

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA
INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LA ENERGÍA UNDIMOTRIZ EN LA COSTA GALLEGA

Alumno/Alumna: Uriarte Sabín, Leticia

Director/Directora: Esteban Alcalá, Gustavo Adolfo

Curso: 2018-2019

Fecha: 17, día, Julio, 2019

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un análisis detallado del potencial energético del oleaje en tres emplazamientos de la costa gallega. A partir de los resultados de dicho análisis se pretende determinar la viabilidad de la instalación de un sistema para el aprovechamiento de la energía undimotriz en las ubicaciones de estudio. A continuación se procede a estudiar la eficiencia de una serie de dispositivos convertidores de la energía del oleaje y finalmente a la selección del dispositivo óptimo.

The following report performs a detailed analysis of the energy potential of swell at three sites on the Galician coast. Based on the results of this analysis, the aim is to determine the feasibility of installing a system for the use of wave energy in the study locations. We then proceed to analyse the efficiency of a number of wave energy converter devices and finally to the selection of the optimal device.

Lan honetan galiziako kostaldearen olatuen potentzial energetikoaren ikerketa zehatza egiten da, zehazki hiru kokapenetan. Aipaturiko analisiaren emaitzetatik, sistema bateko instalazioaren bideragarritasuna zehaztu nahi da olatu-energiaren ustiapenerako ikerketaren kokapenean. Ondoren, olatu-energiako gailu bihurtzaileko sail bateko eraginkortasuna ikastera ekiten da eta azkenik, gailu optimoa hautatzen da.

CONTENIDO

RESUMEN	3
MEMORIA.....	9
INTRODUCCIÓN	9
CONTEXTO.....	10
Consumo energético	10
Energía undimotriz	13
OBJETIVOS Y ALCANCE	20
BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO	21
ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE	23
Clasificación de las tecnologías	23
Descripción de los dispositivos WEC a estudiar	26
ANÁLISIS DE RIESGOS	33
METODOLOGÍA.....	34
DESCRIPCIÓN DE TAREAS, FASES, EQUIPOS O PROCEDIMIENTOS.....	34
Tratamiento de datos del histórico del oleaje	34
Análisis de los dispositivos WEC.....	35
Análisis de la eficiencia de los dispositivos	35
DIAGRAMA DE GANTT.....	36
CÁLCULOS.....	37
Matriz del oleaje teórica	37
Análisis del estado del oleaje: tratamiento de datos.....	39
Análisis de los dispositivos WEC: matrices de potencia.....	54
Cálculo de la potencia eléctrica media.....	57
DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS	63
Ferrol	63
Punta Langosteira.....	64
Silleiro.....	66
Comparativa	67
ASPECTOS ECONÓMICOS	70
ANÁLISIS DE RENTABILIDAD	70
CONCLUSIONES	72
BIBLIOGRAFÍA.....	73
ANEXO I.- TABLAS.....	75
Matrices del oleaje.....	75

Ferrol	75
Punta Langosteira.....	76
Silleiro.....	77
Matrices modificadas para el cálculo de la potencia eléctrica media	79
Ferrol	79
Punta Langosteira.....	84
Silleiro.....	90
Ecuación 1. Potencial energético modelo geométrico-estadístico [6].....	18
Ecuación 2. Energía de una ola individual según la teoría de olas lineal [6]	18
Ecuación 3. Generalización de la energía de N olas [6]	18
Ecuación 4. Celeridad de grupo según la teoría de ondas lineal [6]	18
Ecuación 5. Generalización de la celeridad de grupo para N olas [6]	18
Ecuación 6. Potencial energético según el modelo geométrico-estadístico [6]	19
Ecuación 7. Expresión del potencial energético del oleaje según el modelo espectral [6].....	19
Ecuación 8. Periodo energético [8].....	19
Ecuación 9. Potencia del oleaje [8]	37
Ecuación 10. Periodo energético [8].....	37
Ecuación 11. Densidad del agua del mar [8]	37
Ecuación 12. Índice normalizado adimensional de P_w [8].....	49
Ecuación 13. Anchura de captura (m) [8]	51
Ecuación 14. Factor de Capacidad (%) [20].....	52
Ecuación 15. Potencia eléctrica media [25]	57
Figura 1. Consumo de energía global. Junio 2018 [3]	11
Figura 2. Consumo energético por regiones. Junio 2018 [3]	11
Figura 3. Generación eléctrica global. Junio 2018 [3]	12
Figura 4. Generación eléctrica por regiones. Junio 2018 [3]	12
Figura 5. Acción de viento constante sobre un cuerpo de agua [6].....	15
Figura 6. Órbitas de las partículas de agua de una ola [7]	16
Figura 7. Influencia del lecho marino en las trayectorias de las partículas de agua [6]	16
Figura 8. Emplazamientos de estudio [9].....	21
Figura 9. Potencial energético de la energía undimotriz a nivel mundial [11].....	22
Figura 10. Potencial de la energía undimotriz en España [10].....	22
Figura 11. Principio de captación de la energía [4].....	24
Figura 12. Ubicación [4].....	25
Figura 13. Geometría y orientación [4].....	25
Figura 14. Métodos de obtención de la energía [13].....	26
Figura 15. Dispositivo Pelamis [14]	27
Figura 16. Instalación de dispositivos Pelamis en Portugal [15]	27
Figura 17. Representación esquemática del dispositivo Oceanec [16]	28
Figura 18. Aquabuoy representación esquemática [17].....	28
Figura 19. Wavebob [15]	29

Figura 20. Wavebob. Representación esquemática de diseño [15].....	29
Figura 21. Vista de alzado del dispositivo Wave Dragon [18]	30
Figura 22. Vista de planta del dispositivo Wave Dragon [15].....	30
Figura 23. Wave Dragon [16].....	31
Figura 24. Representación del diseño del dispositivo Wave Star [19]	31
Figura 25. Representación esquemática del AWS [15]	32
Figura 26. Representación del diseño del AWS [4]	32
Figura 27. Matriz del oleaje genérica.....	38
Figura 28. Leyenda rosas del oleaje [9].....	39
Figura 29. Rosa del oleaje Ferrol [9]	40
Figura 30. Rosa del oleaje Ferrol invierno [9]	40
Figura 31. Rosa del oleaje Punta Langosteira [9]	41
Figura 32. Rosa del oleaje Punta Langosteira invierno [9]	41
Figura 33. Rosa del oleaje Silheiro [9]	42
Figura 34. Rosa del oleaje Silheiro invierno [9]	42
Figura 35. Ferrol. H_s valores extremos y dispersión.....	44
Figura 36. Ferrol. P_w valores extremos y dispersión	44
Figura 37. Punta Langosteira. H_s valores extremos y dispersión	45
Figura 38. Punta Langosteira. P_w valores extremos y dispersión.....	45
Figura 39. Silheiro. H_s valores extremos y dispersión	46
Figura 40. Silheiro. P_w valores extremos y dispersión.....	46
Figura 41. Comparativa H_s máxima.....	47
Figura 42. Comparativa P_w máxima	48
Figura 43. Comparativa tiempo total.....	50
Figura 44. Comparativa tiempo invierno	50
Figura 45. Capture Width	51
Figura 46. Factor de Capacidad (%)	53
Figura 47. Ferrol. $P_N < 1000$ kW. P_E (kW).....	63
Figura 48. Ferrol. $P_N \geq 2000$ kW. P_E (kW).....	64
Figura 49. Punta Langosteira. $P_N < 1000$ kW. P_E (kW)	65
Figura 50. Punta Langosteira. $P_N \geq 2000$ kW. P_E (kW)	65
Figura 51. Silheiro. $P_N < 1000$ kW. P_E (kW)	66
Figura 52. Silheiro. $P_N \geq 2000$ kW. P_E (kW)	67
Figura 53. Comparativa. $P_N < 1000$ kW. P_E (kW).....	68
Figura 54. Comparativa. $P_N \geq 2000$ kW. P_E (kW).....	68
Figura 55. Comparativa global P_E (kW)	69
Figura 56. Desglose del OPEX (coste operacional) de un sistema marino [4]	71
Figura 57. Evolución del coste de la energía undimotriz [4]	71

Tabla 1. Parámetros estadísticos de la descripción geométrico-estadística [6].....	18
Tabla 2. Matriz de probabilidad-impacto.....	33
Tabla 3. Matriz del oleaje genérica	38
Tabla 4. Comparativa H_s máxima.....	47
Tabla 5. Comparativa P_w máxima	48
Tabla 6. Comparativa parámetros adimensionales.....	49
Tabla 7. Capture Width.....	52

Tabla 8. Rated Power (kW) [20].....	52
Tabla 9. Factor de Capacidad (%).....	53
Tabla 10. Matriz de potencia Pelamis [21].....	55
Tabla 11. Matriz de potencia Oceantec [16].....	55
Tabla 12. Matriz de potencia Aquabuoy [22].....	56
Tabla 13. Matriz de potencia Wavebob [23].....	56
Tabla 14. Matriz de potencia Wave Dragon [18]	56
Tabla 15. Matriz de potencia Wave Star [19]	56
Tabla 16. Matriz de potencia AWS [24]	57
Tabla 17. Comparativa. P_E (kW).....	67
Tabla 18. Frecuencias de repetición Ferrol.....	75
Tabla 19. Matriz del oleaje Ferrol	75
Tabla 20. Potencias del oleaje Ferrol	75
Tabla 21. Frecuencias de repetición Punta Langosteira	76
Tabla 22. Matriz del oleaje Punta Langosteira.....	76
Tabla 23. Potencias del oleaje Punta Langosteira.....	77
Tabla 24. Frecuencias de repetición Silleiro	77
Tabla 25. Matriz del oleaje Silleiro.....	78
Tabla 26. Potencias del oleaje Silleiro.....	78
Tabla 27. Pelamis. Matriz del oleaje modificada Ferrol	79
Tabla 28. Pelamis. Matriz de potencia modificada Ferrol.....	79
Tabla 29. Oceantec. Matriz del oleaje modificada Ferrol	80
Tabla 30. Oceantec. Matriz de potencia modificada Ferrol.....	80
Tabla 31. Aquabuoy. Matriz del oleaje modificada Ferrol	80
Tabla 32. Aquabuoy. Matriz de potencia modificada Ferrol.....	81
Tabla 33. Wavebob. Matriz del oleaje modificada Ferrol	81
Tabla 34. Wavebob. Matriz de potencia modificada Ferrol.....	81
Tabla 35. Wave Dragon. Matriz del oleaje modificada Ferrol.....	82
Tabla 36. Wave Dragon. Matriz de potencia modificada Ferrol	82
Tabla 37. Wave Star. Matriz del oleaje modificada Ferrol	82
Tabla 38. Wave Star. Matriz de potencia modificada Ferrol.....	83
Tabla 39. AWS. Matriz del oleaje modificada Ferrol.....	83
Tabla 40. AWS. Matriz de potencia modificada Ferrol.....	83
Tabla 41. Pelamis. Matriz del oleaje modificada Punta Langosteira	84
Tabla 42. Pelamis. Matriz de potencia modificada Punta Langosteira.....	85
Tabla 43. Oceantec. Matriz del oleaje modificada Punta Langosteira	85
Tabla 44. Oceantec. Matriz de potencia modificada Punta Langosteira.....	86
Tabla 45. Aquabuoy. Matriz del oleaje modificada Punta Langosteira	86
Tabla 46. Aquabuoy. Matriz de potencia modificada Punta Langosteira.....	86
Tabla 47. Wavebob. Matriz del oleaje modificada Punta Langosteira	87
Tabla 48. Wavebob. Matriz de potencia modificada Punta Langosteira.....	87
Tabla 49. Wave Dragon. Matriz del oleaje modificada Punta Langosteira.....	88
Tabla 50. Wave Dragon. Matriz de potencia modificada Punta Langosteira	88
Tabla 51. Wave Star. Matriz del oleaje modificada Punta Langosteira	89
Tabla 52. Wave Star. Matriz de potencia modificada Punta Langosteira	89
Tabla 53. AWS. Matriz del oleaje modificada Punta Langosteira.....	89
Tabla 54. AWS. Matriz de potencia modificada Punta Langosteira	90
Tabla 55. Pelamis. Matriz del oleaje modificada Silleiro.....	90

Tabla 56. Pelamis. Matriz de potencia modificada Silleiro.....	91
Tabla 57. Oceantec. Matriz del oleaje modificada Silleiro	91
Tabla 58. Oceantec. Matriz de potencia modificada Silleiro.....	92
Tabla 59. Aquabuoy. Matriz del oleaje modificada Silleiro	92
Tabla 60. Aquabuoy. Matriz de potencia modificada Silleiro.....	92
Tabla 61. Wavebob. Matriz del oleaje modificada Silleiro	93
Tabla 62. Wavebob. Matriz de potencia modificada Silleiro.....	93
Tabla 63. Wave Dragon. Matriz del oleaje modificada Silleiro.....	94
Tabla 64. Wave Dragon. Matriz de potencia modificada Silleiro	94
Tabla 65. Wave Star. Matriz del oleaje modificada Silleiro	95
Tabla 66. Wave Star. Matriz de potencia modificada Silleiro	95
Tabla 67. AWS. Matriz del oleaje modificada Silleiro.....	95
Tabla 68. AWS. Matriz de potencia modificada Silleiro	96

MEMORIA

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se va a realizar un análisis del potencial de la energía undimotriz en tres emplazamientos de la costa gallega. Se comienza contextualizando el trabajo mediante una descripción del consumo energético a nivel global y la necesidad del desarrollo de nuevas fuentes limpias de energía, seguido de una introducción a la situación de la energía undimotriz u oleomotriz en la actualidad junto con una introducción a las tecnologías disponibles. Posteriormente se presentan los objetivos de este trabajo y el alcance deseado, que sería tanto el estudio del potencial del oleaje como la determinación del convertidor de la energía del oleaje (a continuación Wave Energy Converter o WEC) óptimo en cada ubicación de estudio para el aprovechamiento y la posterior comercialización de la energía de las olas en Galicia.

En lo que se refiere al potencial energético del mar, se presentan los valores promedios en las matrices del oleaje de cada ubicación, que proporcionan información sobre los estados del oleaje más recurrentes. A continuación se han representado gráficamente los valores máximos de altura y potencia de ola a lo largo de un año, que materializan el potencial energético del oleaje en los lugares de estudio, junto con los valores promedio de dichos parámetros para poder observar la dispersión de dichos datos. A partir de estas gráficas se señalan las diferencias entre la temporada de invierno y el periodo total del año, ya que la primera resulta más densa energéticamente. Se completa el análisis del potencial energético del oleaje mediante el estudio de los tres siguientes parámetros:

- a) Índice normalizado adimensional de la potencia del oleaje (P_{wn})
- b) Anchura de captura (C_w)
- c) Factor de capacidad (C_f)

Posteriormente, se explica brevemente el procedimiento a seguir para el análisis del aprovechamiento del potencial energético del oleaje en cada ubicación con cada dispositivo WEC seleccionado para el estudio. Dicho análisis se presenta con los cálculos necesarios para la determinación del dispositivo WEC óptimo (máxima eficiencia) en cada emplazamiento, que se seleccionará en función del criterio de la eficiencia máxima.

Finalmente, se va a realizar una interpretación y análisis de los resultados obtenidos en los emplazamientos de estudio, en primer lugar de forma independiente por ubicaciones y en segundo lugar de forma global. Mediante esta interpretación, se procede a determinar el dispositivo óptimo en cada ubicación y su posible implementación. Cabe destacar que el criterio principal que se ha tomado para este trabajo es el de la eficiencia máxima a pesar de que los factores que influyen en la selección del dispositivo óptimo son muy numerosos. Otro criterio esencial para la selección de dicho dispositivo sería el coste, sin embargo, al estar tratando con tecnologías en desarrollo su estudio y determinación se complica en gran medida. No obstante, se presentará un estudio aproximado de la rentabilidad de la instalación de los dispositivos para el aprovechamiento de la energía undimotriz.

