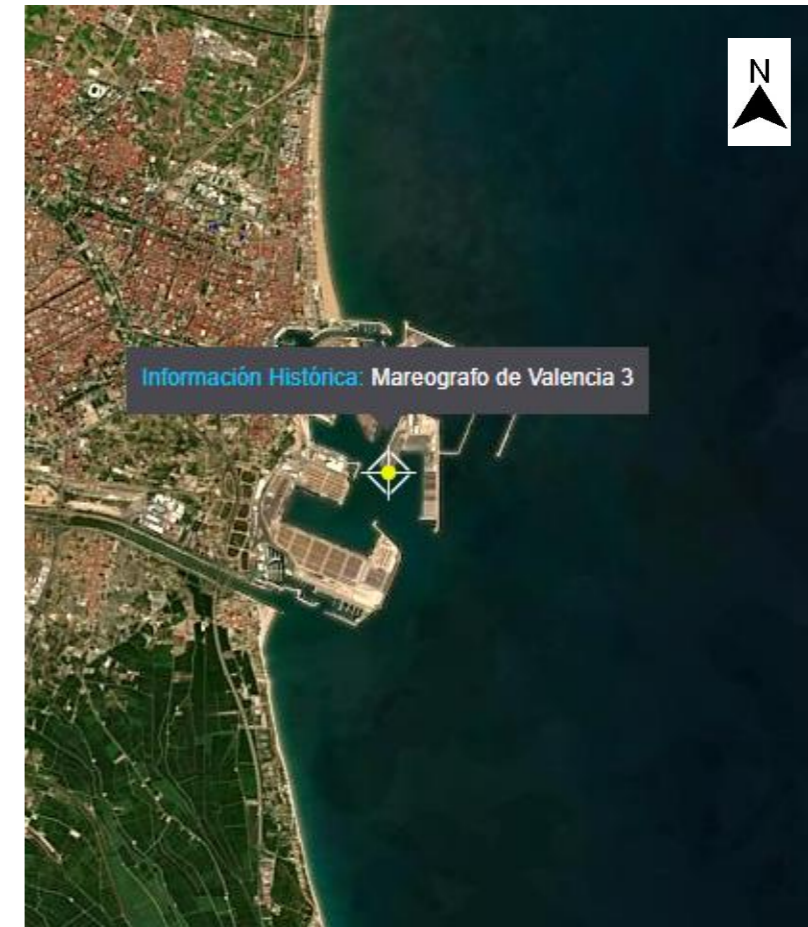


Figura 47. Localización del Mareógrafo del Puerto de Valencia. Fuente: Puertos del Estado.

Seguidamente, se han observado los datos mensuales del año 2022.

Extremos en Valencia 3 (2022)

Extremos de niveles cada 5 min (cm):

Mes	Máximo	Día	Minimo	Día
Ene	35.4	(5)	-21.5	(31)
Feb	26.1	(4)	-21.4	(1)
Mar	42.7	(15)	-11.4	(1)
Abr	42.2	(20)	-7.6	(7)
May	39.0	(30)	-5.9	(6)
Jun	50.6	(21)	1.2	(10)
Jul	42.1	(5)	0.6	(6)
Ago	41.3	(16)	2.0	(13)
Sep	48.1	(14)	4.7	(14)
Oct	42.2	(20)	2.9	(2)
Nov	54.4	(11)	-0.3	(22)
Dic	58.9	(15)	1.8	(22)
2022	58.9	(15 Dic)	-21.5	(31 Ene)

Tabla 24. Carrera de marea en el año 2022. Fuente: Puertos del Estado.

Analizando la Tabla 9, se concluye que es $(58,9 + -21,5 = 80,4$ centímetros, es decir, 0,804 metros).

Finalmente, reconstruyendo la ecuación ya planteada mediante los datos recogidos la cota de inundación tiene como resultado:

$$\text{Cota de inundación} = 0,804 + 0,35 + (0,2 \cdot 0,3) = \mathbf{1,21 \text{ m}}$$

Con todo lo explicado se puede concluir que, a día de hoy, el puerto no se ve afectado por la cota de inundación salvo que llegue algún temporal fuerte. Sin embargo, para el caso que concierne a la altura debido al cambio climático el pronóstico no es precisamente optimista ya que a lo largo de los próximos 100 años claramente la zona al mínimo temporal tendrá inundaciones muy graves por el incremento del nivel del mar.

En lo que concierne al dispositivo a emplazar esta predicción no supone un problema puesto que la vida útil del WaveStar es de 20 años y la variación del nivel del mar al igual que la cota de inundación no impediría el correcto funcionamiento del mismo durante los próximos 20 años. En el caso de que los pronósticos se equivocaran y la cota de inundación ascendiera drásticamente durante el periodo de vida útil del dispositivo, tampoco sería un problema puesto que el dispositivo presenta la opción de calibrar la base donde van anclados los flotadores por lo que en vista de una situación repentina de ascenso del nivel mar, se asciende la base de los flotadores y el dispositivo podría continuar funcionando a la perfección.

5 VIABILIDAD

Tras haber realizado el estado del arte sobre la energía undimotriz, elaborando una comparativa, estudiando el oleaje de la zona y estableciendo una selección en base a los criterios más importantes; se ha podido comprobar que el dispositivo se mejor se adecúa es el **WaveStar**. Con todo ello, en este apartado se va a explicar desde los distintos campos (técnica, funcional, económica y constructiva) la viabilidad de colocar dicho dispositivo en la zona del Puerto de Valencia.

5.1 VIABILIDAD TÉCNICA

Lo primero a tener en cuenta a la hora de analizar la viabilidad de un sistema de energía undimotriz, en este caso el dispositivo **WaveStar**, es si es factible tecnológicamente. Dicho de otra manera, saber que institución u empresa privada es capaz de realizar la labor de investigación y desarrollo de dicho dispositivo además de adecuarlo para que su funcionamiento sea el esperado para el Puerto de Valencia.

Gracias a la universidad de Aalborg en Dinamarca, se ha elaborado una tesis [33] dedicada a la investigación y desarrollo del dispositivo WaveStar apoyándose en simulaciones en laboratorio del oleaje tanto regular como irregular. El objetivo de esta investigación es sacar outputs demostrables en base a ensayos y análisis para demostrar la viabilidad técnica de cada uno de los aspectos y partes del dispositivo. Para esta labor han realizado lo siguiente:

En primer lugar, se ha descrito un modelo dinámico de motor síncrono de imán permanente (PMSM) de forma analítica, desarrollando el voltaje tanto del rotor como del estator al igual que el par electromagnético y el trabajo mecánico resultante. El modelo de PMSM con el que luego se elaboran las pruebas para demostrar su viabilidad técnica es el mostrado en la Fig. 48

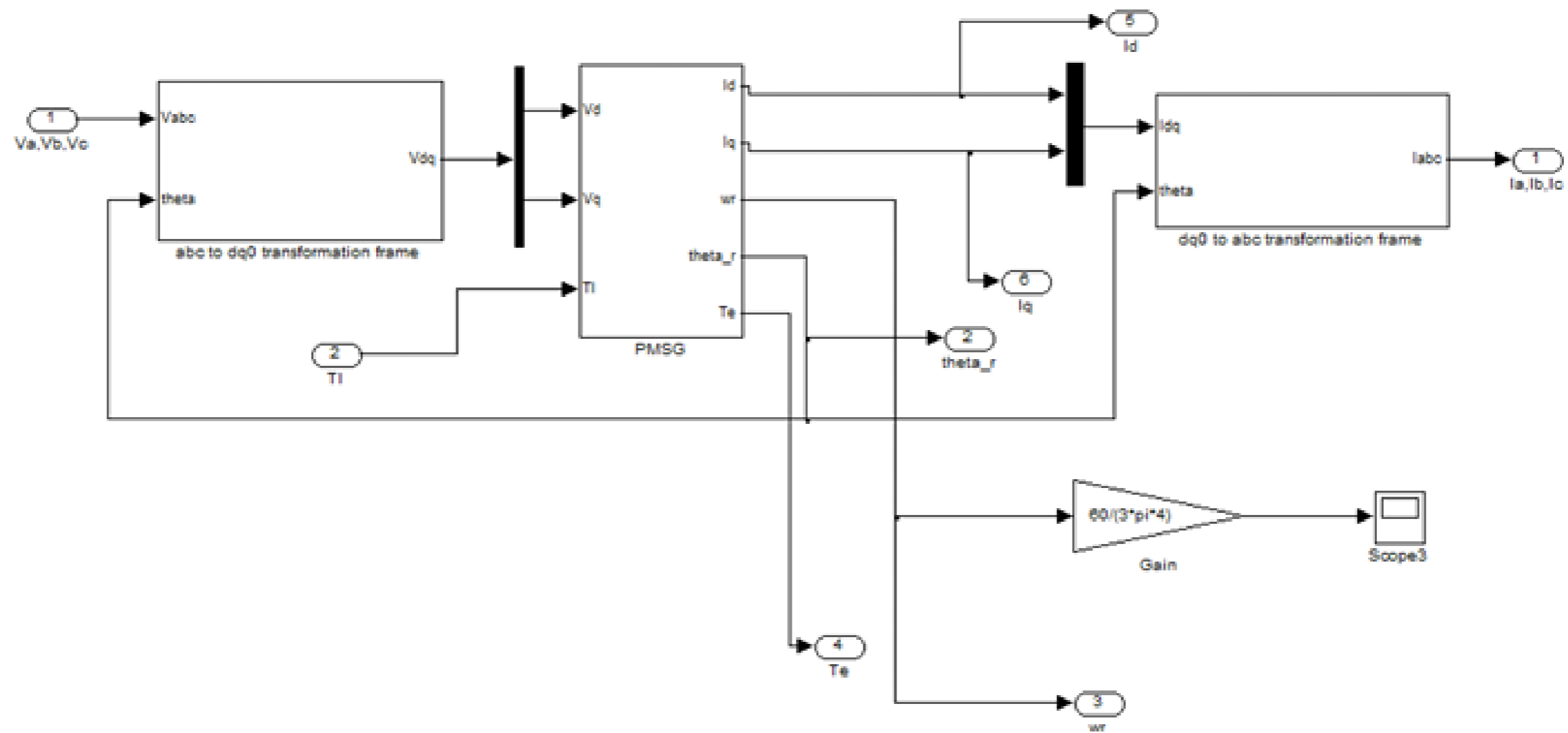
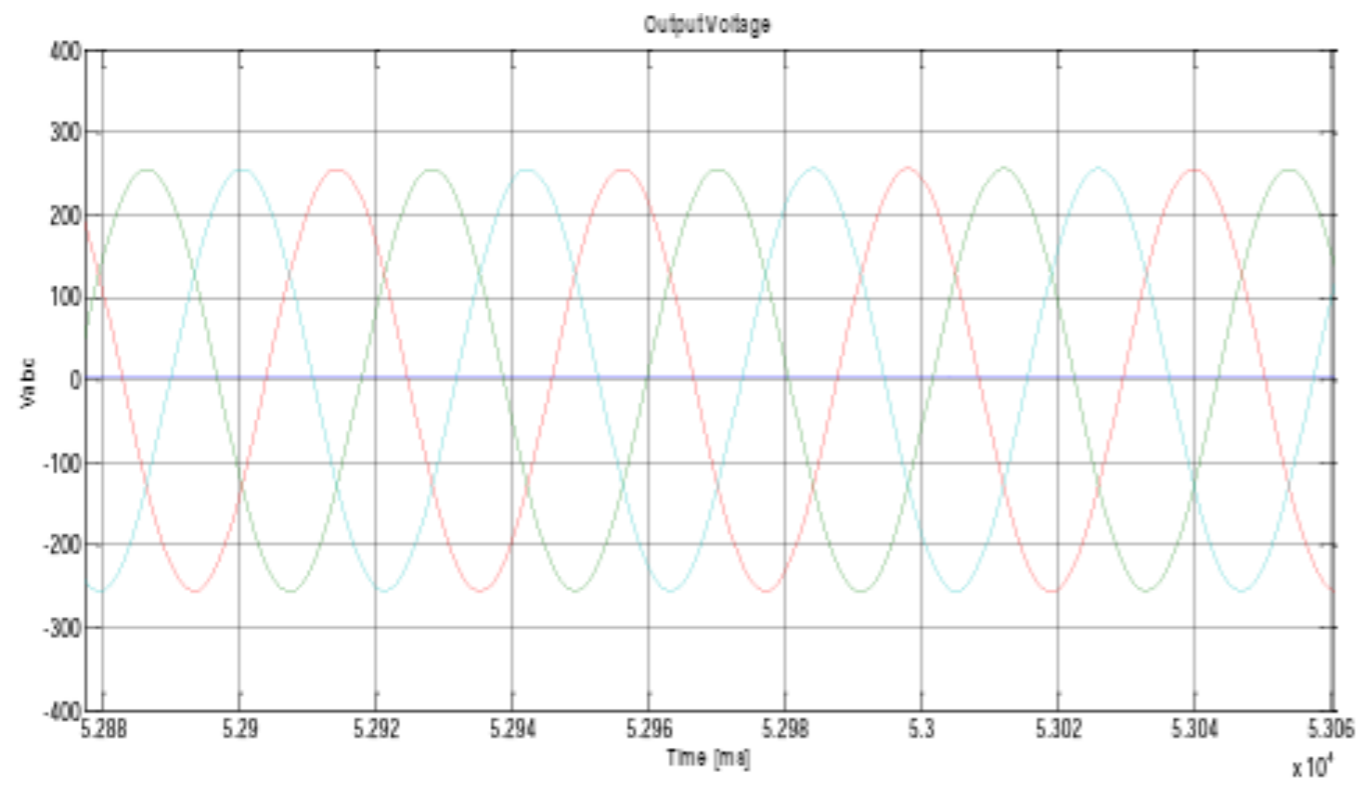
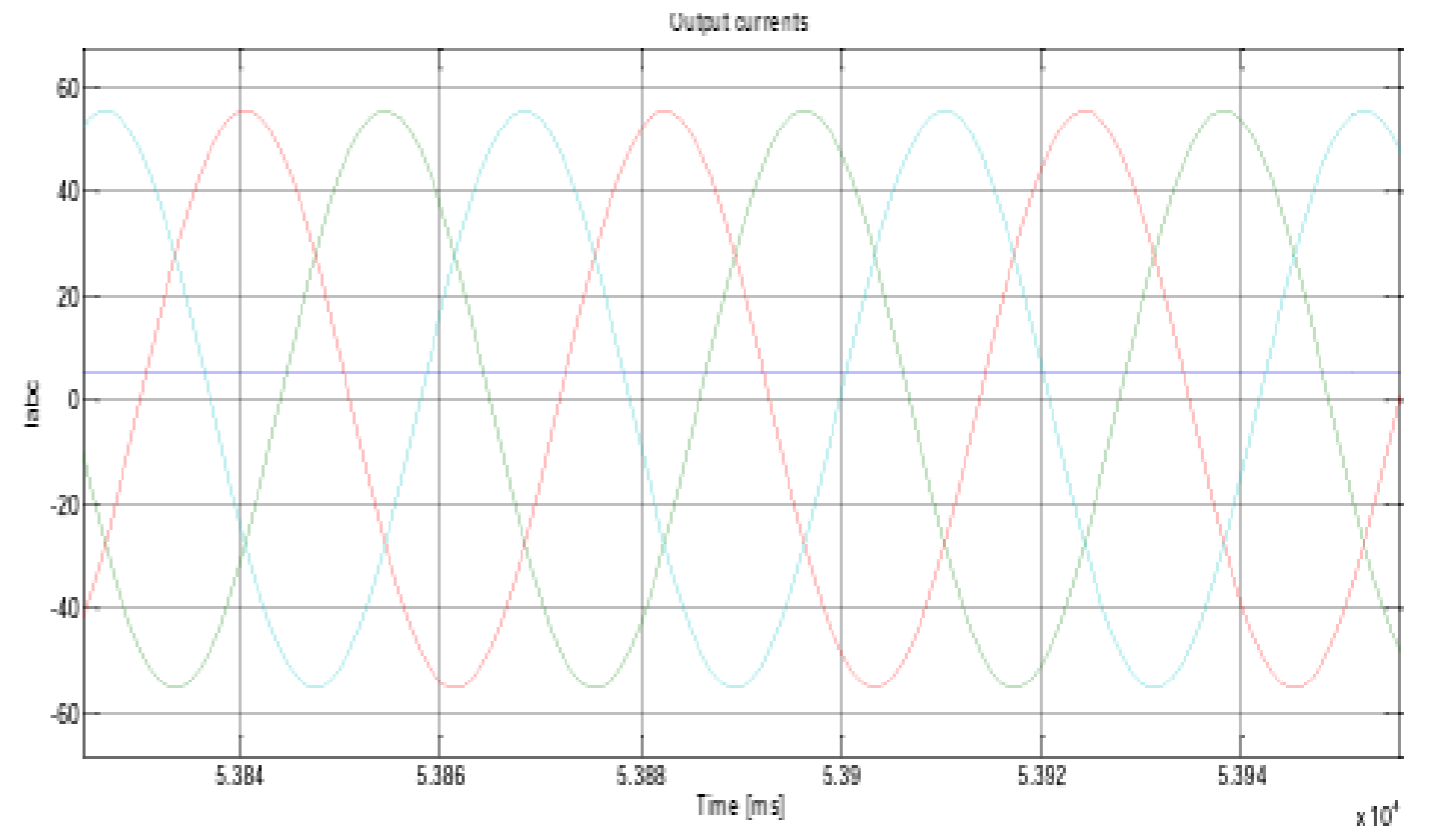


Figura 48. Esquema del modelo de PMSG [33]

Posteriormente, el modelo mostrado en la Fig.46 fue testado [33] a una velocidad constante de 1500 rpm obteniendo un voltaje pico de 250 V. En los gráficos 15 y 16.

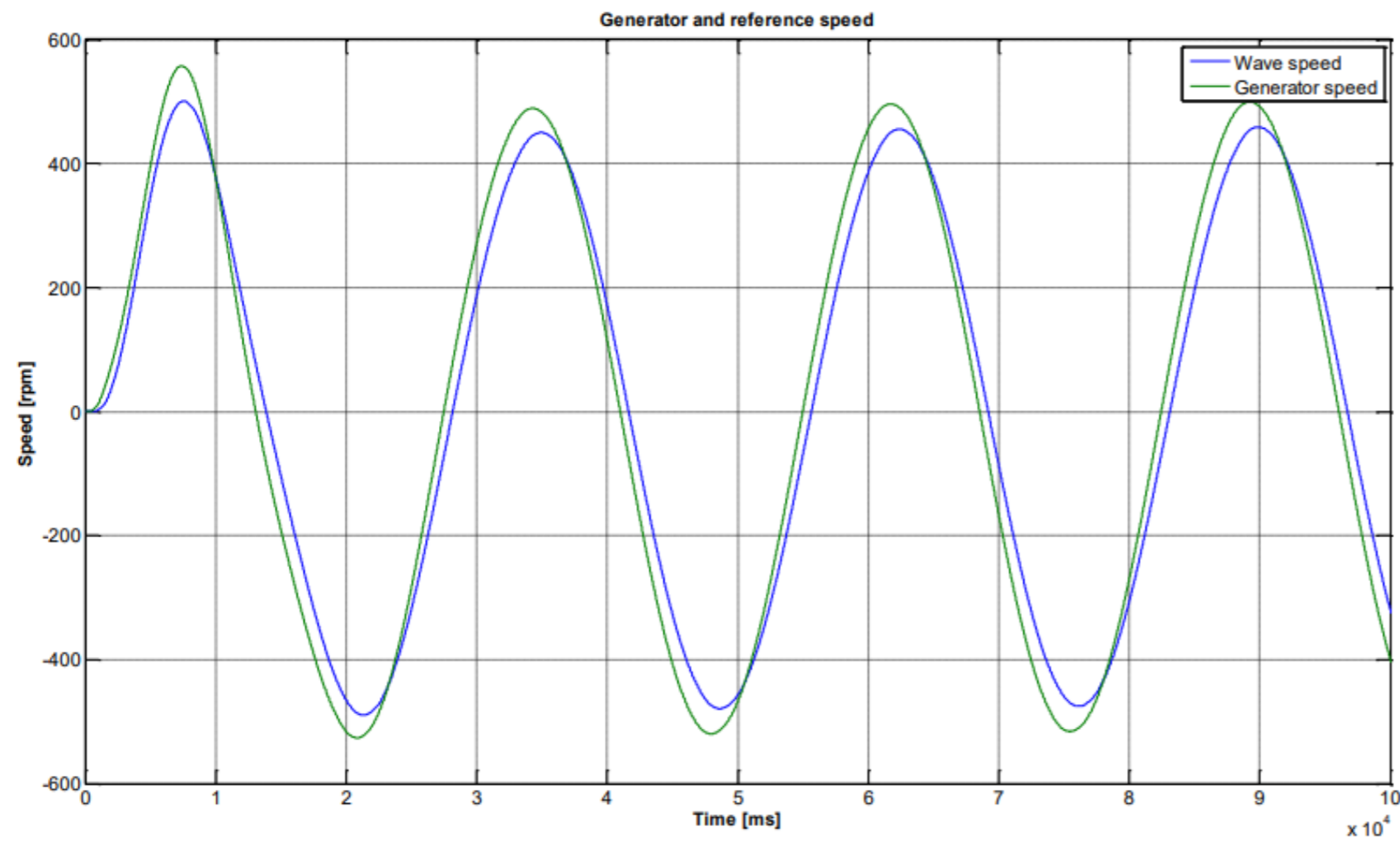


Gráfica 15. Output de voltaje del generador a velocidad constante (1500rpm) [33]