CONTEXTO

Consumo energético

Hoy en día, la concienciación con el cambio climático está en auge y también lo están por tanto las iniciativas para combatirlo. Es por esta razón que tanto los individuos como la industria y las empresas están intentando adoptar actitudes más sostenibles. Como consecuencia, las energías renovables han ganado mucha popularidad los últimos años frente a los combustibles fósiles.

Este tipo de iniciativas están respaldadas por la Unión Europea, que en 2015 propuso el Acuerdo de París [1], ratificado por 200 países incluyendo a España, cuyo objetivo es mantener el aumento de temperatura mundial medio por debajo de 2°C a partir de 2020. Además, también en 2015, la ONU propone los Objetivos de Desarrollo Sostenible [2], siendo uno de ellos asegurar el acceso a la energía sostenible, económica, segura y moderna a nivel mundial. España participa en ambas iniciativas, por lo que el desarrollo en el campo de las energías renovables es imprescindible para el cumplimiento de dichos objetivos.

Las energías renovables son fuentes limpias e inagotables de energía que no producen emisiones de gases de efecto invernadero ni otros agentes contaminantes responsables del cambio climático, lo que las convierte en un socio imprescindible en la lucha contra el calentamiento global. Además, este tipo de energías está ganando competitividad, ya que con el desarrollo de nuevas tecnologías y el número creciente de emplazamientos se están reduciendo sus costes considerablemente y aumentando su productividad. Por otra parte, el uso de energías renovables también beneficia la economía del país al reducirse la dependencia energética.

Sin embargo, la transición del petróleo y el gas natural a las energías renovables es un proceso que aunque constante, también es lento. Esto puede observarse en el consumo de energía global, liderado por el gas natural y el petróleo en el informe de Junio de 2018 [Figura 1]. Por otra parte, el análisis del consumo energético por regiones difiere ligeramente del global. En la [Figura 2] se observa que en las regiones de Europa, Norte América y Centro y Sur América el petróleo es el combustible más consumido, en la región CIS y Oriente Medio lidera el gas natural, mientras que en Asia sigue predominando el carbón. En lo que se refiere a las energías renovables e hidroeléctrica, las regiones que más destacan son Europa y Centro América [3].

El consumo de energía global está creciendo cada año, y con él también lo están haciendo las emisiones de gases nocivos para la atmósfera, ya que como se aprecia en las [Figura 1] y [Figura 2], los combustibles más consumidos son los más contaminantes. En 2017 el consumo de energía primaria creció un 2,2% frente al 1,7% que había crecido como media en los últimos diez años, junto con un crecimiento del 1,6% en las emisiones de CO₂ [3].

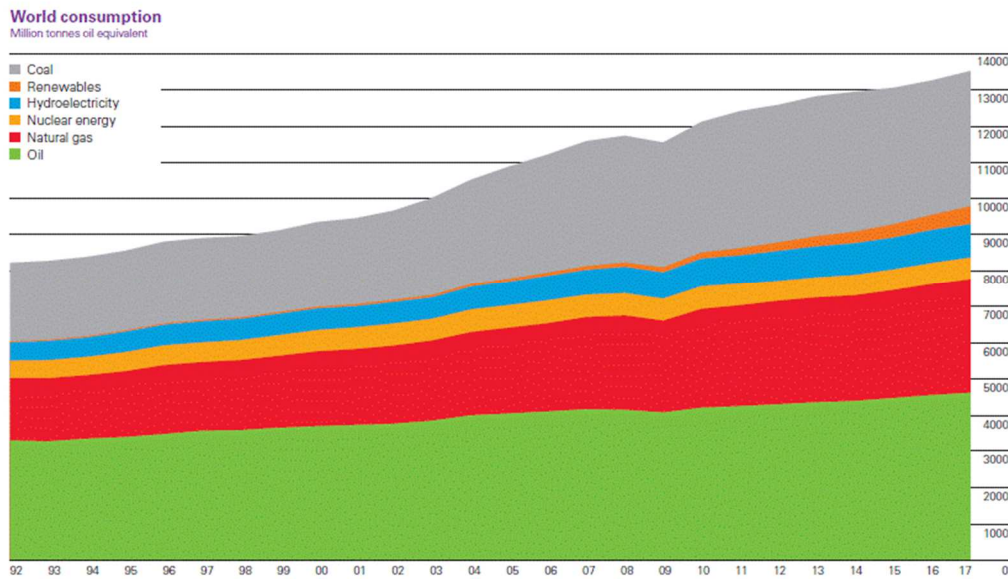


Figura 1. Consumo de energía global. Junio 2018 [3]

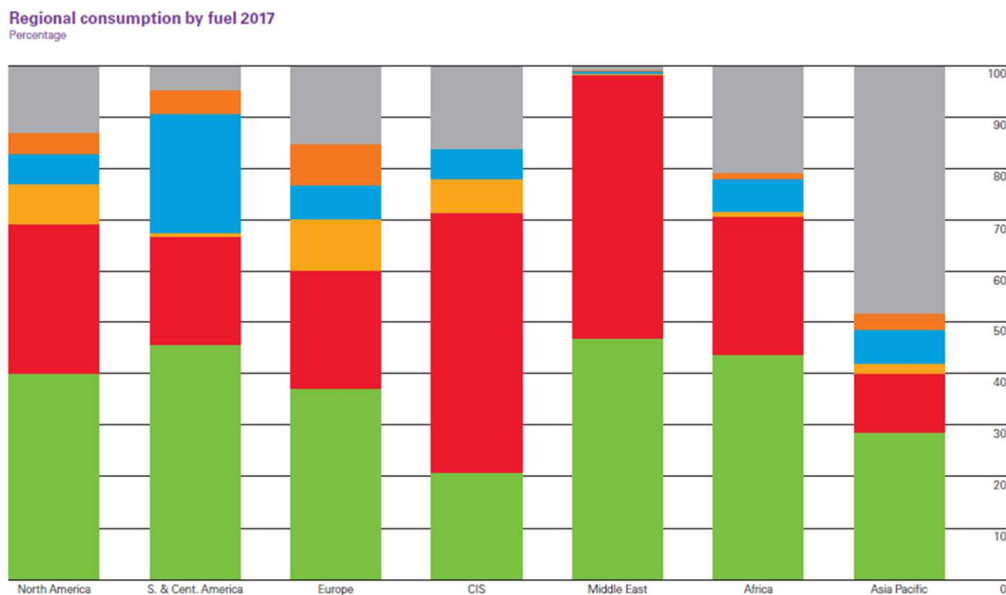


Figura 2. Consumo energético por regiones. Junio 2018 [3]

Por otra parte, en lo que a la generación de electricidad se refiere [Figura 3], el carbón permanece como la fuente de potencia líder en el mundo (38,17%) seguido por el 23,2% del gas natural y el 15,9% de la energía hidroeléctrica. Debido a los efectos nocivos del carbón y del gas natural, en los últimos años las energías renovables están ganando popularidad (aproximadamente 10% de la generación de electricidad), ya que son una alternativa limpia que permitirá reducir las emisiones de gases nocivos debidas a la generación y el consumo de energía. Por ejemplo en el caso de Europa, como puede apreciarse en la [Figura 2], la generación de energía hidroeléctrica y energías renovables compite con el carbón y el gas natural.

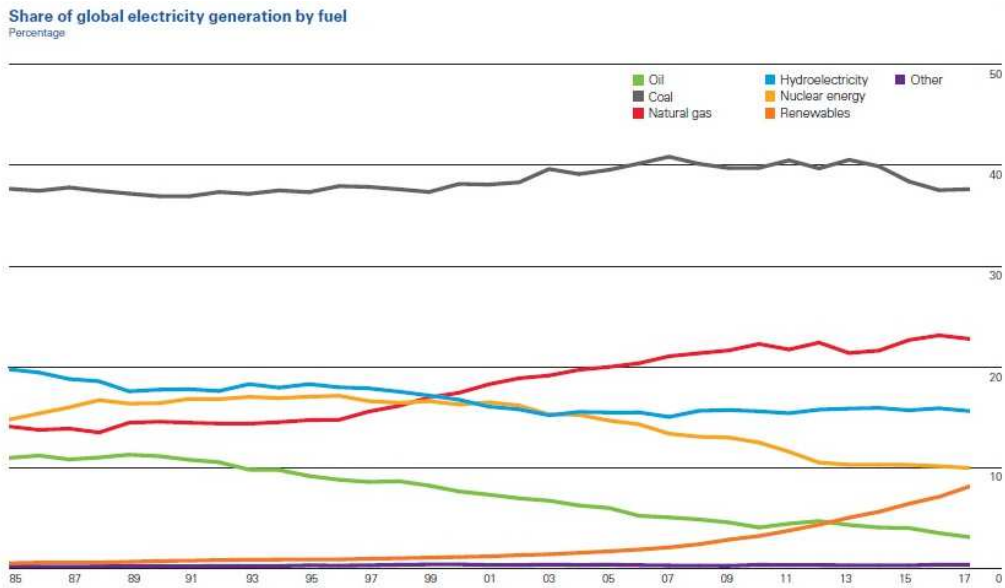


Figura 3. Generación eléctrica global. Junio 2018 [3]

Finalmente, en la [Figura 4] se representa la generación de electricidad dividida por regiones. En este caso, se observa cómo la generación de energía por gas natural está centrada principalmente en Oriente Medio, aunque también es representativa en la región CIS, África, Europa, Norte América y Sur y Centro América. Por otra parte, también es muy representativa la generación debida al carbón en Asia y África. En lo que a energías renovables respecta, destaca Europa en primer lugar seguida de Centro y Sur América y de Norte América, aunque la región líder en generación de hidroeléctrica es Centro y Sur América con mucha diferencia.

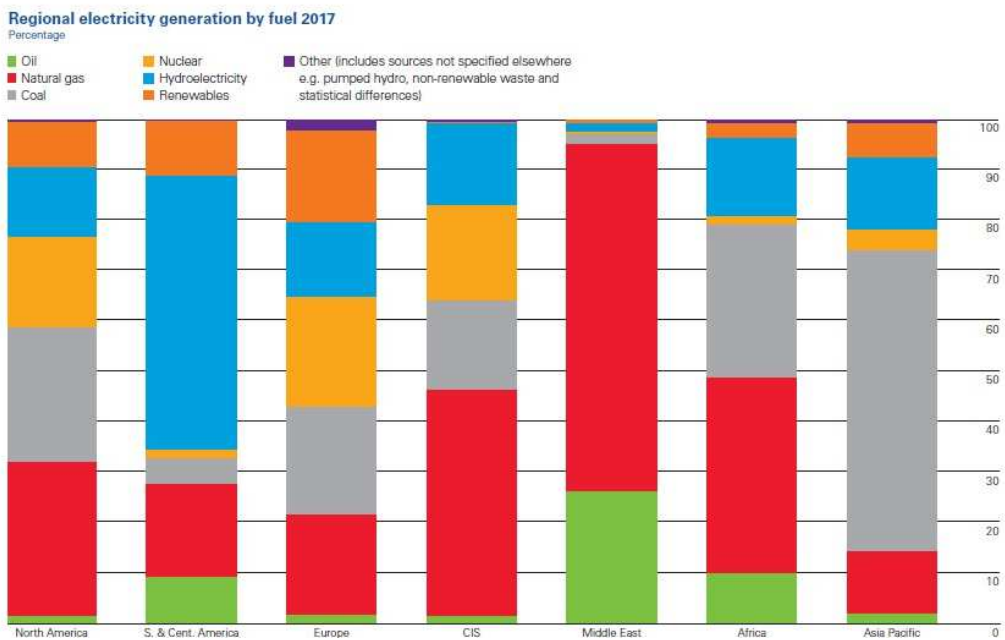


Figura 4. Generación eléctrica por regiones. Junio 2018 [3]

Teniendo en cuenta el análisis de la generación y consumo energético mundial, es evidente que a día de hoy el petróleo y el gas natural siguen teniendo un gran protagonismo a pesar del crecimiento que han experimentado las energías renovables. No obstante, las energías renovables son la mejor opción para cumplir con los objetivos de reducción de las emisiones de dióxido de carbono en el futuro.

Hoy en día en España, la generación de energías renovables ha aumentado considerablemente entre 2005 y 2015, de un 19,1% a un 36,9%. Sin embargo, el crecimiento en los últimos años es menos pronunciado (un 33,7% en 2017 según la REE). Sin embargo, en lo que se refiere al consumo de energía, un 13,9% lo constituyen las renovables (destacan el 4,2% de biomasa, 3,4% de eólica, 2,5% de hidráulica y 1,8% de solar termoeléctrica) frente a un 44,2% de petróleo y un 20,3% de gas natural [3].

Energía undimotriz

Historia

A partir de la crisis energética de 1970, surge a nivel internacional una serie de iniciativas de investigación y desarrollo en las tecnologías para el aprovechamiento de las energías del mar. No obstante, estas iniciativas no fueron mantenidas en las siguientes décadas dando lugar a una innovación en el sector limitada. Sin embargo, en la actualidad la combinación de los avances en el ámbito de la ingeniería marítima y la necesidad del desarrollo en las energías renovables ha causado un resurgimiento en la investigación de este tipo de tecnologías.

En los comienzos del desarrollo de la tecnología relacionada con el aprovechamiento de este tipo de energía, destacó el Reino Unido donde se desarrollaron diversos conceptos de dispositivos a partir de la década de los 70, aunque la financiación en este campo fue reducida. Además, en países como Noruega y Japón, las iniciativas para el desarrollo de tecnologías aumentan al reducirse la financiación en el Reino Unido, dando lugar a numerosos proyectos. Es el pionero japonés Yoshio Masuda quien desarrolla el concepto de la columna de agua oscilante (Oscillating Water Column) en el que se basa el funcionamiento de muchos convertidores de la energía del oleaje (WEC) en la actualidad.

En el caso de España, todavía no se ha llegado a comercializar este tipo de energía pero el contexto para su desarrollo es muy favorable, siendo la apuesta por el potencial de la energía del mar muy fuerte debido a las características de la costa Cantábrica y de las islas Canarias. En España ya se ha comenzado a hacer pruebas con varios prototipos para la obtención de este tipo de energía renovable, que en el futuro podría ser una fuente de energía más. A continuación se indican los principales proyectos realizados en España con el objeto del desarrollo de la energía undimotriz [4]:

- Canarias
 - Proyecto WELCOME (Wave Energy Lift Converter España)
 - Proyecto INNPACTO WAVE ENERGY
 - Proyecto UNDIGEN
- Galicia
 - Proyecto con tecnología Pelamis
 - Proyecto de dice con columna de agua oscilante (OWC Unión Fenosa)
- Asturias: Proyecto HIDROFLOT
- Cantabria: Proyecto SWEP (Santoña Wave Energy Project)

En lo que se refiere al futuro de la energía undimotriz, a pesar de ser una fuente de energía joven, su evolución se ve respaldada por distintas políticas europeas como el SET Plan [5] cuyo objetivo es promover la innovación en energías renovables, pretendiéndose acelerar la reducción de carbono en la generación y consumo de energía. Por esta razón, se apuesta por la innovación, desde el análisis del mercado (financiación y regulaciones necesarias) hasta la evaluación de las necesidades del sistema energético y la importancia de su transformación. Los diez objetivos principales de esta política europea son que Europa lidere el mercado de las energías renovables, proporcionar nuevas tecnologías y servicios al consumidor garantizando la seguridad y resiliencia del sistema energético, conseguir sistemas energéticos eficientes, transporte sostenible basado en biocombustible, reducir las emisiones de carbono e incrementar la seguridad de la energía nuclear [5]. Además, para promover la innovación en el campo de las renovables, el SET Plan apuesta por la comercialización de las energías oceánicas, entre ellas la undimotriz [5].