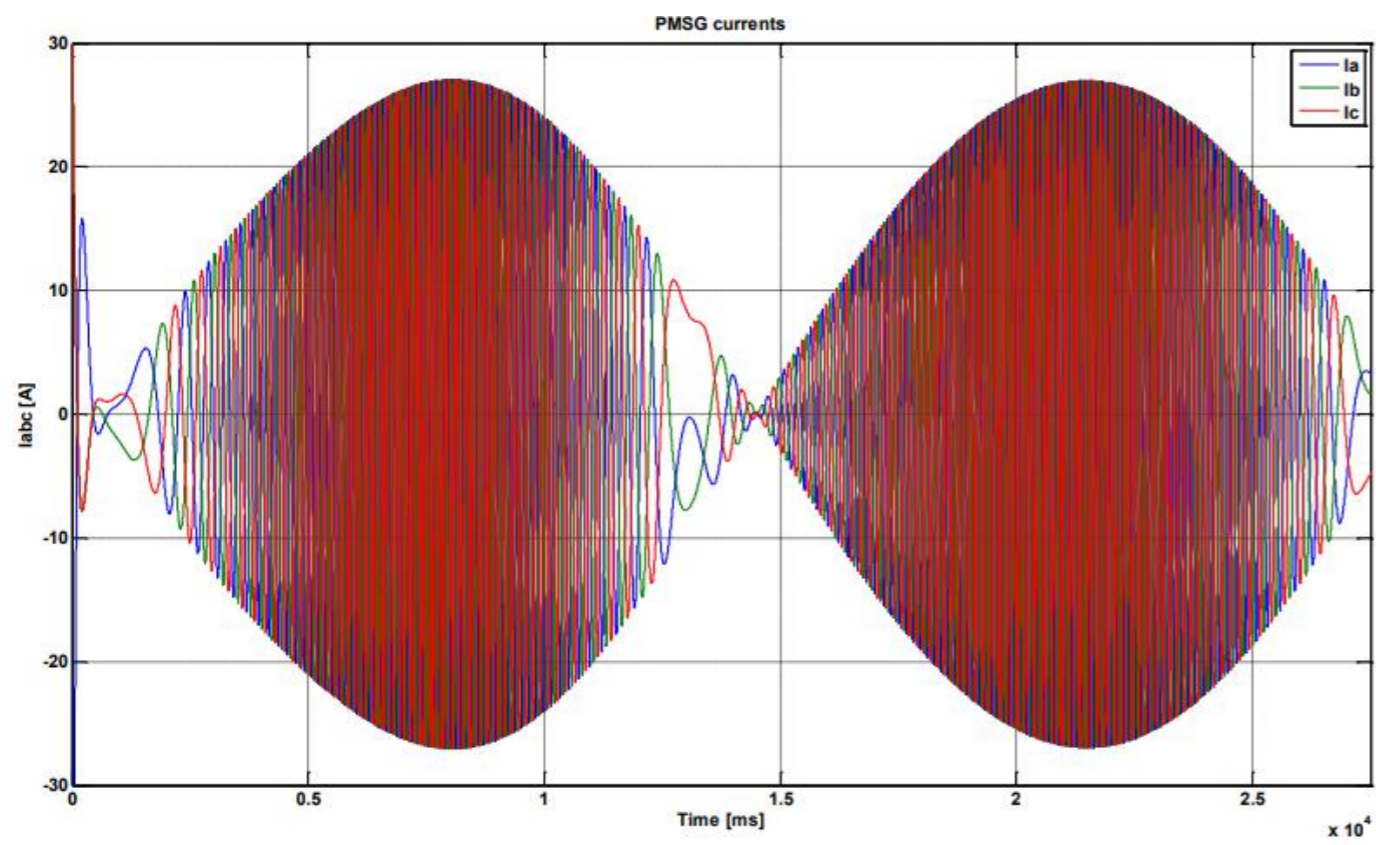
Gráfica 16. Output de voltaje del generador a velocidad constante (1500 rpm) [33]

Una vez demostrado que el generador resulta competente a velocidades constantes se procede a mostrar el output bajo un comportamiento senoidal intentando recrear el movimiento de una ola. En el Gráfico 17 se muestra la velocidad de la ola recreada y la velocidad del generador

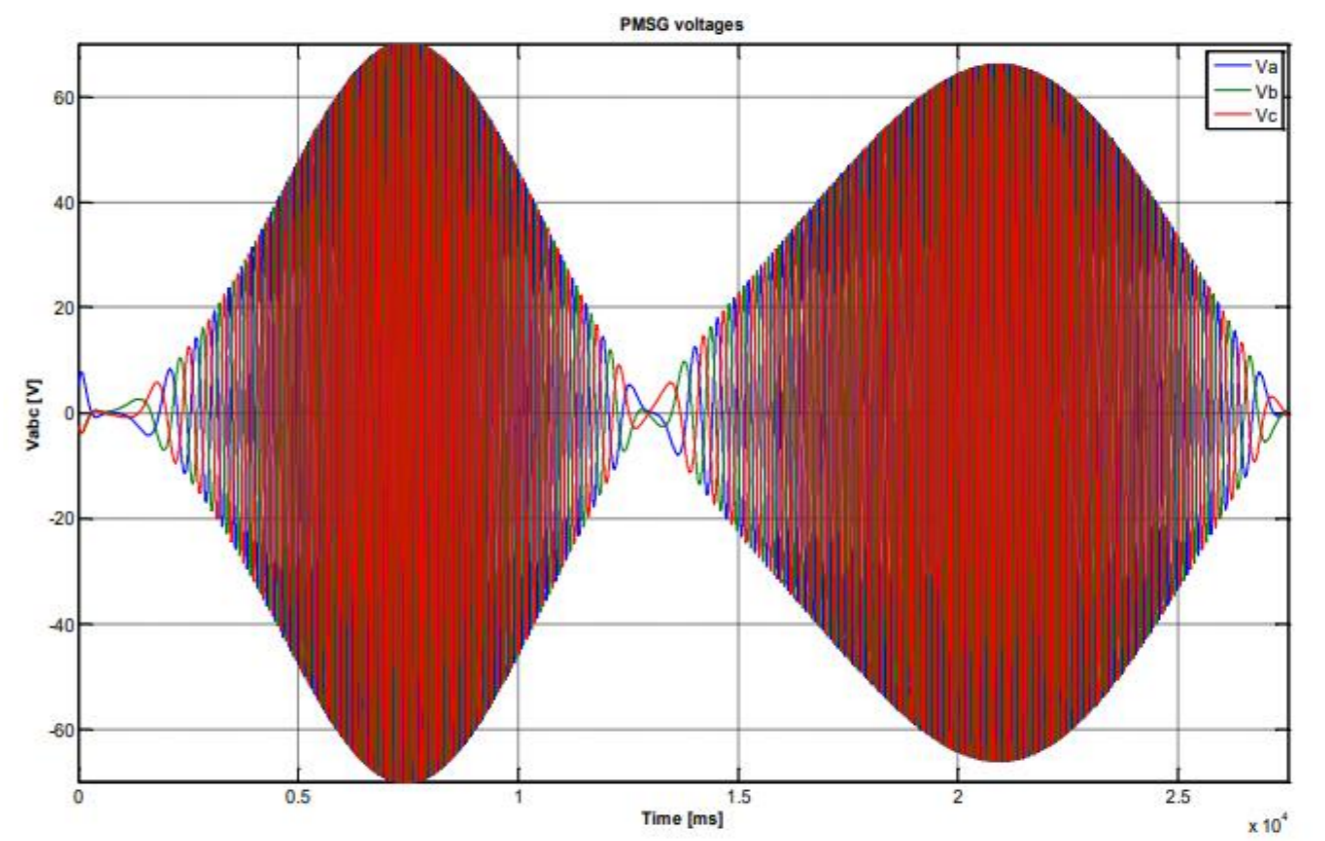


Gráfica 17. Velocidades de la ola recreada y la velocidad del generador resultante [33]

Con esta situación planteada los outputs bajo las velocidades provocadas por la recreación de una ola son los mostrados en las gráficas 18 y 19.



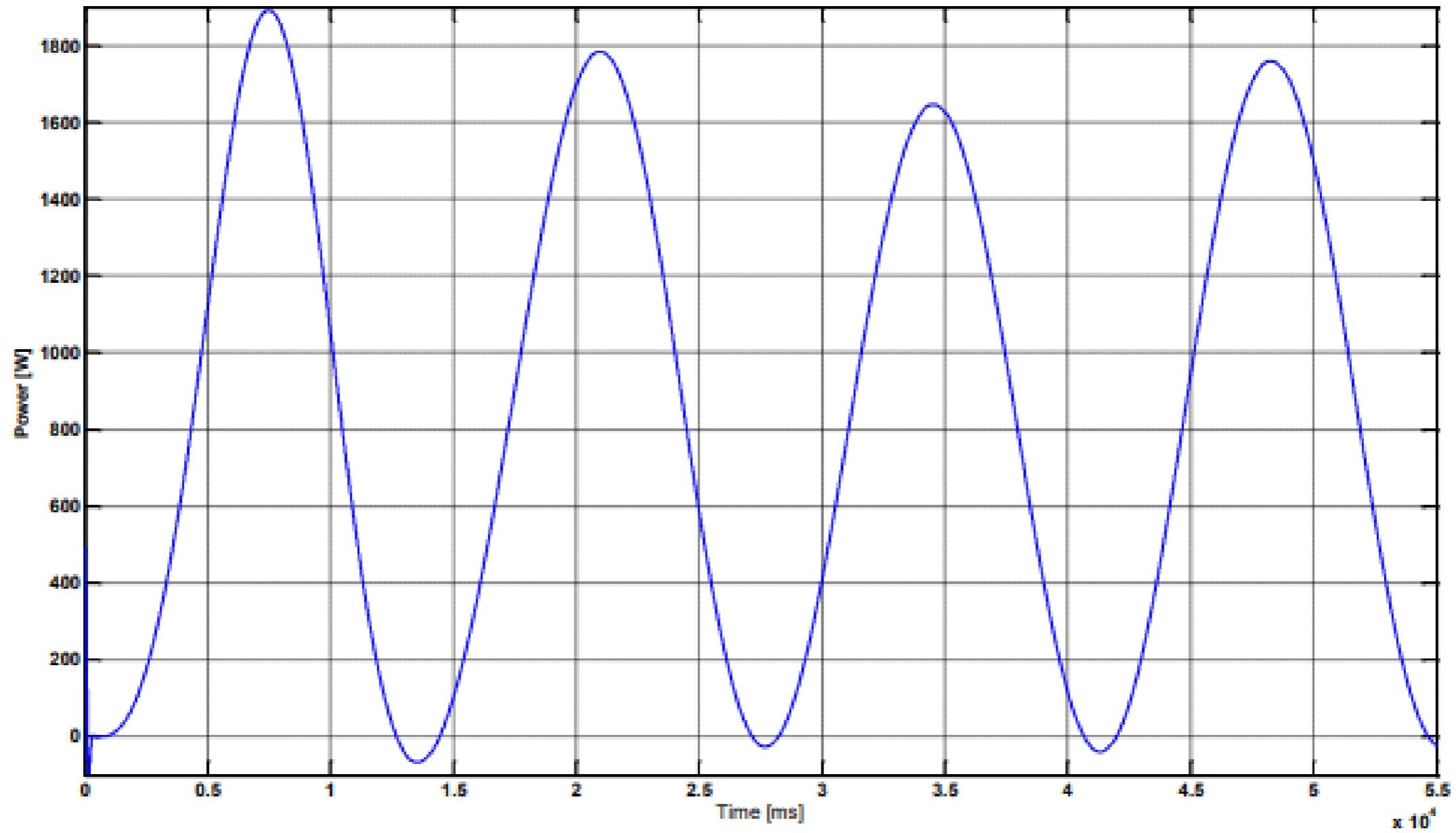
Gráfica 18. Output de intensidad del generador [33]



Gráfica 19. Output de voltaje del generador [33]

Tal y como se ha podido demostrar en las gráficas 18 y 19, con un input de 500 rpm máximas producidas por la recreación del oleaje descrito se obtiene un output de voltaje de 75 V a -75 V.

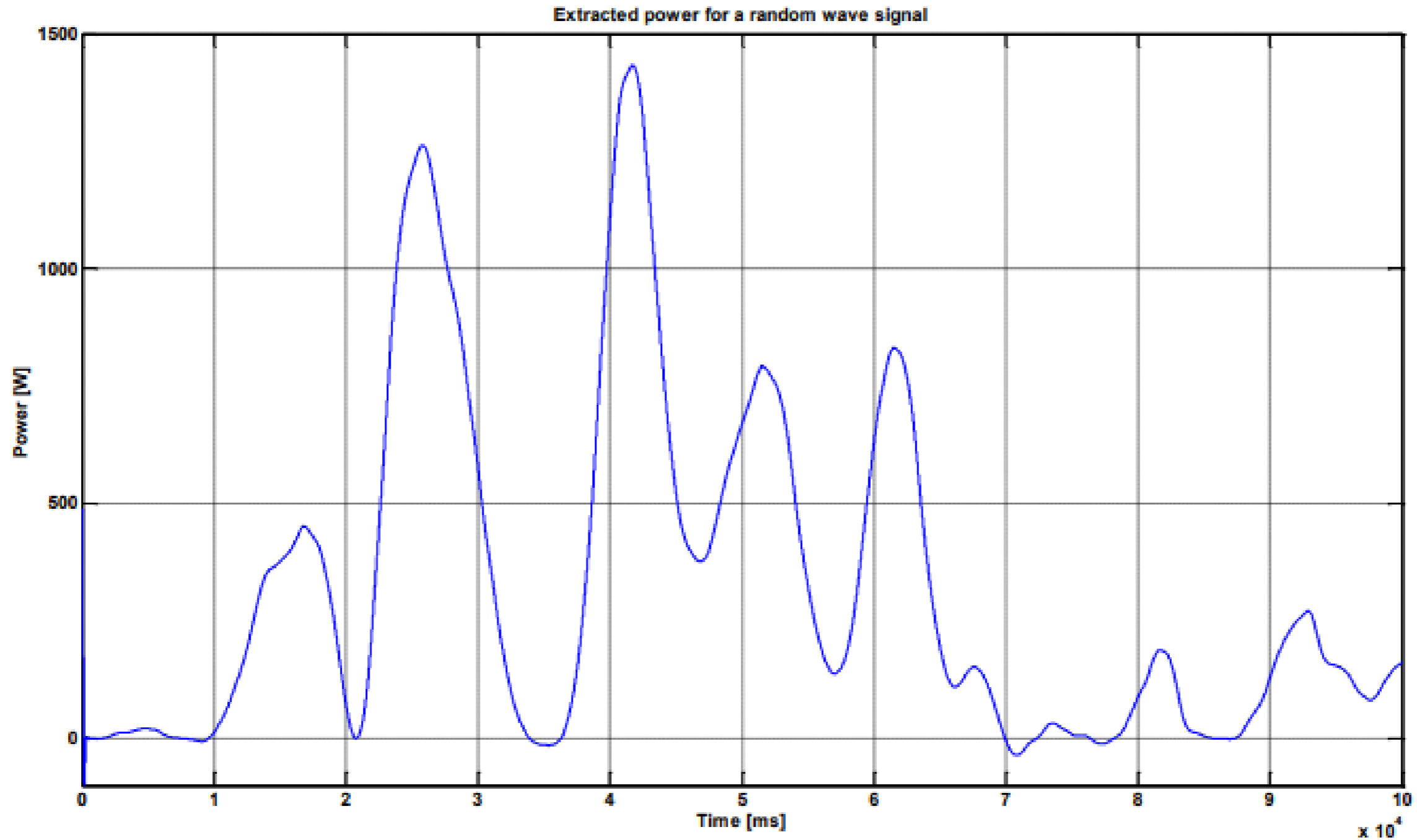
Con todo ello el output de potencia que sacaría el generador con un oleaje constante sería el mostrado en la gráfica 20.



Gráfica 20. Output de potencia del generador producido por un oleaje constante [33]

Como se puede observar en la gráfica 20 con una altura de ola 0,3 m (altura de ola probable a pie de dique en el Puerto de Valencia) se obtiene una potencia media de 1,2 kW.

Finalmente, con intención de recrear al máximo la naturaleza del oleaje, se ha introducido un input de un oleaje completamente aleatorio para analizar si aun con este movimiento ondulatorio aleatorio el dispositivo sería capaz de producir energía. Para esta situación la parte del generador también funciona bien, aunque la rampa de velocidad tiene una variación más frecuente y una frecuencia variable. La potencia extraída en este caso se ve representada en la gráfica 21.



Gráfica 21. Output de potencia del generador a partir de un movimiento ondulatorio aleatorio como el del oleaje [33]

5.2 VIABILIDAD FUNCIONAL

5.2.1 RANGO DE OLAJE

Uno de los criterios más importantes para saber si el dispositivo de energía undimotriz va a ser verdaderamente funcional es si el oleaje que llega al puerto cumple con el rango del oleaje que requiere el dispositivo y para el que se ha diseñado. En la Tabla 6 se señala el rango de oleaje óptimo para el WaveStar, de 0,5 a 4 metros de altura de ola. Por otra parte, en el apartado “4.1.2.3 Propagación del oleaje” se ha estudiado el oleaje exacto que llegará a pie de dique. En la Tabla 23 se observa que el oleaje más frecuente a pie dique se estima entre 0,5 y 1,5 metros. Con esta información se concluye que en el rango de oleaje que llega al Puerto de Valencia es óptimo funcionalmente para poder ubicar el WaveStar y que pueda sacar rendimiento.

5.2.2 AFECCIÓN AL TRÁFICO MARÍTIMO

Tras haber estudiado los rangos óptimos tanto de oleaje y profundidad en los que el dispositivo funciona correctamente y se le puede sacar un rendimiento óptimo, se ha concluido que el emplazamiento idóneo para el dispositivo es a pie del dique de abrigo norte del Puerto de Valencia. Colocándolo en esta ubicación el WaveStar no solo tendría un oleaje y profundidad óptima además estaría orientado a las direcciones del oleaje más predominantes (NE, ENE y E). Dado que los canales de entrada al puerto están orientados al sureste y el dispositivo será situado en el dique norte no existe afección ninguna del WaveStar al tráfico marítimo.

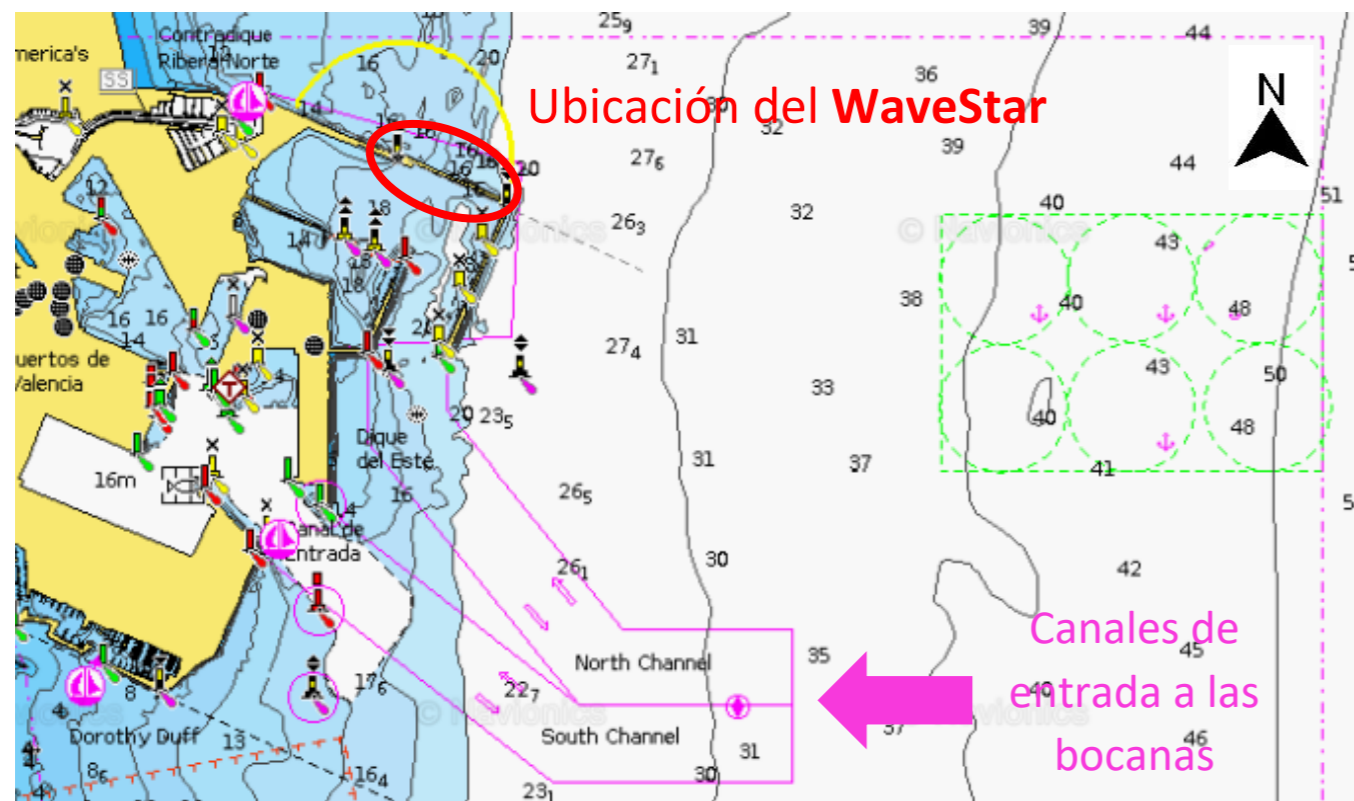


Figura 49. Emplazamiento del WaveStar y el planteamiento del tráfico marítimo [19]

5.2.3 TEMPORALES

Para toda obra o construcción de índole marítima siempre hay que tener en cuenta la afección de los temporales. Un temporal muy fuerte es capaz de causar daños permanentes en cualquier dispositivo o sistema de energía undimotriz, de esta manera reducir su vida útil o directamente causar la destrucción del mismo. En el caso del litoral valenciano el último temporal sucedió entre el 19 y el 20 de enero de 2020. La famosa borrasca fue bautizada con el nombre de Gloria, esta provocó fuertes rachas de viento lo cual causó alturas de ola de más de 8

metros y registrando 75 litros por metro cuadrado llegando a causar graves inundaciones en viviendas y carreteras. Es de esperar que en la próxima década suceda algo parecido.

Por ello el sistema WaveStar debe de estar preparado para, en sus 20 años de vida útil, ser capaz de soportar esta clase de situaciones. Un oleaje propio de un temporal no solo puede dañar los rodamientos de los brazos por los movimientos bruscos que el oleaje provoca, sino que es capaz de hacer girar el generador a grandes velocidades sobrepasando el límite para que obtenga rendimiento. Para evitar estos acontecimientos, el dispositivo tiene la capacidad de levantar los brazos oscilantes cuando hay temporal. Recordar que la función de estos brazos es la de transmitir el movimiento ondulatorio de la ola al generador.



Figura 50. Flotadores levantados a causa de un temporal [34]

5.2.4 ENERGÍA PRODUCIDA

Como se ha comentado en el apartado “3.1 Recurso energético disponible” en el litoral valenciano la energía recibida por el oleaje es aproximadamente de 4-5 kW/m, en energía total brutal anual tiene un valor de 3.64 TWh. Para calcular estos datos se emplea la siguiente ecuación extraída de la tesis de la universidad de Aalborg [33] ya mencionada.

$$P_w = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_s^2 T_m$$
$$T_m = \frac{T_p}{1,25}$$

Siendo:

- P_w : Flujo de energía en vatios por metro
- ρ : densidad del agua marina, 1025 kg/m³
- g : aceleración de la gravedad en m/s²
- T_e : periodo del oleaje en s
- H_s : altura de ola significativa en metros

De esta forma se puede sacar la potencia que tendrá el WaveStar en función del periodo de pico medio y la altura de ola. Hay que destacar que la ecuación descrita es teórica y se trata de una aproximación para aquellos sistemas de energía undimotriz basados en la oscilación con flotadores. Esta ecuación aproxima la producción de

energía para dispositivos con flotadores de entre 0,25 a 5 metros de diámetro, baremo de dimensiones completamente válido para el caso del WaveStar y el Puerto de Valencia que es donde se va a ubicar.

Tm [s]	3,2	3,2	4	4,8	5,6	6,4	6,4	6,4	8	8
Hs [m]	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Pw [kWh]	391,7	1566,7	4406,4	9400,4	17136,2	28201,3	38385,1	50135,6	79316,1	97921,1

Gráfica 22. Potencia generada en función de la altura de ola y el periodo de pico medio. Fuente: Elaboración propia.

Con estos resultados, se multiplican por la probabilidad de procedencia en función de la dirección y la altura del oleaje y se puede obtener la producción en kWh anual.