La energía undimotriz u oleomotriz consiste en el aprovechamiento de la energía del oleaje para la producción de electricidad. El oleaje es un derivado terciario de la energía solar, ya que se genera como consecuencia del rozamiento entre la superficie del mar y el viento, que a su vez es causado por las diferencias de presión y temperatura inducidas por la energía solar transmitida a la atmósfera. La energía del oleaje tiene la característica de ser capaz de viajar grandes distancias sin presentar pérdidas considerables, lo que es de gran ayuda para su aprovechamiento. Su intensidad viene definida por la intensidad y duración del viento, y de la longitud sobre la que se transmite a la ola.

La razón por la que energía undimotriz u oleomotriz está recibiendo tanta atención en la actualidad es que el oleaje puede describirse de manera espectral o en función de un modelo geométrico estadístico, lo que permite predecirlo dentro de ciertos rangos [6]. Esto supone una gran ventaja para el desarrollo de nuevas tecnologías enfocadas a su aprovechamiento. En lo que se refiere a los dispositivos disponibles, las alternativas son muy numerosas, estando muchas de ellas todavía en la fase de desarrollo. Posteriormente se explicará con más profundidad las características de las tecnologías disponibles y su clasificación en función de distintos criterios.

Teoría del oleaje

El primer paso para comprender el aprovechamiento de la energía de las olas para su posterior conversión en electricidad, es la descripción del origen, comportamiento y cantidad de energía del oleaje.

Origen de las olas

Como se ha mencionado anteriormente, las olas se originan debido al rozamiento entre el viento y la superficie de un cuerpo extenso de agua. El tamaño de las olas depende principalmente de la intensidad (velocidad) del viento, de la duración del mismo y de la extensión o distancia sobre la que el viento actúa sobre el cuerpo de agua. No obstante, el crecimiento de las olas no es indefinido aun si el viento sopla de manera constante, ya que finalmente se alcanza la condición de mar totalmente desarrollado en el que cesa el crecimiento [Figura 5]. Cuando las olas abandonan la zona de acción del viento se dice que entran en la zona de mar tendida, que se caracteriza por ser poco caótica (oleaje casi regular) con crestas muy elevadas y en dirección aproximadamente paralela entre cresta y cresta. Sin embargo, su altura va decreciendo por dispersión angular [6].



Figura 5. Acción de viento constante sobre un cuerpo de agua [6]

Comportamiento del oleaje

El comportamiento del oleaje se ve afectado principalmente por la profundidad del lecho marino, distinguiéndose tres zonas diferentes [6]:

1. Aguas profundas: $\frac{h}{\lambda} > \frac{1}{2}$
2. Aguas intermedias: $\frac{1}{20} < \frac{h}{\lambda} < \frac{1}{2}$
3. Aguas someras: $\frac{h}{\lambda} < \frac{1}{20}$

Cuando las olas se encuentran en aguas profundas, su comportamiento no se ve afectado por el lecho marino por lo que su potencial energético es muy alto. Al entrar en aguas intermedias, el perfil de la ola se ve influenciado por el fondo del mar, dando lugar a una pérdida de energía y a un oleaje más irregular. Finalmente, en aguas someras, las olas experimentan los fenómenos de difracción y refracción, y finalmente rompen contra la costa o la orilla. Esta característica es esencial a la hora de entender la potencia máxima que puede obtener un dispositivo WEC en función de su localización.

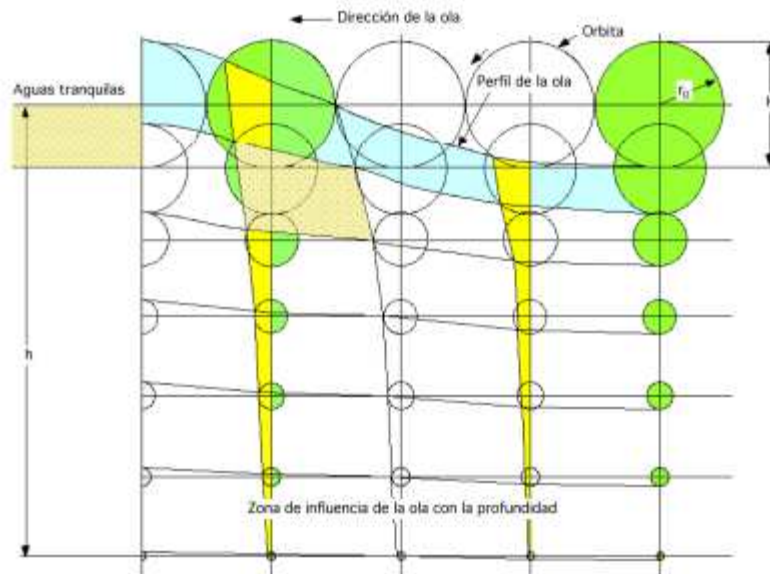


Figura 6. Órbitas de las partículas de agua de una ola [7]

Además, en lo que se refiere a la propagación de las olas, cabe destacar que las olas se trasladan en el espacio mientras que las partículas de agua no lo hacen, de modo que la propagación de una ola puede entenderse como una transferencia de energía de un punto a otro del mar. Las trayectorias descritas por las partículas de agua en una ola también se ven influenciadas por la profundidad del mar, y de nuevo se tienen tres casos (de derecha a izquierda en la [Figura 7]: aguas intermedias, aguas profundas y aguas someras):

1. Aguas profundas → órbitas circulares → el lecho marino no afecta al desplazamiento vertical de las partículas.
2. Aguas intermedias → órbitas elípticas → el lecho marino restringe parcialmente el desplazamiento vertical de las partículas.
3. Aguas someras → trayectorias rectilíneas horizontales → el lecho marino restringe completamente el desplazamiento vertical de las partículas.

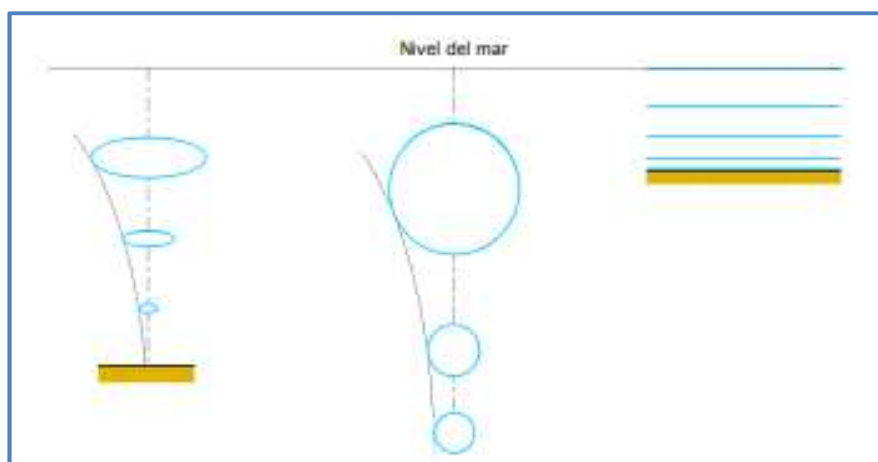


Figura 7. Influencia del lecho marino en las trayectorias de las partículas de agua [6]

Energía del oleaje

A la hora de estudiar la cantidad de energía del oleaje, primero hay que decidir la manera en la que se describirá el oleaje para su estudio. Las técnicas de estudio del oleaje se dividen dos grupos [6]:

1. Oleaje regular
 - a. Descripción lineal: teoría lineal de las ondas de Airy
 - b. Descripción no lineal: teoría de Stokes de segundo orden
2. Oleaje irregular
 - a. Descripción geométrico-estadística
 - b. Descripción espectral

El oleaje regular engloba aquellas olas que pueden ser descritas como ondas periódicas, es decir, que los parámetros que las describen permanecen constantes con el tiempo. Esta premisa podría ser aplicable en la práctica en aguas profundas con estados del oleaje muy poco caóticos. No obstante, el oleaje real es un fenómeno estocástico (carácter aleatorio en el espacio y en el tiempo) por lo que un modelo de oleaje regular no se acerca a la realidad, sino que es una idealización. Por esta razón, el modelo de oleaje regular no se va a explicar en profundidad, sino que se hará énfasis en el modelo de oleaje irregular, que será el que se utilizará en este trabajo.

El modelo de oleaje irregular proporciona una definición más fiel a la realidad del comportamiento de la superficie del mar. Este modelo está fundado en el análisis de registros de corta duración de estados del oleaje y en la extrapolación de dichos registros mediante parámetros estadísticos para la predicción del oleaje futuro. A continuación se explicarán las propuestas del estudio del oleaje irregular.

Descripción geométrico-estadística

Este tipo de descripción define el comportamiento del oleaje en función de parámetros estadísticos. Dichos parámetros se obtienen mediante la descomposición del oleaje en un registro de olas individuales mediante el desarrollo en series de Fourier. Su principal desventaja es que proporciona una distribución discreta de frecuencias del oleaje, lo que no se ajusta al comportamiento continuo real.

Para cada ola se registran los datos de la altura (H) y el periodo (T), obteniéndose una nube de puntos con los que se obtienen los siguientes parámetros característicos:

Parámetro	Descripción
Altura ola media cuadrática H_{rms}	$H_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i^2}$
Altura de ola significativa H_s	Promedio de altura del tercio mayor, de alturas, de las olas de un registro de N olas.
Altura máxima H_{max}	Es el valor mayor de las alturas del registro.
Periodo medio estadístico T_z	$T_z = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i$
Periodo significativo T_s	Promedio de periodo del tercio mayor, de alturas, de las olas de un registro de N olas.
Periodo entre crestas T_c	Tiempo que transcurre entre dos crestas sucesivas.
Parámetro de irregularidad r	$r = \frac{T_c}{T_z}$

Tabla 1. Parámetros estadísticos de la descripción geométrico-estadística [6]

Según esta descripción se realiza una extensión en series de Fourier a partir de los valores del registro de la altura y el periodo medidos, obteniéndose de esta forma la expresión de la superficie libre del mar en la zona de medición. Es por esta razón que se obtienen valores discretos como se ha mencionado anteriormente.

Finalmente, el potencial energético del estado del oleaje se define como:

$$P = E * C_g$$

Ecuación 1. Potencial energético modelo geométrico-estadístico [6]

Donde:

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2$$

Ecuación 2. Energía de una ola individual según la teoría de olas lineal [6]

$$E_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{8} \rho g H_i^2 = \frac{1}{8} \rho g \frac{\sum_{i=1}^N H_i^2}{N} = \frac{1}{8} \rho g H_{rms}^2$$

Ecuación 3. Generalización de la energía de N olas [6]

$$C_g = \frac{gT}{4\pi}$$

Ecuación 4. Celeridad de grupo según la teoría de ondas lineal [6]

$$C_{gN} = \frac{g}{4\pi} \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N} = \frac{gT_z}{4\pi}$$

Ecuación 5. Generalización de la celeridad de grupo para N olas [6]

Sustituyendo:

$$P = \frac{\rho g^2}{32\pi} T_z H_{rms}^2$$

Ecuación 6. Potencial energético según el modelo geométrico-estadístico [6]

En la [Ecuación 6] se observa que el potencial energético viene dado en función de los parámetros estadísticos.

Descripción espectral

Por otra parte, la descripción espectral del oleaje describe su comportamiento como una señal compleja que puede caracterizarse por su espectro de energía o función de densidad espectral [5]. Esta descripción es la que proporciona los resultados más cercanos a la realidad. En este caso, en lugar de expandir los datos registrados mediante series de Fourier, se opta por hacerlo mediante la integral de Fourier, dando lugar a una función continua para la variación de la superficie libre del agua.

En este caso, el potencial energético de un estado del oleaje concreto viene dado por la siguiente expresión:

$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_s^2 T_e$$

Ecuación 7. Expresión del potencial energético del oleaje según el modelo espectral [6]

Donde:

$$T_e = T_m \alpha$$

Ecuación 8. Periodo energético [8]

H_s : altura significativa de la ola

T_m : periodo medio de la ola

Estos tres parámetros serán de gran importancia en este trabajo, ya que en ellos se van a basar todos los cálculos del análisis del potencial del oleaje y eficiencia energética de los WECs. Por tanto, se procede a explicar su significado físico:

- H_s : altura significativa
Promedio de las alturas del tercio mayor de las alturas del registro de olas.
- T_m : periodo medio
Promedio de los periodos del registro de olas.
- T_e : periodo energético
Periodo equivalente a una ola sinusoidal con la misma energía que el estado del oleaje real a estudiar.

En el presente trabajo se tomará el siguiente valor para el factor de corrección α según [8]:

$$\alpha = 1.269$$

En el presente trabajo se ha optado por la utilización del modelo espectral por las siguientes razones:

- Es el modelo más preciso en cuanto a la descripción de la realidad.
- Aplicación sencilla.
- Datos del histórico disponibles.

OBJETIVOS Y ALCANCE

Como se ha mencionado anteriormente, el desarrollo de la energía undimotriz en la costa del norte de España es muy prometedor. En este trabajo se ha elegido la ubicación de Galicia para profundizar en el análisis y la evaluación del potencial de la energía undimotriz, y su posible implementación, debido a que es la ubicación de la costa española con mayor potencial energético. Es bien sabido que la costa del norte de España, por su oleaje predominantemente hacia el oeste y la considerable profundidad del mar a una distancia relativamente reducida de la costa, es uno de los emplazamientos más favorables para el aprovechamiento de la energía del oleaje [8].

Por tanto, en este trabajo se estudiará el potencial de la energía del oleaje en los tres emplazamientos de la costa gallega mostrados en la [Figura 8], Ferrol y Punta Langosteira en La Coruña y Silleiro en Vigo (de Norte a Sur en la imagen). En dicha ilustración se presentan las boyas de medición del oleaje instaladas por Puertos del Estado [9], de las cuales se han extraído los datos utilizados para el análisis del estado del oleaje en este trabajo. Se han seleccionado las boyas correspondientes a las ubicaciones previamente indicadas debido a que en ellas se habían realizado estudios sobre la energía undimotriz con anterioridad, lo que proporciona cierta garantía en cuanto al potencial del oleaje en estas ubicaciones Ferrol [10], Punta Langosteira [11] y Silleiro [12]. Además, los datos del histórico del oleaje en las boyas seleccionadas son lo suficientemente extensos como para que los cálculos posteriormente realizados puedan considerarse correctos.

El objetivo principal de este trabajo se centra en la compatibilidad y el rendimiento de los dispositivos WEC disponibles con los estados del oleaje en las ubicaciones marcadas. Para ello, se realizará un análisis de los estados del oleaje a partir de los datos de las boyas señaladas en la [Figura 8] proporcionados por Puertos del Estado [9], y se cruzarán los resultados de dicho análisis con las matrices de potencia de los dispositivos que se desea estudiar.

Por consiguiente, la selección del dispositivo a instalar se basa en dos datos principales, la matriz del oleaje en cada emplazamiento y las matrices de potencia de los dispositivos disponibles.



Figura 8. Emplazamientos de estudio [9]

BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO

En este trabajo se propone un estudio detallado del estado del oleaje y del potencial energético en tres emplazamientos de la costa gallega con el objeto del análisis de la viabilidad de una estación para el aprovechamiento de la energía undimotriz en este lugar.

Es bien sabido que las tecnologías disponibles en el campo de la energía del oleaje se encuentran mayormente en la etapa de desarrollo, por lo que todavía no resultan competitivas a nivel comercial [4]. El primer paso para poder alcanzar la etapa de comercialización de la energía undimotriz es el estudio detallado de las tecnologías disponibles, su modo de funcionamiento y su posible implementación en distintas ubicaciones de la costa para así poder seguir llevando a cabo posteriores ensayos que resultarán en avances tecnológicos en este campo.