Tm [s]		3,2	3,2	4	4,8	5,6	6,4	6,4	6,4	8	8
Hs [m]		0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
NE	45°	819,8	12259,7	5010,1	5198,4	5020,9	5273,6	4491,1	701,9	3569,2	-
ENE	67,5°	1649,8	16844,0	6111,7	5959,9	4866,7	4766,0	2840,5	1153,1	1269,1	-
E	90°	2095,9	7736,5	5574,2	996,4	496,9	648,6	268,7	-	-	-
ESE	112,5°	2139,0	5085,6	2009,3	103,4	154,2	56,4	76,8	-	-	-
SE	135°	2374,0	6715,0	1291,1	65,8	-	-	-	-	-	-
SSE	157,5°	1523,3	8493,3	5984,0	65,8	-	-	-	-	-	-

Gráfica 23. Producción de energía anual en función de la dirección y altura del oleaje. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se estima que la energía total producida por el WaveStar es de 141.759,8 kWh/año.

- Ayudas a la innovación

5.3 VIABILIDAD ECONÓMICA

El factor económico, para cualquier tipo de energía renovable, resulta ser uno de los factores más determinantes a la hora de analizar su viabilidad en conjunto. Hay que tener en cuenta que, en una planta de energía undimotriz, además del sistema que alberga los generadores, es necesario determinar el coste de las subestaciones eléctricas, los metros de cable empleados, al igual que las embarcaciones auxiliares dedicadas al montaje y mantenimiento. Por supuesto, en el litoral, el coste que conlleve la base logística para la construcción del dispositivo o sistema, capaz de permitir la estiba de los materiales, carga y descarga, atraques y servicios para las ya nombradas embarcaciones auxiliares.

Por otra parte, con los sistemas de energía undimotriz desarrollados hasta la fecha, los costes de producción de energía son altos, excediendo el rango comercial. Cabe añadir que, en comparación con otros dispositivos relativos a otras energías renovables, los sistemas de energía undimotriz no son igual de fiables por su falta de investigación y desarrollo, por lo que a largo plazo se pone en riesgo su amortización. Los puntos críticos en el desarrollo e investigación de esta tecnología son:

- Por problemas de mantenimiento las horas de producción no son las reales
- Reducción de la vida útil de los dispositivos por temporales
- Inversión final mayor de lo esperado

Sabiendo los dilemas e impedimentos con los que se va a enfrentar el dispositivo en cuestión, es notoria la necesidad de un mecanismo de financiación para el desarrollo y construcción. Estos mecanismos de financiación tanto a nivel europeo como a nivel nacional sirven para favorecer e impulsar proyectos de energías renovables, como los que atañen al estudio del presente trabajo. Los mecanismos de financiación que están al alcance para esta clase de proyectos son los siguientes [41], [42]:

- Nivel Europeo
 - **Horizon 2020 y Horizon Europe:** Es uno de los mayores instrumentos de financiación dedicado a la investigación y desarrollo con dotaciones de aproximadamente 80.000 millones de euros. Tratando de fomentar políticas para realizar una transición del mercado de energías basándose en la reducción de la demanda de combustibles fósiles y protección del medioambiente.
 - **Pacto Verde Europeo:** una convocatoria compuesta por ocho áreas como “industrias para una economía limpia” y energías limpias y asequibles” entre otras. Se incluye en Horizon 2020, con una dotación de 1.000 millones de euros y resulta particularmente interesante para la viabilidad económica de la energía undimotriz por tener objetivos que impulsan especialmente a dicha energía renovable al igual que la eólica marina.
 - **Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER):** este mecanismo concentra cuatro áreas de inversión: Investigación e innovación, Apoyo a pymes, programa digital y economía de las bajas emisiones de carbono. El objetivo es destinar el 65% - 85% de estos fondos a objetivos basados en la liberación económica basada en las emisiones de CO2. Atendiendo también parte de estos fondos a la investigación y desarrollo tecnológico de energías marinas renovables.
 - Fondo de Transición Justa
 - InvestEU
- Nivel Nacional
 - Bonos Verdes
 - Instrumentos de ayuda a la I+D+i destinados por el CDTI
 - INNVIERTE

Costes a analizar:

- **Costes preoperacionales:** Estos costes incluyen dirección y materialización de los estudios de impacto ambiental y preliminares, además de permisos de autorización para la ejecución de las obras. Dado que el dispositivo que se va a situar se trata de un prototipo, resulta ciertamente complicado establecer un coste exacto así que contrastando la información en base a distintos autores [23] se establece que aproximadamente los costes de permisos de obras y emplazamiento del dispositivo ronda el 2% del coste del mismo.
- **Costes de construcción:** Para cualquiera de los sistemas o dispositivos de energía undimotriz el coste de construcción es muy variable pero normalmente oscilan entre los 2,5 a 6 millones de euros por MW que se instale [22]. En base a la información obtenida se puede establecer la siguiente tabla.

Potencia instalada	€/ kW
0,25	5000
0,5	4000
1	3000

Tabla 25. Coste de construcción en base a la potencia instalada [23]

- **Costes de mantenimiento:** Se tratan de los costes presentes en la vida útil del dispositivo, bien para que el dispositivo no pierda en ningún momento su producción o bien por algún tipo de avería por la salinidad o un temporal. Se estiman cantidades en torno a 13 €/MWh para una central undimotriz cercana a la línea de la costa [22], tal y como correspondería al dispositivo WaveStar.
- **Costes de desmantelamiento:** Para cualquier tipología de planta de energía undimotriz lo normal es estimar una vida útil en torno a los 20 años de vida útil. Una vez cumplidos los 20 años de explotación del dispositivo, se ha desmantelar y dichas operaciones algunos autores la estiman de dos formas, el 1% de la inversión del coste total de la obra o 50.000 €/MW [23].

5.4 VIABILIDAD CONSTRUCTIVA

Es importante dejar claro que este dispositivo sigue siendo a día de hoy un prototipo que únicamente se ha construido a escala real y a modo de testeo en Dinamarca. Emplazando solo dos flotadores en una plataforma cimentada sobre el lecho marino. La empresa encargada de ejecutar este prototipo es “Wave Star Energy” [43]. Dicha empresa muestra información sobre los resultados de sus otros prototipos a diferentes escalas, pero en lo que concierne al método constructivo no se especifica ninguna información del dispositivo a escala real, por la razón de protección de patentes. Por lo tanto, con los conocimientos disponibles y la legislación vigente se va a plantear una solución para llevar a cabo la viabilidad constructiva del WaveStar.

5.4.1 LEGISLACIÓN

- Real Decreto 1028/2007, de 20 de julio, por el que se establecen los procedimientos administrativos para la tramitación de las solicitudes de autorización de instalaciones de generación eléctrica en el mar territorial.
- Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.

5.4.2 TIPOS DE CIMENTACIÓN

Analizando, por ejemplo, la ejecución de aerogeneradores offshore se observa que existe un amplio desarrollo sobre cimentaciones marinas que perfectamente se pueden usar para la energía undimotriz. Dadas las características del WaveStar (una plataforma elevada sobre el nivel del mar, sustentada por cuatro pilas) emplear una de las tipologías de cimentación que se utiliza para aerogeneradores es una solución factible.

Existen varios tipos de cimentación marina [44]:

- **Monopilote:** es un pilote de sección cilíndrica y hueca que se introduce verticalmente en el lecho marino. Se utiliza cuando las capas superiores del lecho marino se componen de suelos blandos y cuando existen cargas horizontales elevadas, como es el caso del oleaje. Por otra parte, se utilizan para profundidades de hasta 40 metros, por lo que para el dique norte del Puerto de Valencia resulta factible. Una de las características de esta cimentación es que, a mayor profundidad, mayor diámetro del pilote y mayor coste de fabricación. La profundidad en torno al dique norte del puerto es de 16 metros, así que no se necesitaría un gran diámetro y resultaría una solución económica para la cimentación del WaveStar.
- **Trípode:** Consiste en una columna central anclada al lecho marino mediante tres puntos de anclaje. Estos anclajes pueden estar formados bien por vasos de succión o por pilotes, a su vez estos tres puntos de anclaje se encuentran unidos para mayor estabilidad.
- **Jacket:** se compone de una geometría formada a base de celosías con cuatro pilotes. Tiene una masa estructural baja, pero posee gran rigidez, la parte negativa es que su ejecución resulta compleja, así como la gran cantidad de material que requiere.
- **Tripilote:** Resulta una combinación de la cimentación por trípode y monopilote, ejecutando tres pilotes unidos en la parte superior. Cimentación apta para profundidades de entre 25 y 40 metros por lo que sería una opción válida para la ubicación (Dique norte del Puerto de Valencia) donde se pretende emplazar el WaveStar.
- **Gravedad:** Por último, esta tipología de cimentaciones está formada por una base de hormigón armado relleno de balasto, del estilo de arena o rocas. Es una cimentación idónea para soportar grandes cargas principalmente laterales y mantienen la estabilidad de la plataforma gracias a su propio peso.

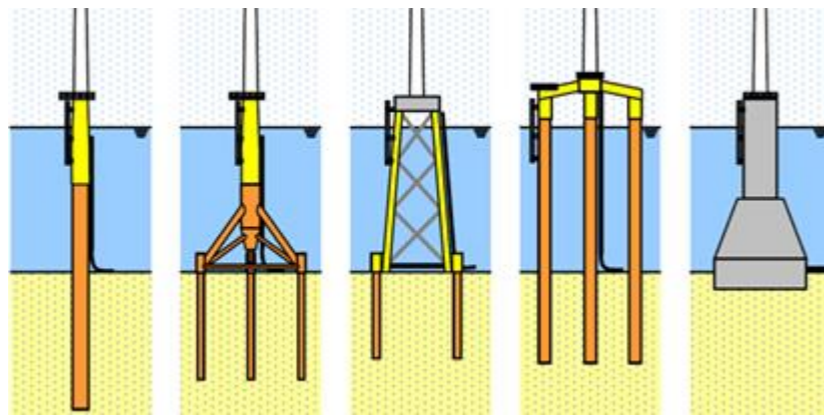


Figura 51. Cimentaciones marinas (orden de izquierda a derecha) Monopilote, Trípode, Jacket, Tripilote y Gravedad [44]

A continuación, se va a realizar una breve descripción sobre cuál de las cimentaciones resulta más adecuada para la instalación del WaveStar. Los factores a tener en cuenta para la selección de la cimentación son los siguientes:

- Número de cimentaciones a ejecutar: 4

- Proximidad de las cimentaciones: la mínima distancia entre cimentaciones es de aproximadamente 7 metros
- Profundidad: 16 metros
- Vida útil: mínimo 20 años que es la que se espera del WaveStar, sería conveniente poder reutilizar la cimentación para el caso en el que se quiera situar en el futuro otro WaveStar.
- Simplicidad en la ejecución: se busca una cimentación que resulte simple para reducir el tiempo de ejecución y por ello de forma indirecta reducir costes.
- Elevadas cargas horizontales

Con las condiciones expuestas en los puntos anteriores, la cimentación que mejor se adapta es el monopilote, las partes de dicha cimentación se detallan en la Fig. 52.