Este trabajo se plantea como un estudio de una selección de tecnologías WEC disponibles, que puede resultar en mejoras en los dispositivos a corto plazo.

Además, mediante este trabajo se pretende dar visibilidad al potencial energético de las energías renovables marinas para promover su desarrollo, ya que las condiciones son óptimas en las costas españolas. En concreto, en la costa gallega en la que se centra este trabajo, no sólo se presenta un gran potencial energético del oleaje [Figura 9], [Figura 10], sino que también presenta unas características óptimas para su aprovechamiento, como puede ser la profundidad pronunciada a distancias reducidas de la costa.

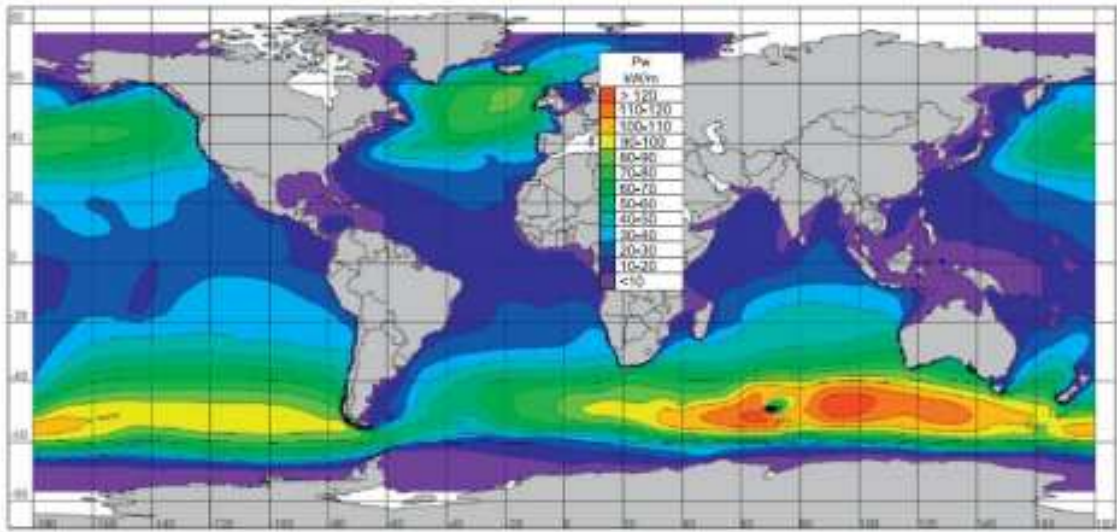


Figura 9. Potencial energético de la energía undimotriz a nivel mundial [11]



Figura 10. Potencial de la energía undimotriz en España [10]

ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE

La conversión de la energía del oleaje podría definirse como la transferencia de la energía cinética o potencial del mar a un dispositivo diseñado para su aprovechamiento. Sin embargo, como la tecnología para el aprovechamiento de la energía undimotriz se encuentra todavía en fase de desarrollo, en este campo no destaca una tecnología predominante frente a las otras y se presentan numerosas alternativas de dispositivos para su aprovechamiento. Por consiguiente, la clasificación de dichas alternativas también es muy variada.

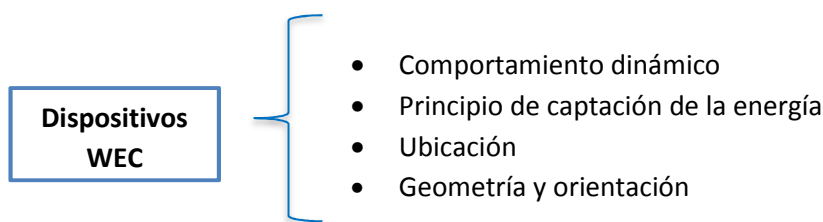
Para poder comprender el funcionamiento y las condiciones que deben cumplirse en las ubicaciones de estudio para la implementación de un sistema WEC para el aprovechamiento de la energía del oleaje, es imprescindible conocer y entender las diferencias entre las tecnologías disponibles y la aptitud de cada una de ellas dependiendo de la función a desempeñar. En consecuencia, en este apartado se procede a explicar la clasificación de los dispositivos WEC en desarrollo hasta la fecha en función de distintos criterios

En primer lugar, se explicará la clasificación de los convertidores de la energía del oleaje (WECs) en función de los criterios que se han considerado más representativos: a) comportamiento dinámico; b) principio de captación de la energía; c) ubicación; d) geometría y orientación.

En segundo lugar, se procede a explicar en más profundidad el principio de funcionamiento y las características de los dispositivos que se analizarán en este trabajo. Los dispositivos que se analizarán en el presente trabajo son los siguientes: a) Pelamis; b) Oceantec; c) Aquabuoy; d) Wavebob; e) Wave Dragon; f) Wave Star; g) Archimedes Wave Swing (AWS).

Esta selección de dispositivos WEC se considera representativa del grupo de las alternativas disponibles, por lo que con el análisis que se presentará a continuación podrán apreciarse tanto las diferencias entre dispositivos como las perspectivas de producción eléctrica para el futuro. No obstante, la comprensión del modo de funcionamiento de esta muestra de dispositivos es importante, ya que sus características imponen ciertas restricciones en las ubicaciones en las que éstos pueden ser instalados.

Clasificación de las tecnologías



Comportamiento dinámico

- 1) Activos: los elementos de la estructura se mueven con el oleaje de tal forma que la energía se extrae del movimiento relativo entre distintas partes de la estructura.
- 2) Pasivos: la energía se extrae del movimiento de las partículas de agua alrededor de la estructura que en este caso se encuentra fijada al fondo del mar o a la costa.

Principio de captación de la energía

- 1) Diferencia de presión en un fluido: se extrae la energía de la diferencia de presión causada por el oleaje normalmente en un cuerpo de aire que actúa como fluido de transferencia. En este grupo pueden definirse dos subgrupos, los dispositivos de columna de agua oscilante (OWC) y los de efecto Arquímedes (AWS).
- 2) Cuerpos flotantes: los dispositivos de este grupo extraen la energía a partir del movimiento que el oleaje les transmite. Dicho movimiento puede ser una oscilación vertical, horizontal, de cabeceo alrededor de su eje principal o una combinación de ellas. La energía puede obtenerse del movimiento relativo entre distintas partes de la estructura o del movimiento absoluto de la estructura con respecto a una referencia fija como puede ser el fondo del mar.
- 3) Desbordamiento o impacto: las olas inciden sobre la estructura dando lugar a un incremento en su energía cinética, potencial o en ambas.
 - a. Desbordamiento o colectores de olas (overtopping): el agua pasa por encima de la estructura. Pueden ser sistemas onshore u offshore.
 - b. Impacto: el agua impacta en una estructura oscilante flexible que actúa como medio de transferencia de energía, extrayéndose la energía del movimiento oscilatorio de la estructura.

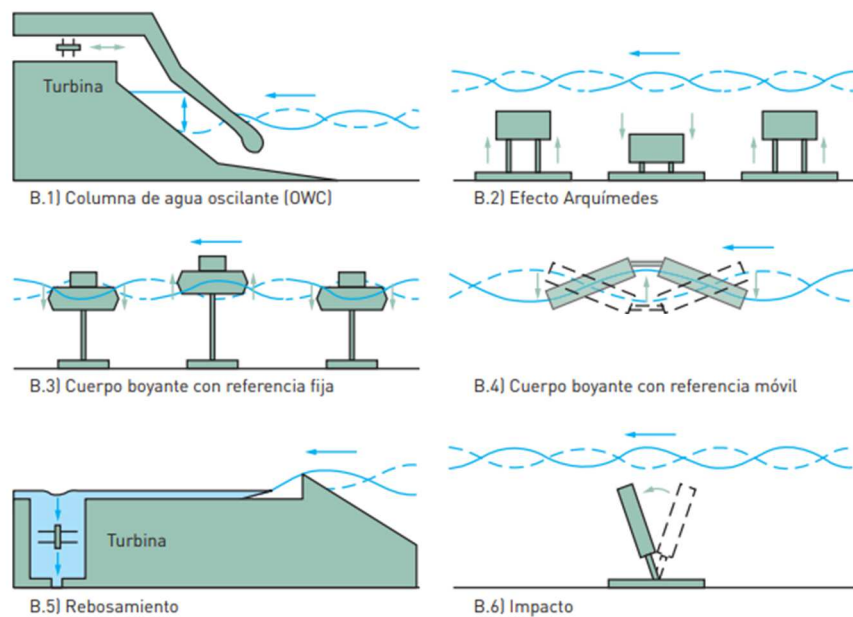


Figura 11. Principio de captación de la energía [4]

- 4) Ubicación:
 - a. En la costa (onshore): se integran en estructuras fijas (rompeolas) o acantilados. Tienen la ventaja de estar cerca de la red, lo que facilita su mantenimiento, pero al estar en la costa sobre ellos incide oleaje con menos potencial energético por haberse visto afectado por el fondo marino. Además presentan el inconveniente de que su ubicación debe cumplir numerosos requisitos para su instalación.
 - b. Cerca de la costa (nearshore): dispositivos situados en aguas poco profundas. El oleaje que incide sobre ellos no es tan energético como en aguas profundas pero

el más energético que en la costa. Esta ubicación es conveniente para dispositivos que se instalan por gravedad en el fondo marino.

- c. En alta mar (offshore): son los que más energía pueden extraer ya que el estado del oleaje es considerablemente más energético en aguas profundas.

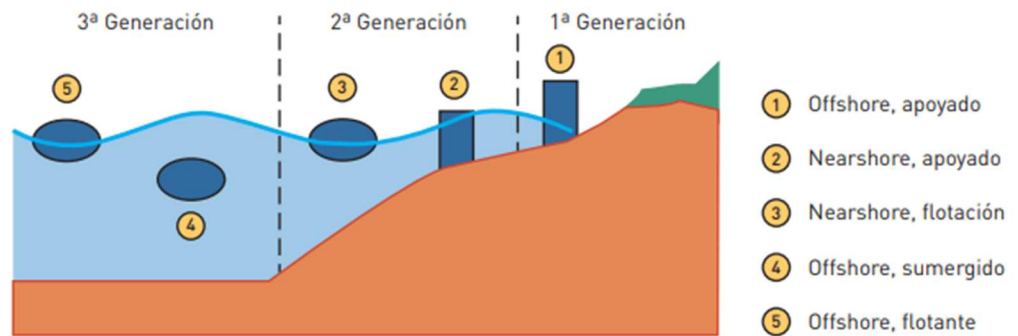


Figura 12. Ubicación [4]

5) Geometría y orientación:

- a. Absorbedores puntuales: estructuras de tamaño reducido con simetría axial. Presentan la ventaja de poder captar energía en cualquier dirección, por lo que no necesitan orientarse con respecto al frente de olas, lo que permite que su amarre sea más firme que el de otros tipos de estructuras. Además, no sólo extraen energía de las partículas que inciden sobre la estructura, sino también de aquellas en sus inmediaciones.
- b. Totalizadores/terminadores: dispositivos alargados con su eje en dirección perpendicular a la dirección de avance del frente de olas (paralelo a la ola incidente), de tal forma que cada ola es captada una única vez. Necesitan el grado de libertad que les permita pivotar para orientarse en función del frente de olas incidente.
- c. Atenuadores: dispositivos alargados con su eje en dirección paralela a la dirección de avance del frente de olas (perpendicular a la ola incidente). Reciben el nombre de atenuadores porque captan la ola una única vez, sino que lo hacen durante el periodo de tiempo que la ola tarde en recorrer el dispositivo, extrayendo energía de ella progresivamente.

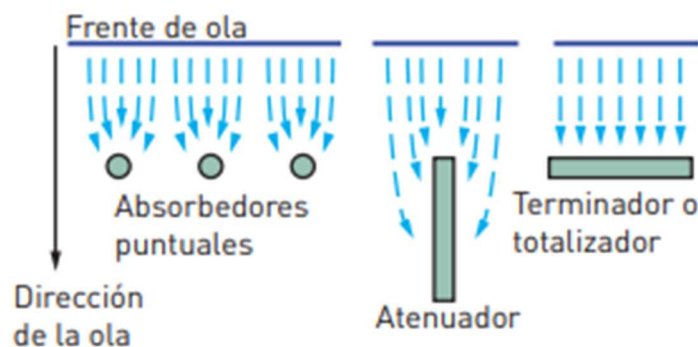


Figura 13. Geometría y orientación [4]

Métodos de obtención de la energía eléctrica

En el caso de los convertidores de la energía del oleaje, podemos distinguir entre tres métodos principales para la obtención de electricidad [Figura 14]. A excepción de la generación eléctrica directa, los dos primeros métodos se basan en el mismo principio, la transmisión de la energía del oleaje a un generador eléctrico rotativo. El primer método requiere una transferencia a turbina, por ejemplo mediante un incremento de la velocidad del fluido de transmisión mediante un estrechamiento del canal de transporte (dispositivos overtopping). Por otra parte, el segundo método consiste en la utilización de un motor hidráulico, cuyo funcionamiento se basa en la transmisión de energía en forma de diferencia de presión de mano de un fluido de transferencia, normalmente aire o agua.

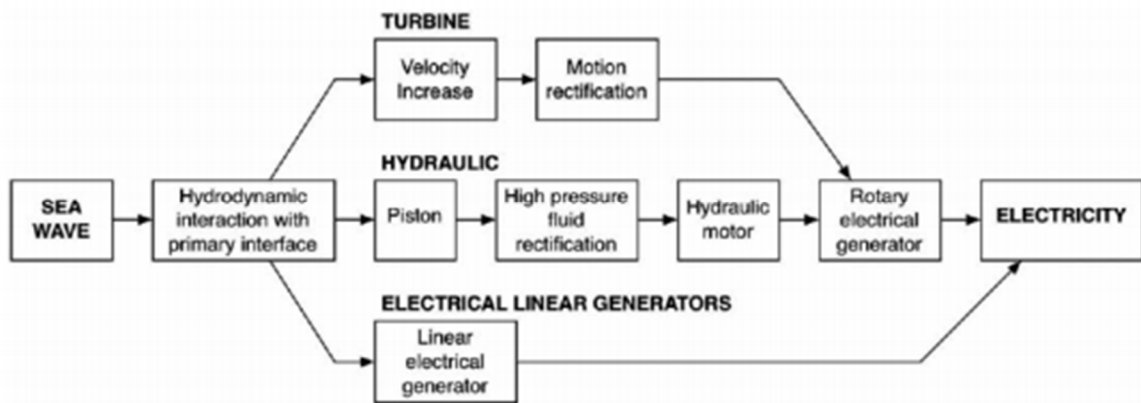


Figura 14. Métodos de obtención de la energía [13]

Descripción de los dispositivos WEC a estudiar

A continuación se procede a explicar brevemente el desarrollo y el principio de funcionamiento de los dispositivos cuya viabilidad se estudiará en el presente trabajo. Como se ha explicado anteriormente, se ha seleccionado esta muestra de dispositivos por presentar correctamente las alternativas disponibles.

Pelamis

El Pelamis es un dispositivo atenuador flotante que consiste en un conjunto de cilindros semi sumergidos unidos por juntas articuladas. Estos cilindros oscilarán al ser atravesados por el oleaje, dando lugar a un movimiento relativo entre ellos a partir del cual se capta la energía del oleaje incidente.