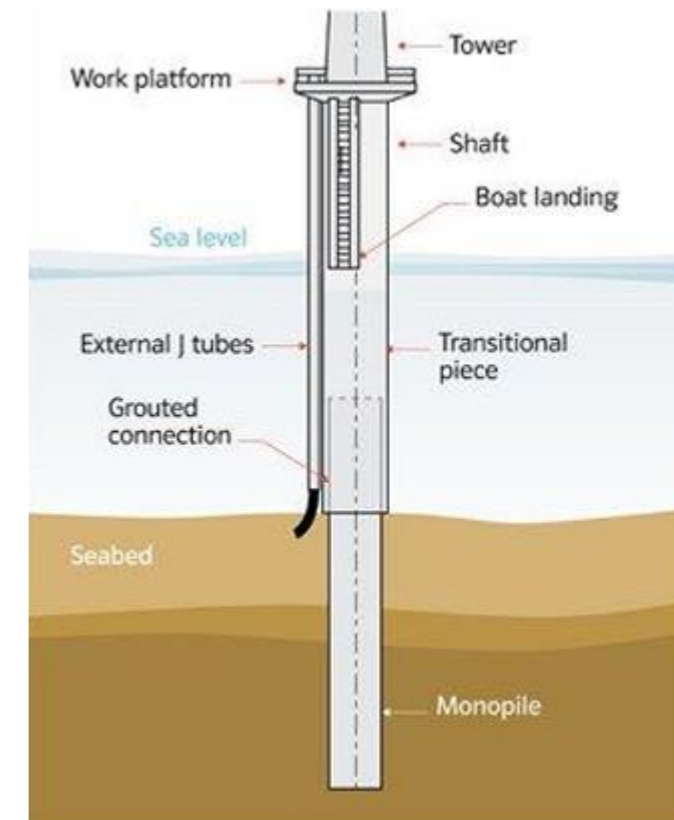


Figura 52. Monopilote [44]

5.4.3 CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN

Para este tipo de cimentaciones marinas lo normal es que la ejecución conste de cuatro etapas:

- Preparación del lecho marino
- Construcción
- Transporte
- Instalación

En taller se fabrica el monopilote, soldando secciones hasta la longitud adecuada para no entorpecer su transporte y que sea lo más seguro posible. Una vez transportados al puerto, se termina de soldar el monopilote para posteriormente llevarlos a pie de dique mediante dos formas, por barcos grúa, lo que conlleva elevados costes o por flotación, remolcando la estructura empleando estabilizadores con la intención de estabilizar el proceso de

lastrado y realizar esta labor de una manera más segura. Hay que tener en cuenta que se trata de una gran pieza con un peso considerable, así que también se debe realizar este tipo de actividad bajo unas condiciones climáticas favorables. Tratándose de piezas de unas dimensiones considerables y que no importa que tengan contacto con el mar, puesto que toda su vida útil lo van a estar, se escoge la opción de remolcarlas hasta pie de dique para su posterior hincado en el lecho marino.

Mientras los monopilotes se trasladan al dique desde fábrica, el montaje de la plataforma sin los brazos (donde se sitúan las boyas) se realiza antes de transporte, esto es así porque los brazos son partes móviles y por seguridad a la hora del transporte es mejor colocarlos una vez la plataforma ya este instalada.



Figura 53. Barco grúa para la instalación de la plataforma y los brazos del WaveStar [44]

Finalmente, mediante un barco grúa, se coloca la plataforma sobre las pilas ya hincadas y se montan los brazos.

6 PRESUPUESTO

Obtener el presupuesto de un dispositivo que únicamente se han realizado ensayos y prototipos es ciertamente complicado, ya que no existe un documento oficial abierto al público donde se detalle esta información. Debido a este problema lo que se ha realizado es una estimación en base a la información expuesta en el apartado de viabilidad económica.

Recurriendo a la Tabla 25 se observa que para 0,5 MW de potencia instalados el coste correspondiente son 4000 € /kW mientras que para 1MW instalado el coste es 3000 €/kW. La potencia instalada del WaveStar es de 600kW así que realizando una interpolación se obtiene el precio por MW instalado y el coste de instalación

Dispositivo	Potencia instalada (kW)	Precio por MW instalado (€/MW)	Coste de Instalación (€)
WaveStar	600	3.800	2.280.000

Tabla 26. Coste de instalación del WaveStar. Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, los costes de operación y mantenimiento se estiman en 13 €/MWh para un sistema de energía undimotriz que se sitúa cerca de la costa y para temporadas estivales. Lo correcto es elevarlo a los 20

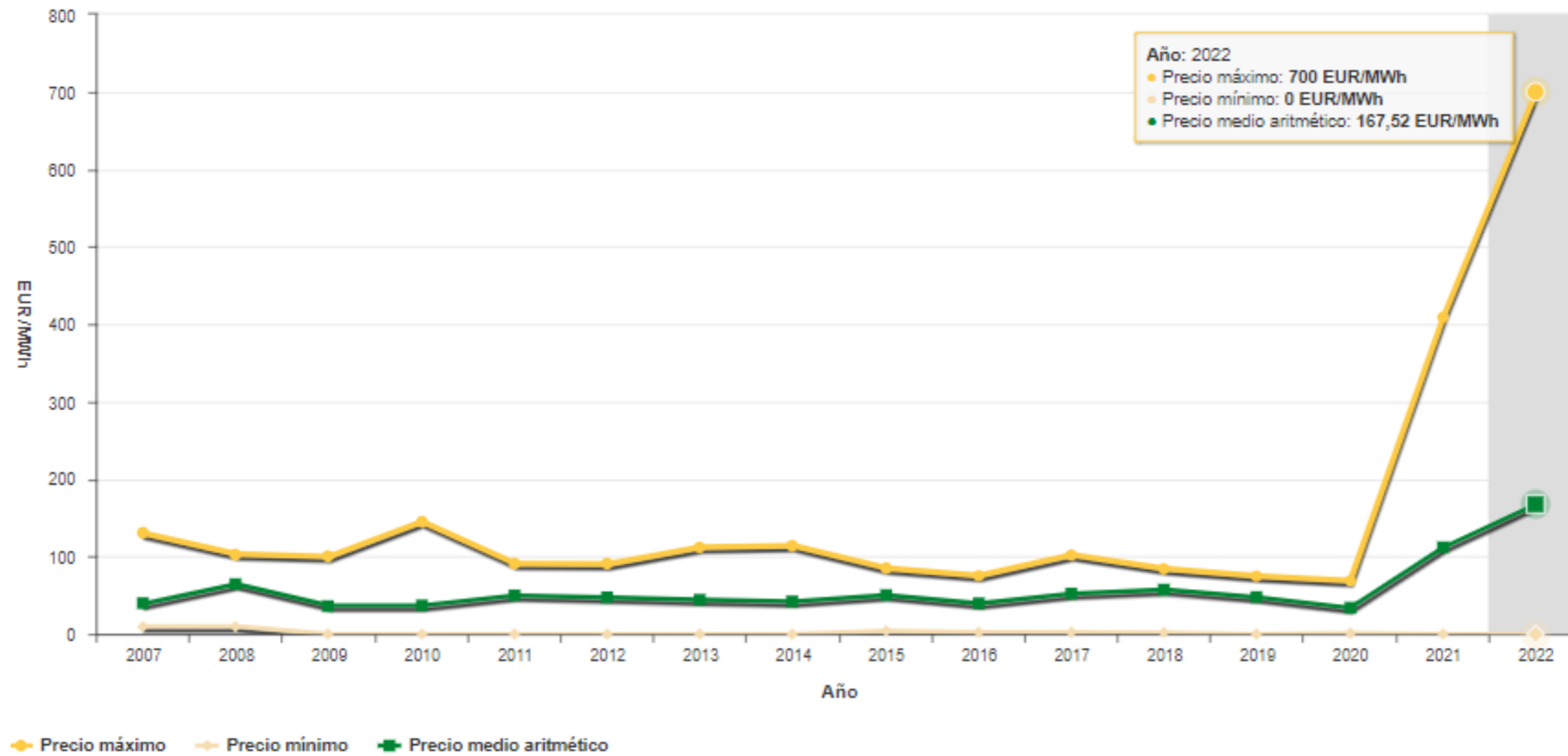
€/MWh por dos motivos, la escasa potencia instalada del WaveStar y los costes en períodos invernales. De tal manera se obtiene un coste de operación y mantenimiento más realista. Los costes de desmantelamiento se estiman en el 1% de la inversión inicial.

Dispositivo	Potencia instalada (kW)	Vida útil del sistema (años)	Precio de Operación y Mantenimiento (€)	Coste de Operación y Mantenimiento (€)	Precio de Desmantelamiento (€)
WaveStar	600	20	20	2.280.000	22.800

Tabla 27. Coste de Operación y Mantenimiento y Desmantelamiento. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra en la Gráfica 24 el precio del mercado energético en España desde el 2007 hasta el 2022. Los datos aportados por la OMIE [36] serán necesarios para el cálculo de la amortización del WaveStar.

Mínimo, medio y máximo precio de la casación del mercado diario España



Gráfica 24. Evolución del precio de mercado energético en España 2007-2022 [36]

Analizando los años 2021 y 2022 de la Gráfica 24 se topa con un problema a la hora de calcular la amortización. En estos años han sucedido acontecimientos a escala mundial como es la pandemia del COVID-19 y la guerra de Ucrania, ambos acontecimientos aun activos. Estos acontecimientos, además de cambiar ciertos aspectos sociales, en lo que concierne al presente estudio lo que han provocado es el encarecimiento del precio de la energía en España. En vista de los hechos y la evolución del precio como consecuencia, lo correcto a la hora de calcular la amortización es plantear dos escenarios.

Un primer escenario optimista, una vez pasados los acontecimientos mencionados, en el que el precio de la energía vuelve a un precio medio de 60 €/MWh entre 2007 y 2020 que corresponde a 0,06 €/kWh

1º ESCENARIO	Precio Energía (EUR/kWh)	0,06			
DISPOSITIVO	ENERGÍA (kWh)	PRECIO INSTALACIÓN (€)	AHORRO (€)	AMORTIZACIÓN (AÑO)	AMORTIZADO TRAS VIDA ÚTIL (€)
WaveStar	141.759,8	2.280.000	8.506	268	170.112

Tabla 28. Amortización del WaveStar para un precio medio de energía de 0,06 €/kWh. Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, el escenario más realista es en el que el precio de la energía se encarece al ritmo que ya viene haciéndolo los dos últimos años, estimando de esta manera un precio medio de la energía de 250 €/MWh lo que son 0,25 €/kWh.

2º ESCENARIO	Precio Energía (EUR/kWh)	0,25			
DISPOSITIVO	ENERGÍA (kWh)	PRECIO INSTALACIÓN (€)	AHORRO (€)	AMORTIZACIÓN (AÑO)	AMORTIZADO TRAS VIDA ÚTIL (€)
WaveStar	141.759,8	2.280.000	35.440	64	708.799

Tabla 29. Amortización del WaveStar para un precio medio de energía de 0,25 €/kWh. Fuente: Elaboración propia.

7 CONCLUSIONES

Con este estudio se pretende mostrar el estado del arte de los distintos dispositivos o sistema de energía undimotriz al igual que la comparativa, selección y viabilidad del dispositivo idóneo para la implantación de esta clase de energía renovable en el Puerto de Valencia, con la finalidad de intentar cumplir el objetivo del año 2030 de autoabastecimiento energético del puerto.

Tal y como se ha visto, España es una de las grandes potencias europeas para poder albergar energía undimotriz. Principalmente por el litoral Cantábrico y Atlántico del país que poseen un elevado potencial energético. Sin embargo, el Mar Mediterráneo no es tan enérgico como el Cantábrico o el Océano Atlántico por lo que la implantación de uno de los dispositivos se complica de cierta manera. Después de la investigación realizada se ha comprobado que existen dispositivos que trabajan bien con oleajes de pequeñas alturas de ola como es el WaveStar.

Por otra parte, el problema de la implantación de un sistema de energía undimotriz, como se ha demostrado, no es por la viabilidad técnica ni funcional, el principal problema es la viabilidad económica. Es necesario que se recurra a algunos de los mecanismos de financiación ya sea españoles o europeos para poder llegar a obtener una rentabilidad económica. Siempre y cuando el mercado de energía sea capaz de ofrecer un precio asequible de energía, la amortización de esta clase de dispositivos resulta complicada por el elevado coste de instalación, operación y desmantelamiento.

Finalmente, el sistema WaveStar es el dispositivo que más se adecúa a las características del Puerto de Valencia. La implantación de esta energía renovable en el puerto dependerá de que, o bien el precio de la energía se encarezca a niveles extremos y la amortización salga rentable, o bien se dediquen recursos a la investigación de nuevos sistemas para la conversión del oleaje más eficientes ya sea para la producción de energía como para la viabilidad económica de estos sistemas. Algunos de los ejemplos, son las universidades como la de Aalborg en Dinamarca o la de Newcastle que ya precisan de laboratorios y material para poder llevar a cabo prototipos a escala.

8 BIBLIOGRAFÍA


- [1] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2023). Balance Energético de España 1990 – 2021 < [Balance Energetico de España 2021 \(energia.gob.es\)](#) > (Consultado en julio 2023)
- [2] Lacasa, M.C., Esteban, M. D., López-Gutiérrez, J. S., Negro, B., and Zang, Z. *Feasibility study of the installation of wave energy converters in existing breakwaters in the north of Spain. Applied Sciences* 9, 23 (2019), 5225
- [3] Hamid Reza Ghafari, Hassan Ghassemi. *Numerical study of the Wavestar wave energy converter with multi-point-absorber around DeepCwind semisubmersible floating platform. Ocean Engineering* 232 (2021).
- [4] Silvia Bozzi, Giovanni Besio, Giuseppe Passoni. *Wave power technologies for the Mediterranean offshore: Scaling and performance analysis. Coastal Engineering* 136 (2018) 130 – 146
- [5] E. Renzi, K. Doherty, A. Henry, F. Dias. *How dopes Oyster work? The simple interpretation of Oyster mathematics. European Journal of Mechanics B/Fluids* 47 (2014) 124 – 131
- [6] R. Carballo, M. Sanchez, V. Ramos, J.A. Fraguera, G. Iglesias. *The intra-annual variability in the performance of wave energy converters: A comparative study in N Galicia (Spain). Energy* 82 (2015) 138 – 146
- [7] M. Veigas, G. Iglesias. *Potentials of a hybrid offshore farm for the island of Fuerteventura. Energy Conversion and Management* 86 (2014) 300 – 308
- [8] Ross Henderson. *Desing, simulation, and testing of a novel hydraulic power take-off system for the Pelamis wave energy converter. Renewable Energy* 31 (2006) 271 – 283
- [9] Y. Torre-Enciso, I. Ortubia, L.I. López de Aguilera and J. Marqués. *Mutriku wave power plant: from the thinking out to the reality. In proceedings of the 8th European wave and tidal energy conference, Uppsala, Sweden* (2009), vol 710, 319 – 329
- [10] James Tedd, Jens Peter Kofoed. *Measurements of overtopping flow time series on the Wave Dragon, wave energy converter. Renewable Energy* 34 (2009) 711 – 717
- [11] Gabriel Ibarra-Berastegi, Jon Sáenz, Alain Ulazia, Paula Serras, Ganix Esnaola, Carlos Garcia-Soto. *Electricity production, capacity factor, and plant efficiency index at the Mutriku wave farm* (2014 – 2016)
- [12] Cambio climático < [IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change](#) > (Consultado en junio de 2023)
- [13] Cress. < [CRESS.nl](#) > (Consultado en junio de 2023)
- [14] Miguélez Pose, F. (2009). *La energía que viene del mar*. Galicia: Netbiblo.
- [15] Pelamis Wave Power. *Pelamis Wave Power P-750 Wave Energy Converter*. < https://discomap.eea.europa.eu/map/Data/Milieu/OURCOAST_092_NWAtlantic/OURCOAST_092_NWAtlantic_Doc1_PelamisWaveEnergyConverter.pdf > (Consultado en julio de 2023)
- [16] Gerencia de Riesgos y Seguros. *Energía undimotriz: el reto tecnológico de la energía de las olas*. < <https://1dhx7rmv5f.execute-api.eu-west-1.amazonaws.com/generatepdf/generatepdf?id=361154> > (Consultado en julio 2023)
- [17] Gil García G. (2008). *Energías del siglo XXI, de las energías fósiles a las alternativas*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- [18] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). < [IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change](#) > (Consultado en julio 2023)
- [19] Navionics. < <https://www.navionics.com/esp/> > (Consultado en julio 2023)
- [20] Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. *Visor de Información Geográfica Marina*. < [Visor INFOMAR - MITECO, CEDEX](#) > (Consultado en julio 2023)
- [21] M. Takao, S. Fukuma, S. Okuhara, M. M. Ashrafil Alam, Y. Kinoue (2019). *Performance comparison of turbines for bi-directional flow*. < [\(PDF\) Performance comparison of turbines for bi-directional flow \(researchgate.net\)](#) > (Consultado en julio 2023)
- [22] Atlántica (RTA). R. N.T. *Desarrollo de las energías renovables marinas: condiciones de éxito en las regiones de la rta del arco atlántico*. (2010)
- [23] S. Astariz, G. Iglesias. *The economics of wave energy: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews* 45 (2015), 397 – 408
- [24] M. O' Connor, T. Lewis, G. Dalton. *Techno-economic performance of the Pelamis P1 and WaveStar at different ratings and various locations in Europe. Renewable energy* 50 (2013), 889 – 900

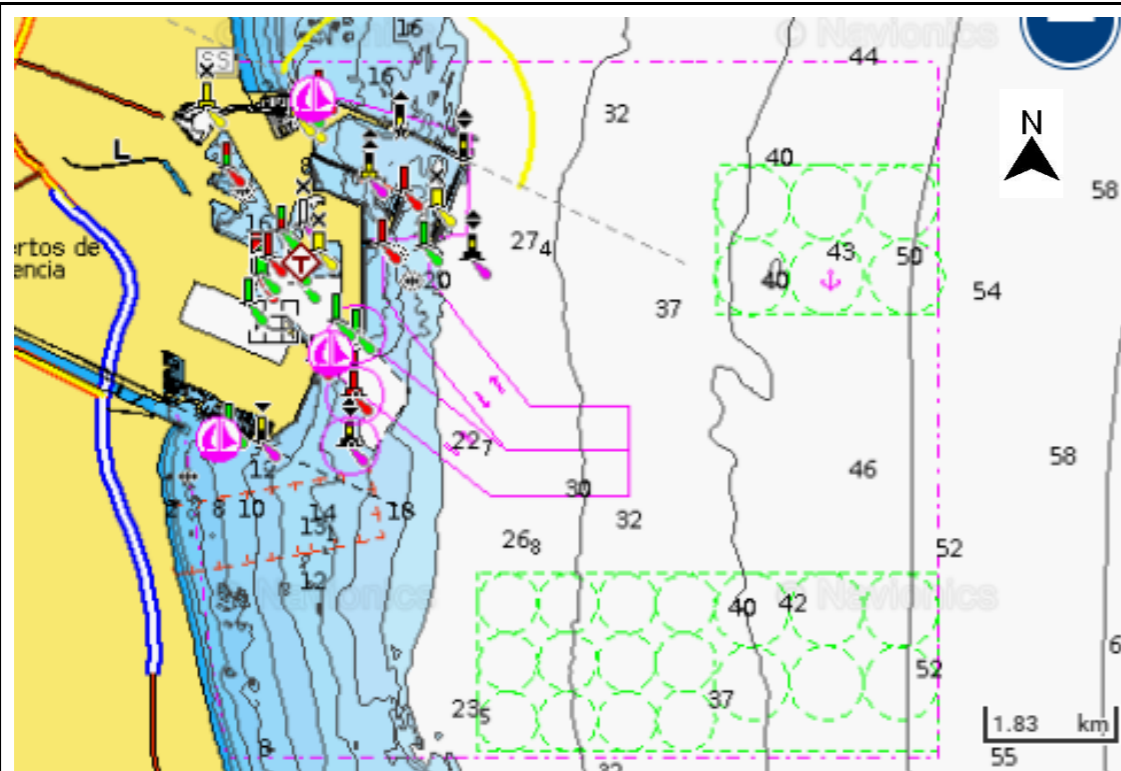
- [25] De Valencia, A. P. Boletín estadístico APV diciembre de 2022 (Consultado en junio 2023)
- [26] Ocean Power Technologies (OPT). < <https://oceanpowertechnologies.com/platform/opt-pb3-powerbuoy/> > (Consultado en junio 2023)
- [27] Ministerio de Fomento (2014). *Referencial de vehículos Puerto de Valencia Edición 5*. < <https://www.valenciaport.com/wp-content/uploads/2016/12/Referencial-de-Vehiculos-Puerto-de-Valencia-v5-enero-2014.pdf> > (Consultado en julio 2023)
- [28] Diario Renovables (2017). *Analizamos los datos de la Central Undimotriz de Mutriku. Producción, factor de capacidad, problemas...* < <https://www.diariorenovables.com/2017/12/central-undimotriz-de-mutriku-analisis-datos-produccion-problemas.html> > (Consultado en julio 2023)
- [29] Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática (2009). *Anuncio del Área de Industria y Energía de la Delegación del Gobierno en Cantabria de información pública respecto a la solicitud de declaración de impacto ambiental y autorización administrativa de una instalación de generación de energía eléctrica mediante un parque marino de boyas, en el término municipal de Santoña (Cantabria)*. < <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-B-2009-26883> > (Consultado en julio 2023)
- [30] CASTRO ALONSO, P. B. (2015). *Estudio de viabilidad de ubicación de instalaciones energéticas undimotrices en la costa de Cantabria*. Trabajo Final de Grado. Cantabria: Universidad de Cantabria.
- [31] Generalitat Valenciana. *Contaminación Acústica. Ruido* < <https://agroambient.gva.es/es/web/calidad-ambiental/contaminacion-acustica.-ruido> > (Consultado en julio 2023)
- [32] IH Cantabria. *Visor C3E* < <https://c3e.ihcantabria.com/> > (Consultado en julio 2023)
- [33] BODGAN LOAN INCAU (2013). *Wavestar Generator*. Trabajo Final de Máster. Dinamarca: Aalborg Universitet.
- [34] TETHYS (2011). *Wave Star Hanstholm*. < <https://tethys.pnnl.gov/project-sites/wave-star-hanstholm> > (Consultado en agosto 2023)
- [35] Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. *Visor de Puertos del Estado. Oceanografía – Predicción de oleaje, nivel del mar; Boyas y mareógrafos* < <https://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx#> > (Consultado en julio 2023)
- [36] Operador del Mercado Ibérico de Energía (OMIE) (2023). *Mínimo, medio y máximo precio de la cansación del mercado diario de España* < <https://www.omie.es/es/market-results/interannual/daily-market/daily-prices?scope=interannual&system=1> > (Consultado en agosto de 2023)
- [37] Enel Green Power. *Energía sostenible para todos*. < <https://www.enelgreenpower.com/es/quienes-somos/la-empresa> > (Consultado en agosto 2023)
- [38] Research Gate. *Desing of osculating-water-column wave energy converters with an application to self-powered sensor buoys*. < https://www.researchgate.net/publication/306313216_Design_of_oscillating-water-column_wave_energy_converters_with_an_application_to_self-powered_sensor_buoys > (Consultado en agosto 2023)
- [39] ZECO Hydropower. *Hydropower turbines. For generators*. < <https://zeco hydropower.com/> > (Consultado en agosto 2023)
- [40] Soliclima Energía solar. *Inaugurado parque undimotriz en Portugal*. < <https://news.soliclimate.com/noticias/otras-renovables/inagurado-parque-undimotriz-en-portugal> > (Consultado en agosto 2023)
- [41] Unión Europea. Energía. *Invertir en un futuro energético para Europa* < https://european-union.europa.eu/priorities-and-actions/actions-topic/energy_es > (Consultado en agosto 2023)
- [42] Europa. Eur-Lex. *Mecanismo de financiación de energías renovables de la UE* < <https://eur-lex.europa.eu/ES/legal-content/summary/eu-renewable-energy-financing-mechanism.html> > (Consultado en agosto 2023)
- [43] Wave Star Energy. *Technology*. < <https://wavestarenergy.com/about/> > (Consultado en agosto 2023)
- [44] RODRÍGUEZ GALVÁN, G. (2017-2018). *Dimensionamiento de cimentaciones superficiales para aerogeneradores offshore*. Trabajo Final de Máster. Gran Canaria: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