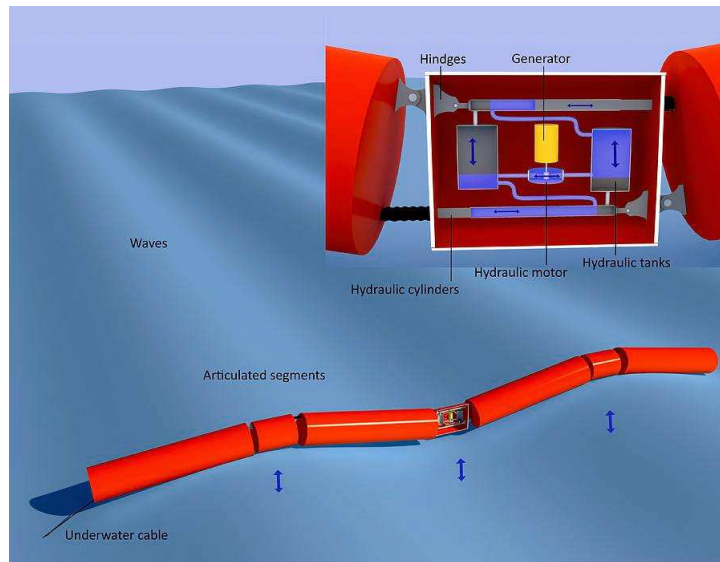


Figura 15. Dispositivo Pelamis [14]



Figura 16. Instalación de dispositivos Pelamis en Portugal [15]

Oceantec

El Ocenatec es un dispositivo WEC flotante atenuador diseñado para su instalación en alta mar y su principio de captación de energía se basa en el movimiento relativo inercial de un volante de inercia. Su principio de funcionamiento se basa en la extracción de energía a partir del movimiento de cabeceo de la estructura provocado por las olas. Además dispone de un sistema de fondeo que permite que la orientación de la estructura siempre sea la óptima para el aprovechamiento de la energía del oleaje [14]. Este dispositivo ha sido desarrollado con el objeto del aprovechamiento de la energía de las olas en la costa vasca por la empresa Tecnalia.

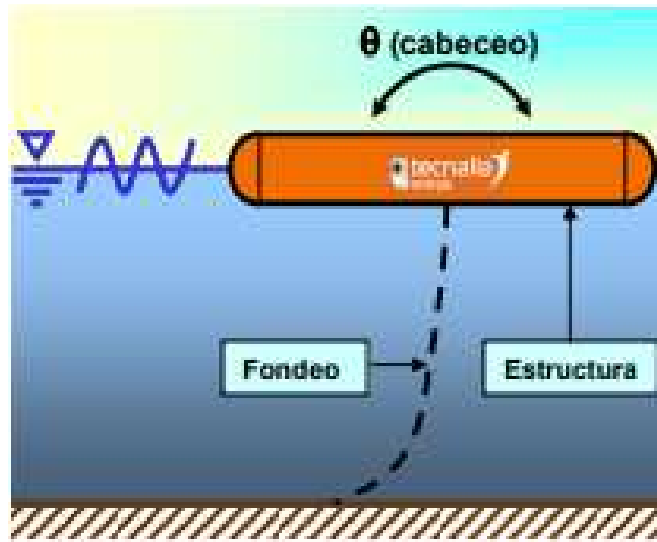


Figura 17. Representación esquemática del dispositivo OceanTec [16]

Aquabuoy

El aquabuoy es un convertidor de la energía del oleaje del tipo absorbedor puntual. Su diseño se inspira en el funcionamiento del absorbedor puntual IPS y del WEC bomba manguera sueca (Swedish hose-pump). Esta tecnología ha sido desarrollada principalmente en Dinamarca, y está diseñada para su instalación offshore. Como puede apreciarse en la [Figura 18], el Aquabuoy es un dispositivo flotante. Su principio de captación de la energía es el siguiente: cada dispositivo dispone de una bomba manguera que comprime el agua conduciendo esta energía en forma de incremento de presión a una turbina para producir corriente eléctrica. Esta corriente se transmite a la costa mediante cables submarinos.

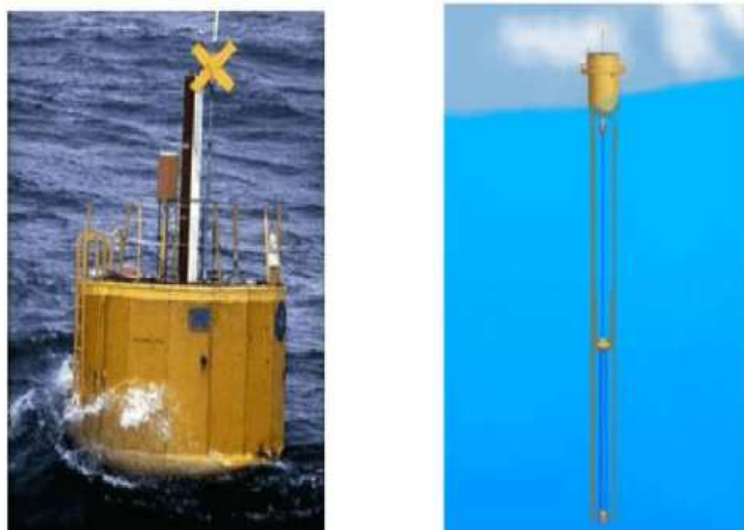


Figura 18. Aquabuoy representación esquemática [17]

Wavebob

El dispositivo Wavebob fue desarrollado por la empresa británica Wavebob Ltd y se trata de un absorbedor puntual diseñado para su instalación en alta mar (profundidad mayor de 70 m). Su principio de captación de la energía consiste en el aprovechamiento del movimiento oscilatorio vertical inducido por el oleaje en el dispositivo. Está diseñado con la idea de instalar varios dispositivos en filas (wave farm) con el objeto de reducir su coste operativo.

Cada dispositivo consta de una estructura de hormigón flotante (parte oscilante) y un sistema hidráulico de aceite a presión que se encarga de la transmisión de la energía al motor generador.

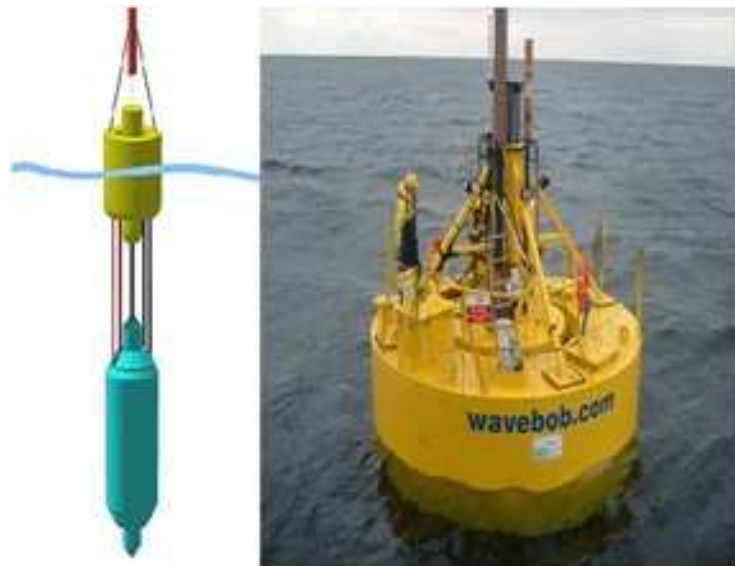


Figura 19. Wavebob [15]

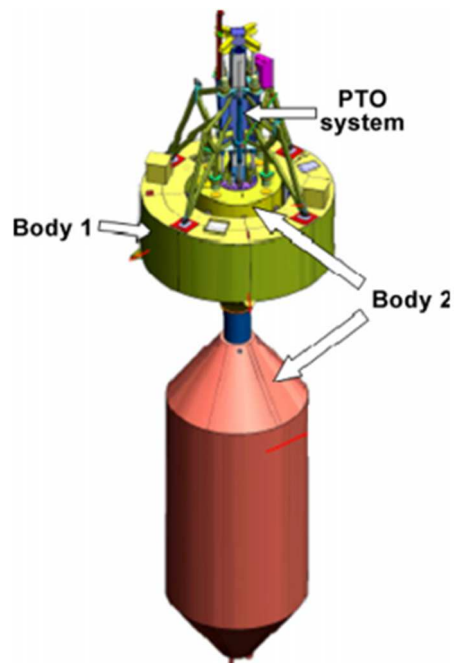


Figura 20. Wavebob. Representación esquemática de diseño [15]

Wave Dragon

El dispositivo Wave Dragon es un WEC de desbordamiento (colector de olas) desarrollado en Dinamarca. Está diseñado para instalarse en alta mar (offshore). Este dispositivo tiene una potencia nominal elevada (de 5900 kW según su matriz de potencia).

Su principio de funcionamiento es el siguiente: las olas suben por la rampa troncocónica del dispositivo y llenan el depósito que se encuentra a un nivel superior al mar. Dicha elevación se utiliza para turbinar el agua produciéndose electricidad, y finalmente el agua es devuelta al mar.

Además, cuenta con dos reflectores de onda unidos a la plataforma principal cuya función es dirigir las olas entrantes hacia la rampa. Los reflectores tienen el efecto de optimizar el desbordamiento al aumentar la altura significativa de la ola entrante, lo que se traduce en un incremento de la electricidad generada.

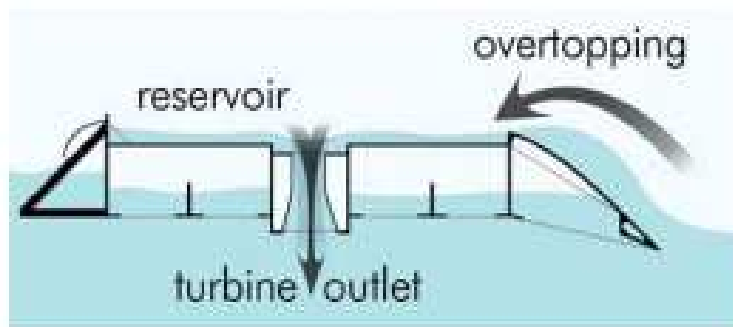


Figura 21. Vista de alzado del dispositivo Wave Dragon [18]

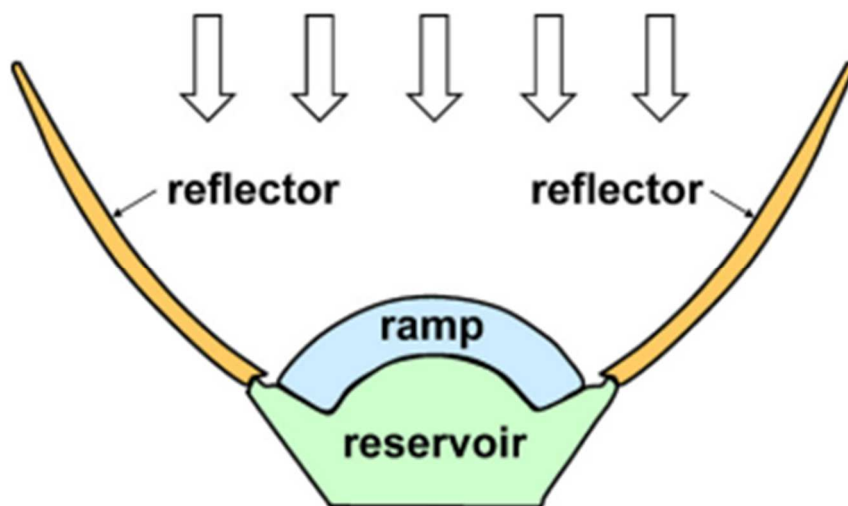


Figura 22. Vista de planta del dispositivo Wave Dragon [15]



Figura 23. Wave Dragon [16]

Wave Star

El dispositivo Wave Star es una estructura diseñada para su instalación cerca de la costa (nearshore). Se trata de una estructura que consta con numerosos flotadores a los que el oleaje transmite un movimiento oscilatorio. La energía se extrae del movimiento relativo entre los flotadores y la estructura.



Figura 24. Representación del diseño del dispositivo Wave Star [19]

Archimedes Wave Swing (AWS)

El AWS es un WEC del tipo absorbedor puntual totalmente sumergido y fue desarrollado principalmente en Holanda. Este dispositivo consta principalmente de un flotador (parte superior oscilante) y una cámara inferior llena de aire (silo) que se fijará al fondo marino. Este dispositivo capta la energía a partir de la diferencia de presión que se genera en la cámara de aire. Dicha diferencia de presión es inducida por el movimiento oscilatorio del flotador causado por la diferencia de presión presente en el oleaje.

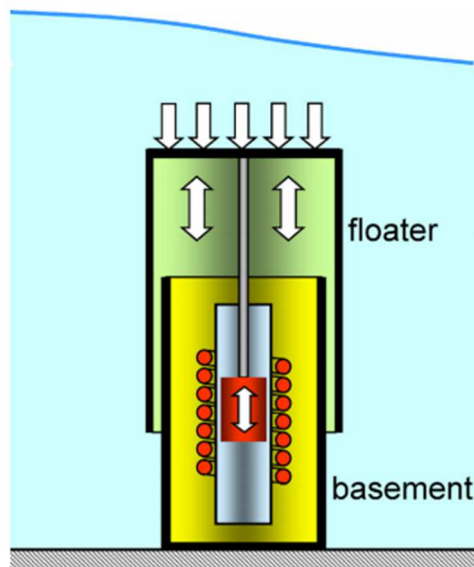


Figura 25. Representación esquemática del AWS [15]

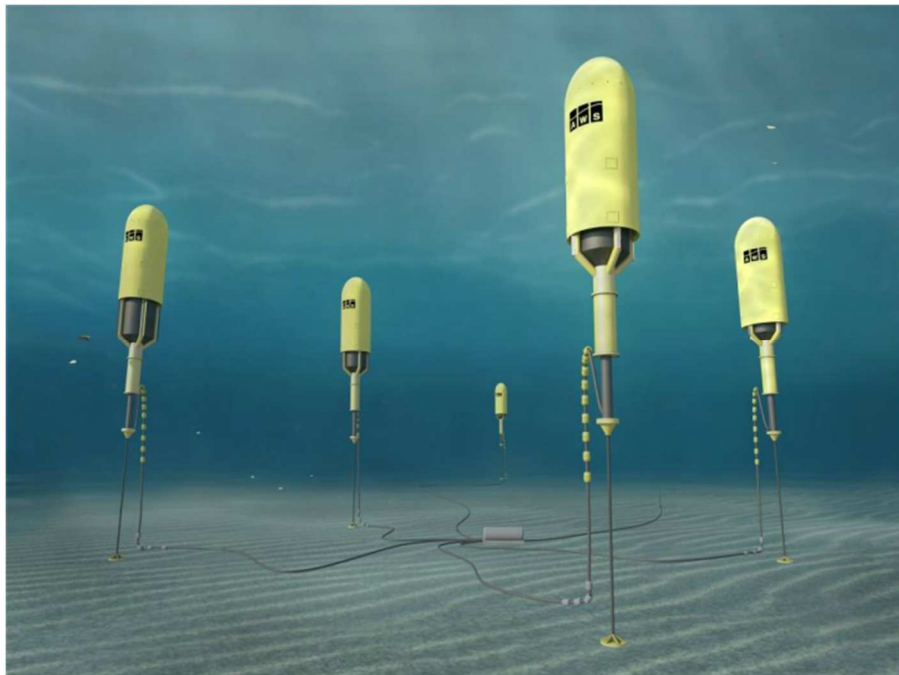


Figura 26. Representación del diseño del AWS [4]

ANÁLISIS DE RIESGOS

En el caso de un trabajo como éste en el que se realiza un análisis sobre la aptitud de una serie de dispositivos, los principales riesgos que pueden esperarse están relacionados con la correcta elección de dispositivo en cada emplazamiento y con el rendimiento real de cada dispositivo debido a la condición de tecnología en desarrollo. Por tanto, nos encontramos ante los siguientes escenarios:

- Elección errónea del dispositivo WEC a instalar
Se daría en el caso en el que los cálculos de la producción eléctrica media [Ecuación 15] fueran erróneos. Esto puede darse por dos razones principales: a) tratamiento erróneo de los datos del histórico del oleaje a la hora de calcular las matrices del oleaje; b) las matrices de potencia de los dispositivos WEC no se corresponden con las reales.
- Supervivencia: condiciones del oleaje muy severas.
Fallo del dispositivo WEC instalado debido que el estado real del mar no se corresponda con el previsto en función de los datos del histórico del oleaje.
- Eficiencia real en funcionamiento en el mar menor que la teórica
La eficiencia real puede diferir de la teórica debido a que en la mayoría de los casos los dispositivos todavía no se encuentran en la etapa de madurez tecnológica.
- Menor tiempo de funcionamiento que el teórico
- Falta de madurez: divergencia tecnológica

Para evaluar los riesgos mencionados se hará uso de la matriz de probabilidad-impacto, que proporciona una visión general de la repercusión que tendrían los riesgos en el proyecto en caso de que tuvieran lugar. Para su implementación se dividen los riesgos mencionados en las siguientes categorías:

1. Elección errónea del dispositivo.
2. Supervivencia.
3. Reducción de la eficiencia.
4. Tiempo de funcionamiento real.
5. Falta de madurez.