PLANOS




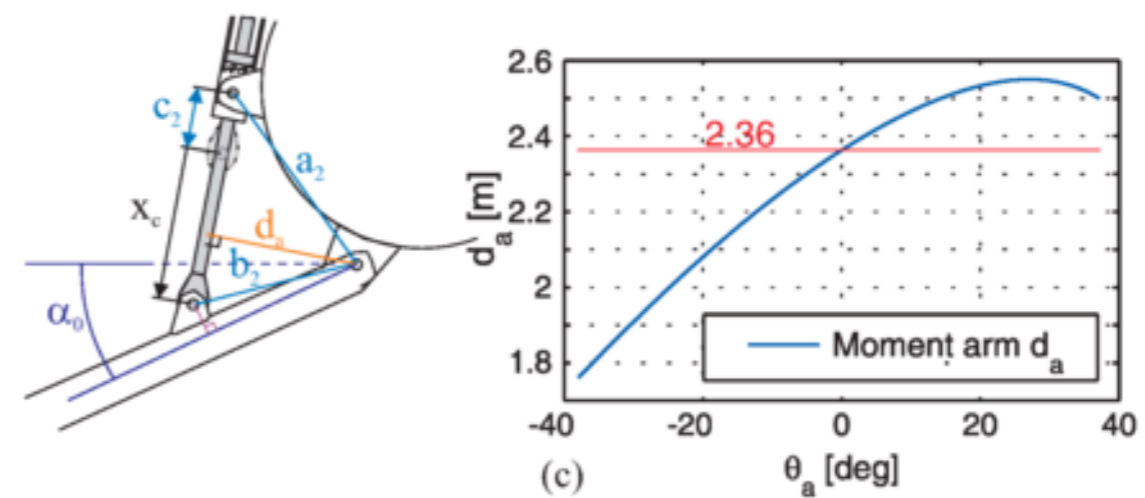
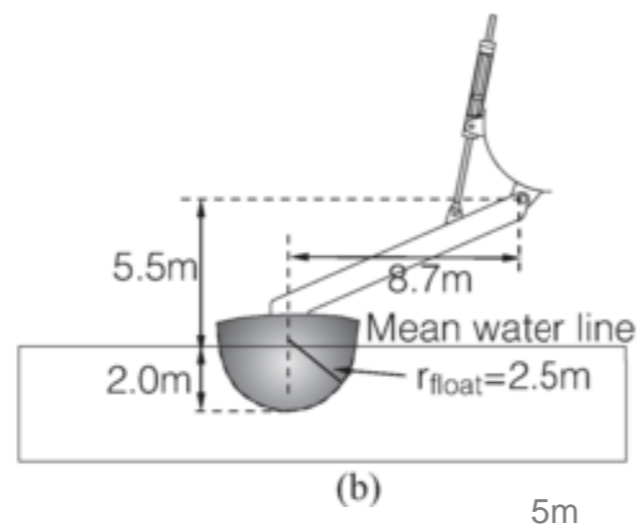
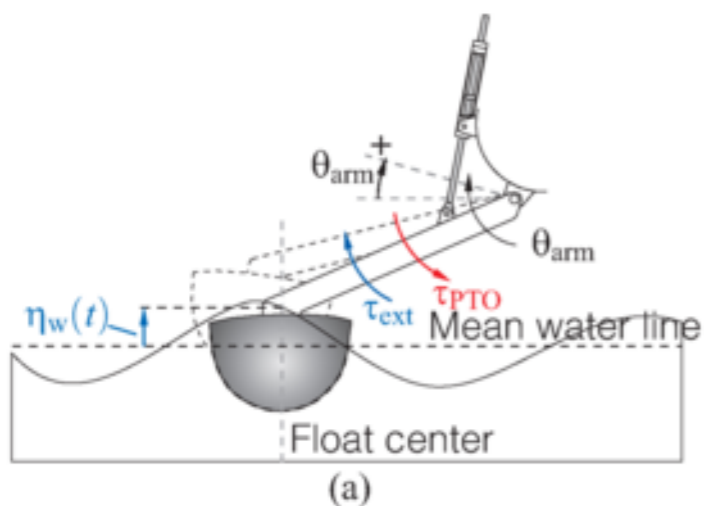
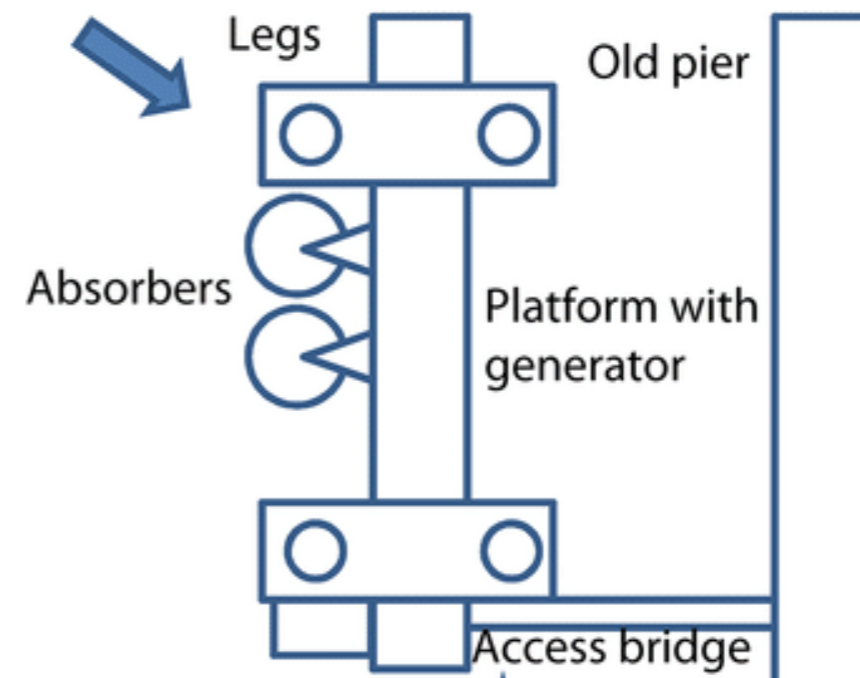
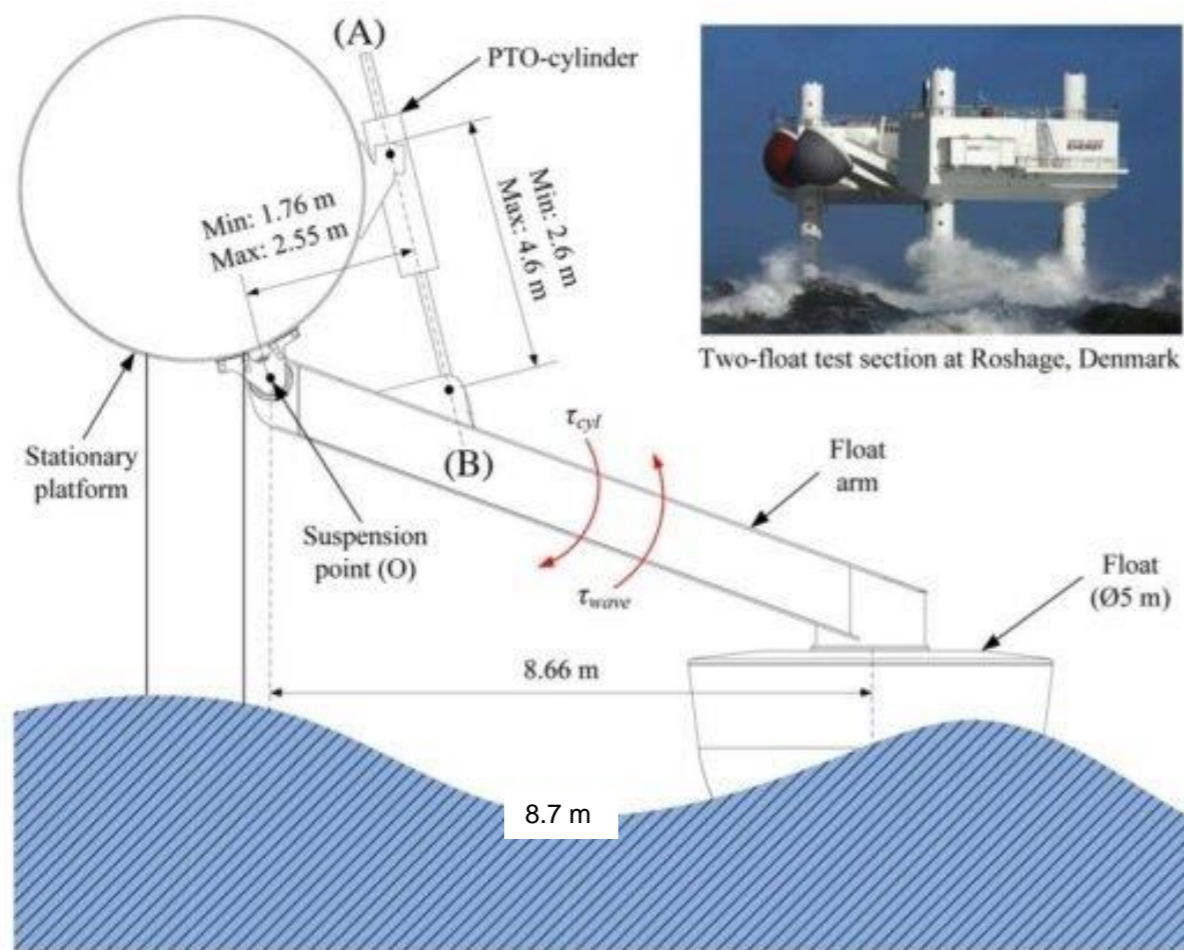
ESTUDIO DE LA APLICABILIDAD DE SISTEMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA UNDIMOTRIZ EN LA COSTA VALENCIANA. APLICABILIDAD AL PUERTO DE VALENCIA.

<p>AUTOR Pablo Ortí Cardo</p>	<p>TÍTULO DE PLANO LOCALIZACIÓN</p>	<p>FECHA Agosto 2023 UBICACIÓN Valencia</p>	<p>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS</p> 	<p>PLANO Nº1 ESCALA Varias</p>
-----------------------------------	---	---	---	--



- Batimetría ●
- Zonas de fondeo ●
- Canales de circulación ●

<p>ESTUDIO DE LA APLICABILIDAD DE SISTEMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA UNDIMOTRIZ EN LA COSTA VALENCIANA. APLICABILIDAD AL PUERTO DE VALENCIA.</p>	<p>AUTOR Pablo Ortí Cardo</p>	<p>TÍTULO DE PLANO Batimetría/Zonas de fondeo/Canales de Circulación</p>	<p>FECHA Agosto 2023 UBICACIÓN Valencia</p>	<p>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS</p> 	<p>PLANO Nº2 ESCALA Varias</p>
--	--	---	--	---	--



ESTUDIO DE LA APLICABILIDAD DE SISTEMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA UNDIMOTRIZ EN LA COSTA VALENCIANA. APLICABILIDAD AL PUERTO DE VALENCIA.

AUTOR
Pablo Ortí
Cardo

TÍTULO DE PLANO
WaveStar

FECHA
Agosto 2023
UBICACIÓN
Valencia



PLANO Nº3
ESCALA
Varias