		IMPACTO				
		Muy Bajo (0,05)	Bajo (0,1)	Moderado (0,2)	Alto (0,4)	Muy Alto (0,8)
PROBABILIDAD	Raramente (0,1)	1				
	Difícilmente (0,3)					
	Posible (0,5)			2	4	
	Probablemente (0,7)				3	
	Casi Seguro (0,9)				5	

Tabla 2. Matriz de probabilidad-impacto

METODOLOGÍA

DESCRIPCIÓN DE TAREAS, FASES, EQUIPOS O PROCEDIMIENTOS

Para la determinación del dispositivo óptimo para el aprovechamiento de la energía del oleaje en las tres ubicaciones a estudiar se ha procedido de la siguiente manera, distinguiéndose tres etapas: a) tratamiento de datos del histórico del oleaje; b) análisis de los dispositivos WEC; c) análisis de la eficiencia de los dispositivos.

Tratamiento de datos del histórico del oleaje

En primer lugar, se tratan los datos del histórico del oleaje proporcionados por puertos del Estado [9] en los tres emplazamientos de estudio para analizar el potencial energético del oleaje en cada uno de ellos. Para dicho tratamiento se consideran los siguientes datos: a) altura significativa (H_s); b) periodo medio (T_m); c) dirección media (Dir). En los datos utilizados se reporta una medición de cada parámetro con una frecuencia de una hora, y se tiene un historial de 2015 a 2016 en Ferrol, de 1998 a 2011 en Punta Langosteira y de 1991 a 2006 en Silleiro. Para este tipo de estudios suelen tomarse datos del histórico del oleaje con una extensión de diez años. Sin embargo, en el presente trabajo los datos disponibles no se ajustan a esta condición, teniendo datos con una extensión de un año en Ferrol y datos más extensos en Punta Langosteira y Silleiro. Por consiguiente, se ha decidido trabajar con los datos disponibles para estudiar el potencial energético de las tres ubicaciones. Cabe destacar que una de las razones de disparidad entre el potencial energético de cada ubicación puede deberse a esta diferencia entre la extensión de los datos del histórico.

A partir de estos parámetros se procede al cálculo de las matrices del oleaje en cada emplazamiento, el análisis de las rosas del oleaje y el análisis detallado del estado del oleaje a lo largo del año, generándose gráficas para la representación de alturas significativas y potencias del oleaje máximas. En dichas figuras se observan las diferencias del estado del oleaje durante el periodo de invierno (de Octubre a Marzo) y el tiempo total.

Este análisis se completa mediante el cálculo del índice normalizado de potencia del oleaje adimensional (P_{wn}) posibilitándose la comparación del potencial energético del oleaje de cada ubicación, con el cálculo del parámetro de anchura de captura (capture width), que simboliza la fracción del frente de ola total de la cual se aprovecha la energía y con el cálculo del factor de capacidad (capacity factor) que presenta en forma de porcentaje la relación entre la potencia eléctrica producida por cada WEC en cada emplazamiento y la potencia nominal de cada WEC.

Análisis de los dispositivos WEC

Por otra parte, para la evaluación del rendimiento de cada dispositivo en los emplazamientos no sólo son necesarias las matrices del oleaje, sino también las matrices de potencia de los dispositivos de estudio. Posteriormente se presentarán dichas matrices de las que se extrae la potencia obtenida por cada dispositivo para cada estado del oleaje. Cabe destacar que el aprovechamiento de la energía del oleaje por un dispositivo WEC puede realizarse de formas muy diversas, por lo que sus eficiencias también resultan muy variables dependiendo de cada dispositivo. Por tanto, los dispositivos WEC también pueden clasificarse en función de muchos parámetros. En este caso se ha optado por una clasificación en función de su capacidad energética, ya que este trabajo se centra en la eficiencia energética de los dispositivos. Según esta clasificación pueden distinguirse dos grupos:

a) Potencia nominal < 1000 kW.

- Pelamis
- Oceantec
- Aquabuoy
- Wavebob

b) Potencia nominal \geq 2000 kW.

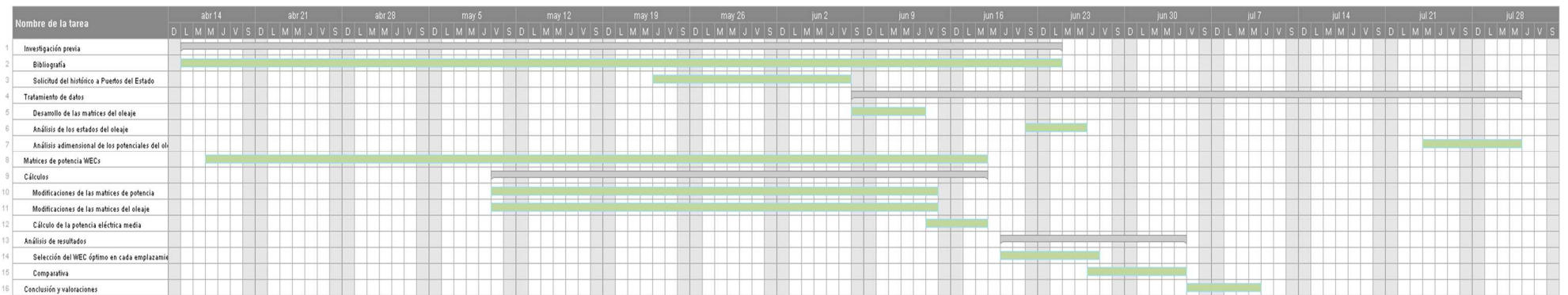
- Wave Dragon
- Wave Star
- Archimedes Wave Swing (AWS)

Análisis de la eficiencia de los dispositivos

A continuación se calculan las potencias eléctricas medias generadas por cada dispositivo en cada emplazamiento utilizando la [Ecuación 15]. En ella, los datos a introducir son las matrices del oleaje y las matrices de potencia de los dispositivos. Es importante remarcar que ambas matrices deben tener el mismo tamaño, por lo que en la mayoría de los casos deberán ser modificadas para cumplir esta condición. Además, los estados del oleaje presentados en ambas matrices deben ser idénticos siendo necesarias modificaciones mayores en algunos casos. El ajuste a los estados del oleaje de referencia se realizará mediante una interpolación lineal, lo que se explicará con más profundidad posteriormente.

Finalmente, conocidas las potencias medias generadas puede determinarse el dispositivo de mayor eficiencia en cada emplazamiento, siendo éste el que genere la mayor potencia eléctrica con el estado del oleaje estudiado. Cabe destacar que a pesar de que se calcule la producción de todos los dispositivos mencionados en cada ubicación, los resultados se presentarán por separado para los casos de potencia nominal mayor o igual que 2000 kW y menor que 1000 kW, ya que de esta forma las diferencias entre dispositivos serán más visuales. No obstante, a la hora de seleccionar el dispositivo óptimo se tendrán en cuenta todos los dispositivos.

DIAGRAMA DE GANTT



CÁLCULOS

En este apartado se procede a explicar el método de cálculo seguido para el análisis e interpretación del potencial del oleaje en las ubicaciones de estudio y la posterior determinación del dispositivo WEC óptimo en cada una de ellas.

Matriz del oleaje teórica

En primer lugar, para poder analizar el potencial del oleaje en cada emplazamiento se ha desarrollado teóricamente la matriz del oleaje genérica. Esta matriz es común para los tres emplazamientos, representándose en ella las curvas isóbaras de la potencia de cada ola en función de la altura significativa y el periodo energético a partir de la siguiente [Ecuación 9].

$$P_W = \frac{\rho g^2}{64\pi} T_e H_s^2$$

Ecuación 9. Potencia del oleaje [8]

$$T_e = 1.269T_m$$

Ecuación 10. Periodo energético [8]

$$\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$$

Ecuación 11. Densidad del agua del mar [8]

Al tratarse de una ecuación con tres variables, para poder graficar los valores constantes de la potencia en función del periodo energético y la altura significativa de ola, se ha despejado el periodo energético en función de la potencia, cuyo valor es fijo y conocido, y de la altura significativa, a la que se ha dado valores discretos en el rango deseado [Tabla 3]. Una vez calculados los valores representados en la [Tabla 3], se han graficado dando lugar a la [Figura 27], en la que se aprecian las curvas isóbaras de potencia en función del estado del oleaje. Por tanto, en esta gráfica se observa la dependencia entre potencia del oleaje, periodo energético y altura significativa, y de ella puede obtenerse información sobre el estado del oleaje óptimo para la obtención de una potencia determinada o sobre la potencia que puede obtenerse a partir de un estado del oleaje en concreto.

Análisis del potencial de la energía undimotriz en la costa gallega

Pw (kW/m)		Pw (kW/m)		Pw (kW/m)		Pw (kW/m)		Pw (kW/m)		Pw (kW/m)		Pw (kW/m)	
800		500		200		100		50		25		5	
Hs (m)	Te (s)	Hs (m)	Te (s)	Hs (m)	Te (s)	Hs (m)	Te (s)	Hs (m)	Te (s)	Hs (m)	Te (s)	Hs (m)	Te (s)
0	#DIV/0!	0	#DIV/0!	0	#DIV/0!	0	#DIV/0!	0	#DIV/0!	0	#DIV/0!	0	#DIV/0!
0.5	660.8734271	0.5	413.045892	0.5	165.218357	0.5	82.6091784	0.5	41.3045892	0.5	20.6522946	0.5	4.13045892
1	165.2183568	1	103.261473	1	41.3045892	1	20.6522946	1	10.3261473	1	5.16307365	1	1.03261473
1.5	73.43038079	1.5	45.893988	1.5	18.3575952	1.5	9.1787976	1.5	4.5893988	1.5	2.2946994	1.5	0.45893988
2	41.3045892	2	25.8153682	2	10.3261473	2	5.16307365	2	2.58153682	2	1.29076841	2	0.25815368
2.5	26.43493709	2.5	16.5218357	2.5	6.60873427	2.5	3.30436714	2.5	1.65218357	2.5	0.82609178	2.5	0.16521836
3	18.3575952	3	11.473497	3	4.5893988	3	2.2946994	3	1.1473497	3	0.57367485	3	0.11473497
3.5	13.4872128	3.5	8.429508	3.5	3.3718032	3.5	1.6859016	3.5	0.8429508	3.5	0.4214754	3.5	0.08429508
4	10.3261473	4	6.45384206	4	2.58153682	4	1.29076841	4	0.64538421	4	0.3226921	4	0.06453842
4.5	8.158931199	4.5	5.099332	4.5	2.0397328	4.5	1.0198664	4.5	0.5099332	4.5	0.2549666	4.5	0.05099332
5	6.608734271	5	4.13045892	5	1.65218357	5	0.82609178	5	0.41304589	5	0.20652295	5	0.04130459
5.5	5.461763861	5.5	3.41360241	5.5	1.36544097	5.5	0.68272048	5.5	0.34136024	5.5	0.17068012	5.5	0.03413602
6	4.5893988	6	2.86837425	6	1.1473497	6	0.57367485	6	0.28683742	6	0.14341871	6	0.02868374
6.5	3.910493652	6.5	2.44405853	6.5	0.97762341	6.5	0.48881171	6.5	0.24440585	6.5	0.12220293	6.5	0.02444059
7	3.3718032	7	2.107377	7	0.8429508	7	0.4214754	7	0.2107377	7	0.10536885	7	0.02107377
7.5	2.937215232	7.5	1.83575952	7.5	0.73430381	7.5	0.3671519	7.5	0.18357595	7.5	0.09178798	7.5	0.01835756
8	2.581536825	8	1.61346052	8	0.64538421	8	0.3226921	8	0.16134605	8	0.08067303	8	0.01613461
8.5	2.286759263	8.5	1.42922454	8.5	0.57168982	8.5	0.28584491	8.5	0.14292245	8.5	0.07146123	8.5	0.01429225
9	2.0397328	9	1.274833	9	0.5099332	9	0.2549666	9	0.1274833	9	0.06374165	9	0.01274833
9.5	1.830674313	9.5	1.14417145	9.5	0.45766858	9.5	0.22883429	9.5	0.11441714	9.5	0.05720857	9.5	0.01144171
10	1.652183568	10	1.03261473	10	0.41304589	10	0.20652295	10	0.10326147	10	0.05163074	10	0.01032615
10.5	1.4985792	10.5	0.936612	10.5	0.3746448	10.5	0.1873224	10.5	0.0936612	10.5	0.0468306	10.5	0.00936612
11	1.365440965	11	0.8534006	11	0.34136024	11	0.17068012	11	0.08534006	11	0.04267003	11	0.00853401
11.5	1.249288142	11.5	0.78080509	11.5	0.31232204	11.5	0.15616102	11.5	0.07808051	11.5	0.03904025	11.5	0.00780805
12	1.1473497	12	0.71709356	12	0.28683742	12	0.14341871	12	0.07170936	12	0.03585468	12	0.00717094
12.5	1.057397483	12.5	0.66087343	12.5	0.26434937	12.5	0.13217469	12.5	0.06608734	12.5	0.03304367	12.5	0.00660873
13	0.977623413	13	0.61101463	13	0.24440585	13	0.12220293	13	0.06110146	13	0.03055073	13	0.00611015
13.5	0.906547911	13.5	0.56659244	13.5	0.22663698	13.5	0.11331849	13.5	0.05665924	13.5	0.02832962	13.5	0.00566592
14	0.8429508	14	0.52684425	14	0.2107377	14	0.10536885	14	0.05268442	14	0.02634221	14	0.00526844

Tabla 3. Matriz del oleaje genérica

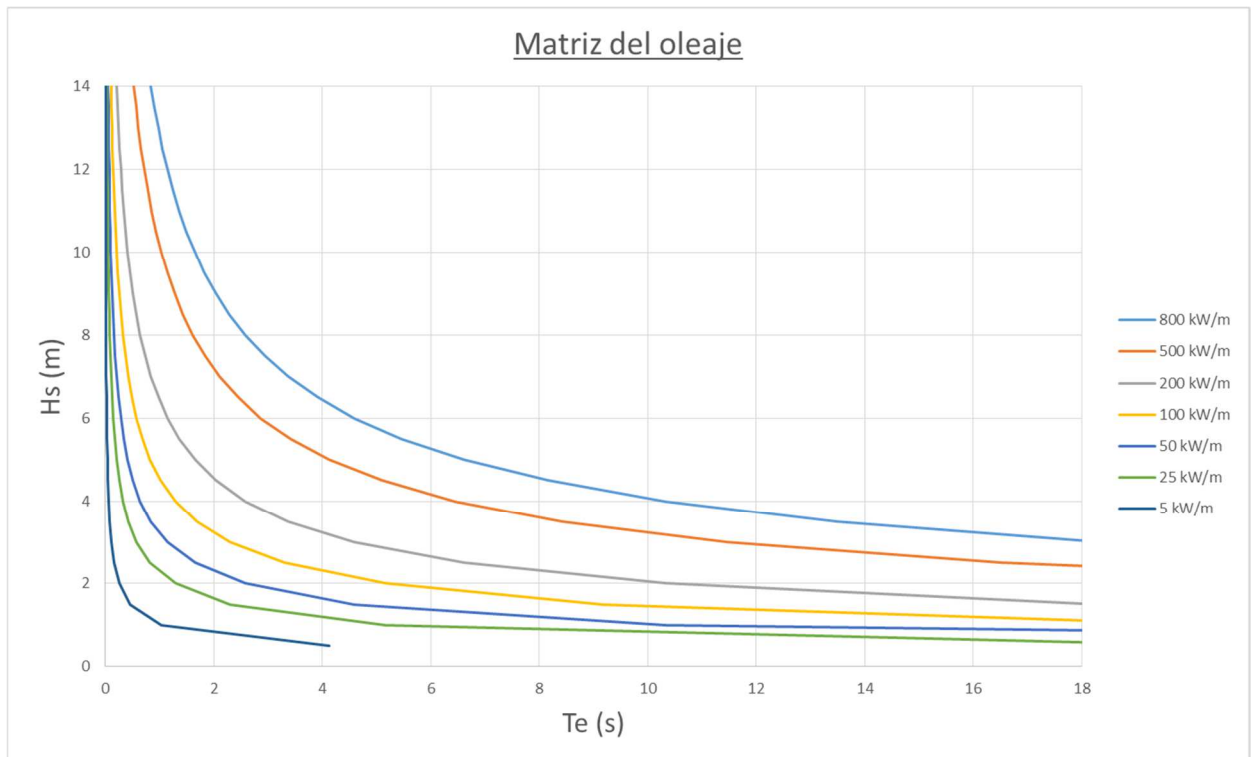


Figura 27. Matriz del oleaje genérica

Análisis del estado del oleaje: tratamiento de datos

Por otra parte, como se ha mencionado anteriormente, se realiza un análisis del estado del oleaje en los tres emplazamientos a partir de los datos del histórico del oleaje. Se presentan las rosas del oleaje en cada lugar de estudio para conocer la tendencia de la dirección del oleaje. Por otra parte, se estudiará la evolución de las alturas significativas y las potencias del oleaje en los tres emplazamientos a lo largo del año con el objeto de estudiar la variación del potencial energético de cada ubicación en función del tiempo. Junto con esto, se realizará una comparativa entre los valores de dichos parámetros durante la temporada de invierno (de Octubre a Marzo) y durante el lapso de un año completo, ya que la temporada de invierno presenta estados del oleaje considerablemente más energéticos al promedio. Para completar este análisis, se calcularán los siguientes parámetros: a) índice normalizado adimensional de la potencia del oleaje (P_{wn}) en los tres emplazamientos, a partir del cual podrá determinarse la ubicación con mayor potencial energético; b) anchura de captura (capture width C_w) que presenta la fracción del frente de ola total de la que se aprovecha la energía.

Rosas del oleaje

En primer lugar, se presentan las rosas del oleaje proporcionadas por Puertos del Estado [9] haciéndose una distinción entre el tiempo total y la temporada de invierno. En estas figuras se presenta la frecuencia de repetición de los valores de las alturas significativas de ola junto con la dirección del oleaje.

En lo que se refiere a la comparativa entre el lapso del año total y la temporada de invierno en las tres ubicaciones se observa un patrón similar: la distribución de las direcciones apenas cambia mientras que se aprecian frecuencias mayores para las alturas significativas más altas en la temporada de invierno. Esto materializa que el potencial energético del oleaje es mayor en la temporada de invierno que en el año global.

Por otra parte, en lo que se refiere a las direcciones en Ferrol y en Punta Langosteira el oleaje presenta una orientación principalmente hacia el noroeste, mientras que en la ubicación de Silleiro la orientación predominante es hacia el oeste.

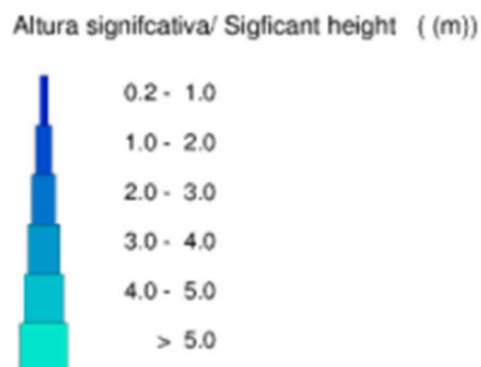


Figura 28. Leyenda rosas del oleaje [9]

Ferrol

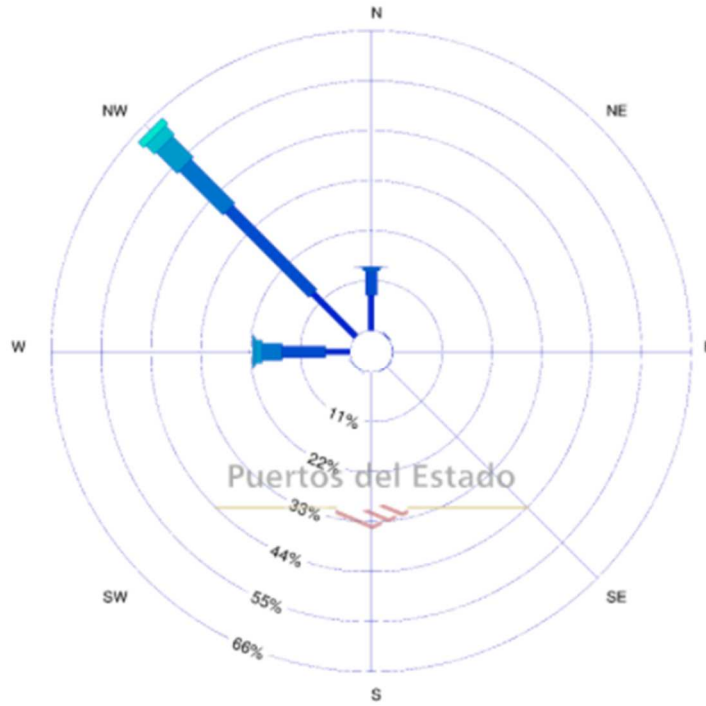


Figura 29. Rosa del oleaje Ferrol [9]

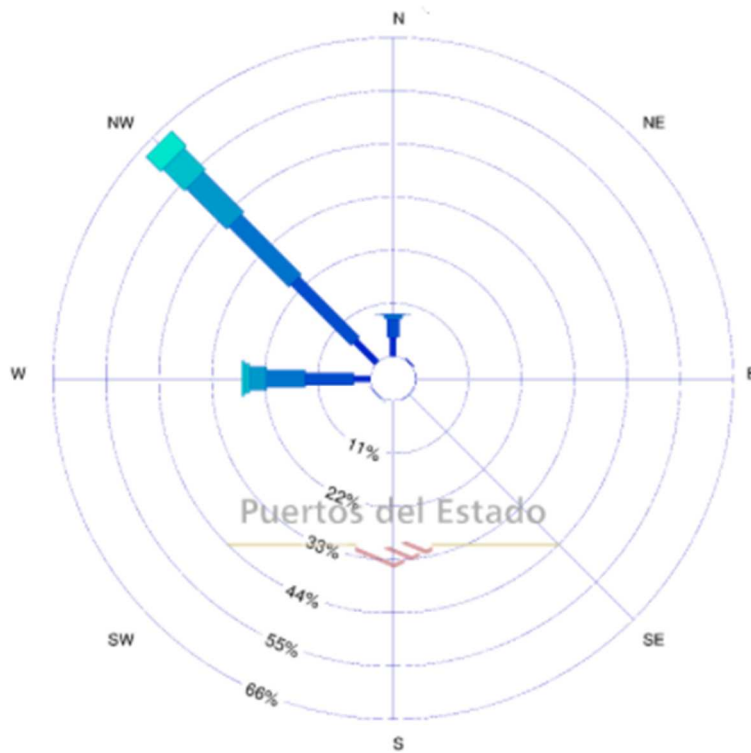


Figura 30. Rosa del oleaje Ferrol invierno [9]

Punta Langosteira

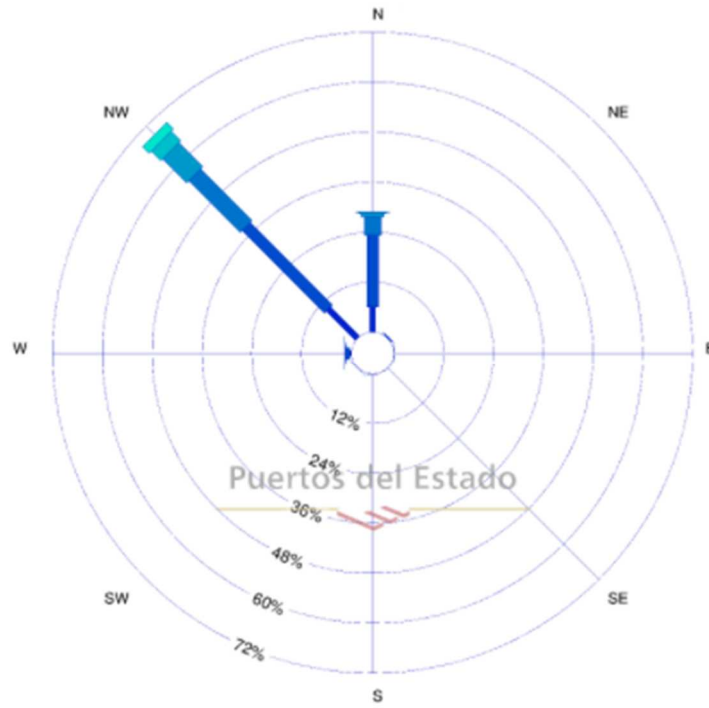


Figura 31. Rosa del oleaje Punta Langosteira [9]

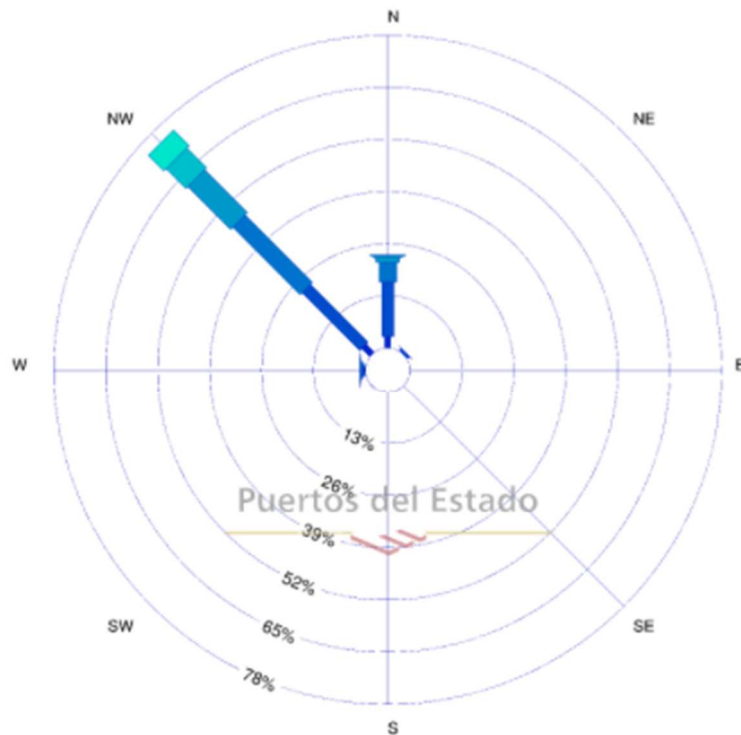


Figura 32. Rosa del oleaje Punta Langosteira invierno [9]

Silleiro

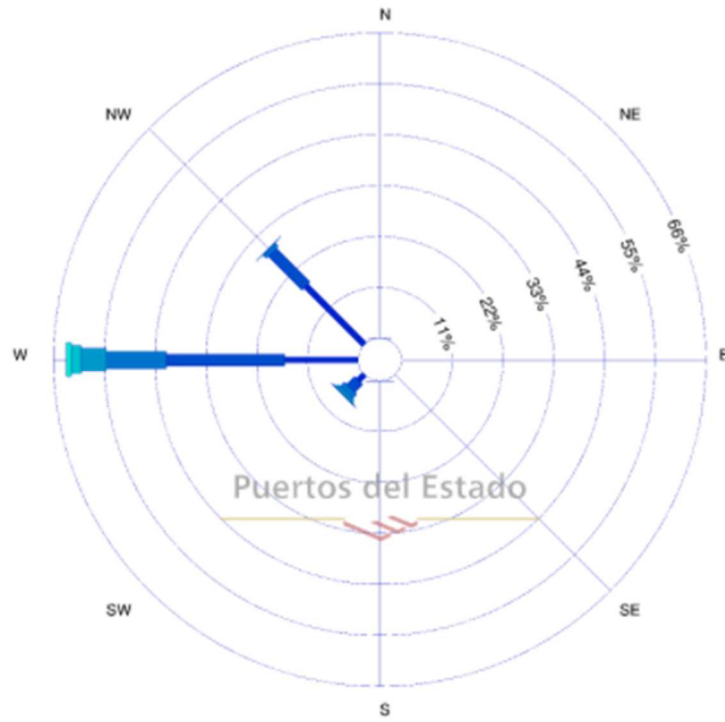


Figura 33. Rosa del oleaje Silleiro [9]

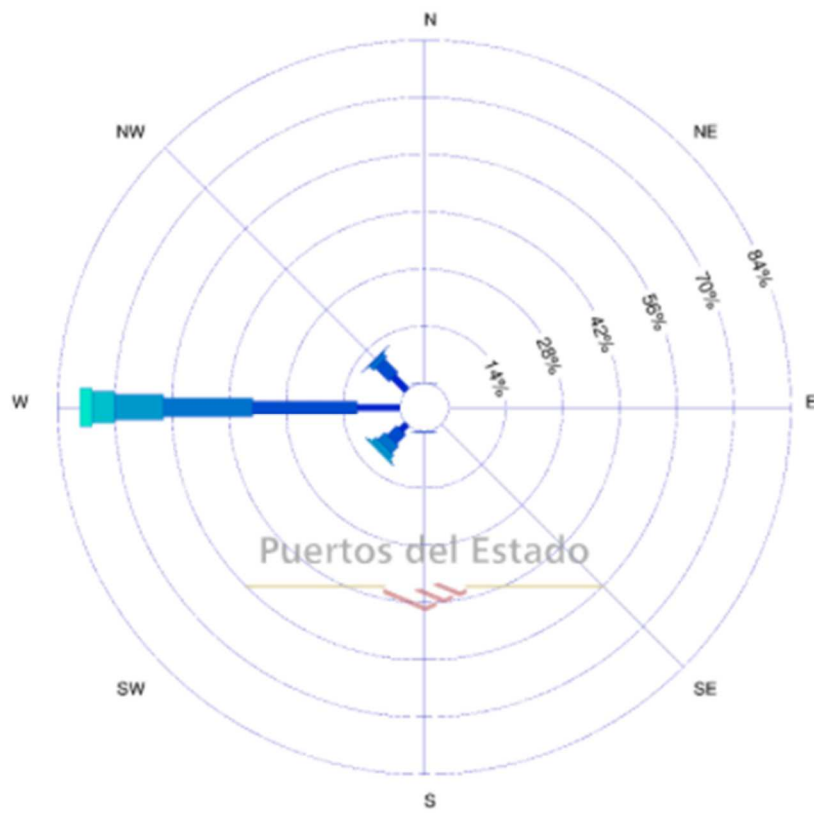


Figura 34. Rosa del oleaje Silleiro invierno [9]

Valores extremos

A continuación, se presentan los valores extremos obtenidos. El objeto de este análisis es observar la tendencia del oleaje a lo largo del año y la determinación de los valores máximos de la altura significativa que puede suponer una restricción del funcionamiento de algunos dispositivos WEC. Además, se presentan los valores máximos de la potencia del oleaje, que funcionan como un indicador del potencial del aprovechamiento de la energía marina en cada ubicación. Las gráficas de valores extremos también presentan los valores promedio del parámetro en cuestión, ya que de esta forma se tiene una idea general de la dispersión de los datos en cada ubicación. En las figuras adjuntas en este apartado, puede observarse cómo la temporada de invierno (de octubre a marzo) muestra una densidad energética más elevada, presentándose los máximos absolutos en cada ubicación siempre durante esta temporada. En lo que se refiere a la dispersión de los datos, en Ferrol se produce la dispersión mínima tanto de alturas significativas como de potencias del oleaje (dispersión máxima de 0.9 m [Figura 35] y 7 kW/m [Figura 36] respectivamente). Por otra parte, en Punta Langosteira y en Silleiro la dispersión de los datos es considerablemente mayor, siendo máxima en Punta Langosteira con 9 m en altura significativa [Figura 37] y 1000 kW/m [Figura 38] en potencia del oleaje. En lo que se refiere a los valores de la dispersión máxima de los parámetros de estudio en Silleiro, éstos son considerables a pesar de ser menores que los de Punta Langosteira, se tienen 6 m [Figura 39] en altura significativa y 550 kW/m [Figura 40] en potencia del oleaje. Como era de esperar, los valores de dispersión máxima entre los valores extremos y los promedios, en todos los casos se da en la temporada de invierno.

Por otra parte, se presenta una comparativa de los valores máximos de altura significativa [Figura 41], [Tabla 4] y potencia del oleaje [Figura 42], [Tabla 5] en los tres emplazamientos con el objeto de determinar en qué ubicación se producen los extremos absolutos de estos parámetros. En lo que respecta a los valores extremos de las alturas significativas, destacan los valores de Punta Langosteira y Silleiro frente a los de Ferrol. En la [Figura 41] se aprecia que a pesar de ser equiparables, la ubicación que presenta los valores máximos es Punta Langosteira. Con respecto a la potencia del oleaje [Figura 42], Ferrol es de nuevo la ubicación en la que se presentan los valores más bajos, pero en este caso las diferencias entre los valores de Punta Langosteira y Silleiro son más pronunciadas, siendo la primera la que presenta los valores superiores.

Por consiguiente, tanto del análisis de los valores máximos y la dispersión de los mismos realizado teniendo en cuenta cada ubicación por separado como analizando las tres ubicaciones de manera global se extrae que la ubicación que presenta mayor potencial energético del oleaje es en este caso Punta Langosteira.

Ferrol

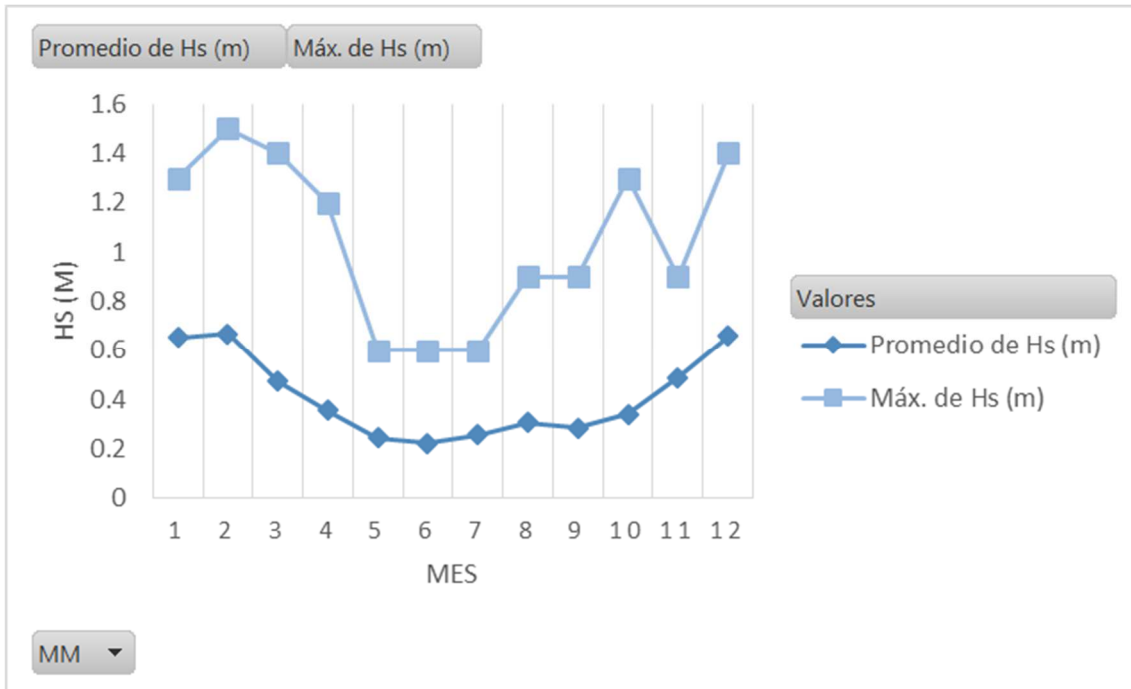


Figura 35. Ferrol. Hs valores extremos y dispersión

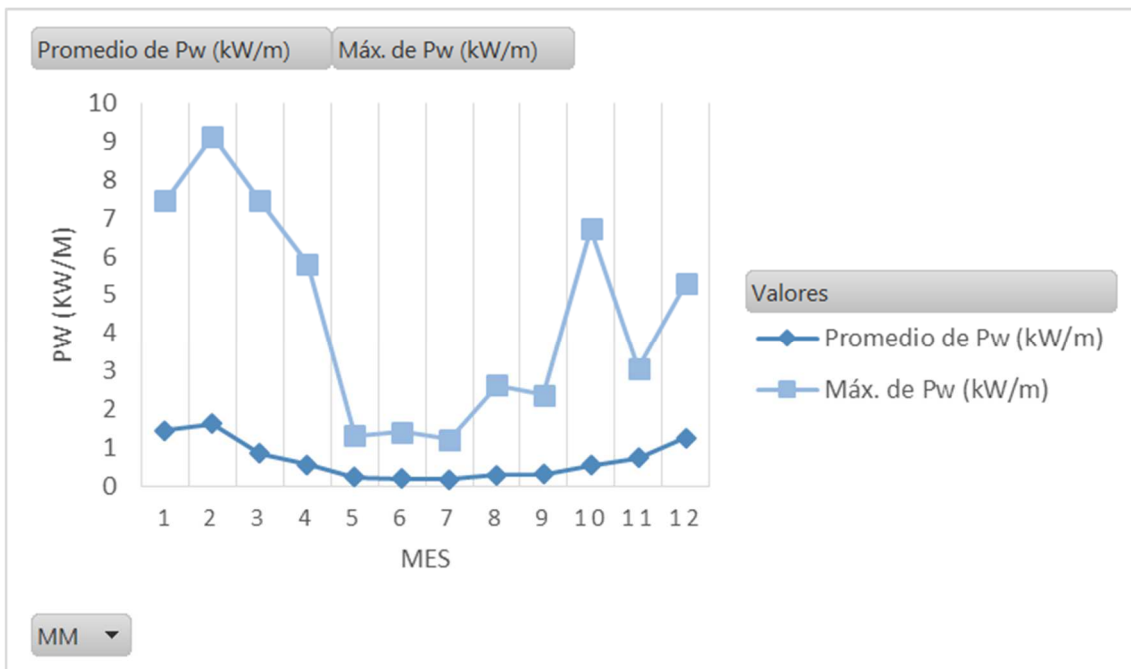


Figura 36. Ferrol. Pw valores extremos y dispersión

Punta Langosteira

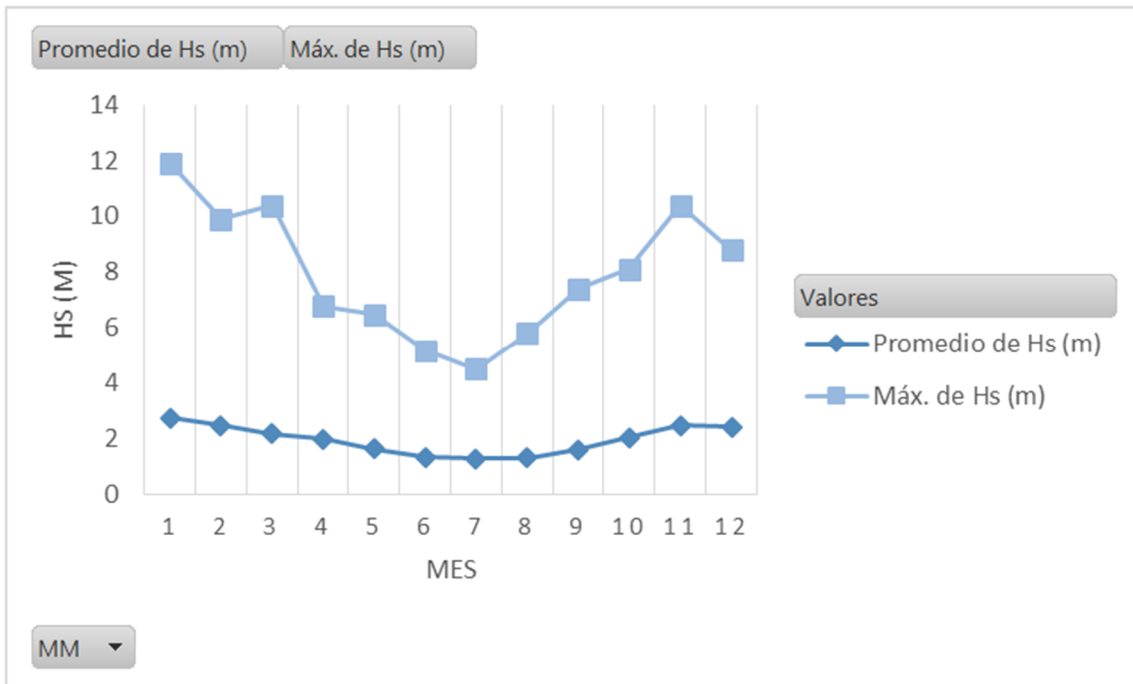


Figura 37. Punta Langosteira. Hs valores extremos y dispersión

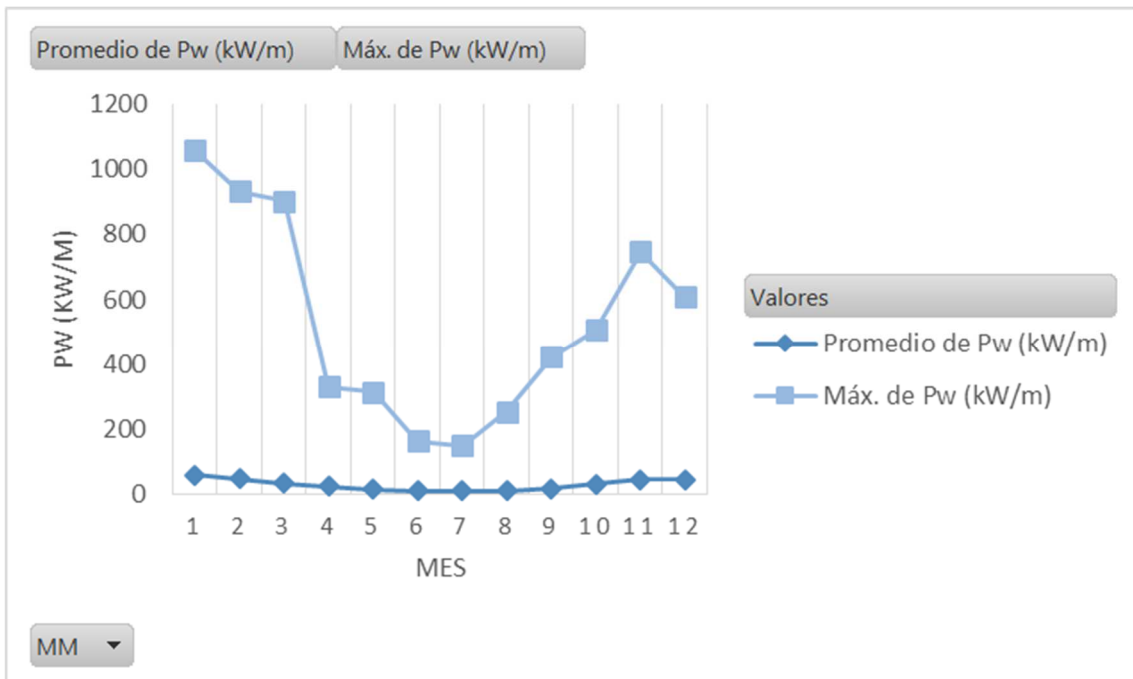


Figura 38. Punta Langosteira. Pw valores extremos y dispersión

Silleiro

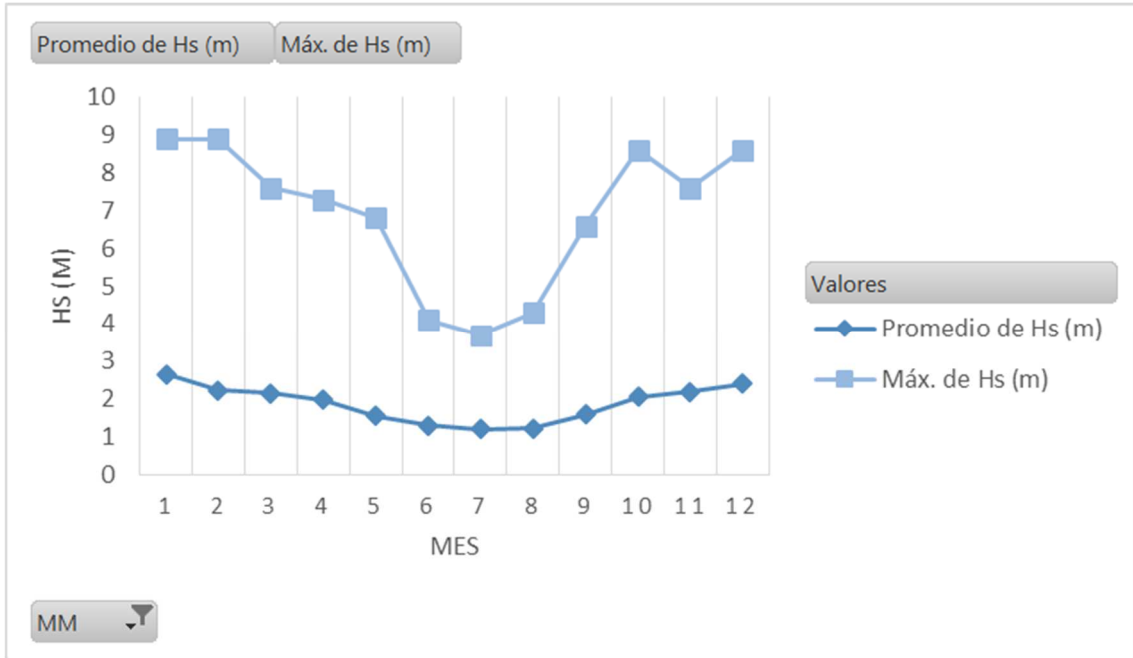


Figura 39. Silleiro. Hs valores extremos y dispersión

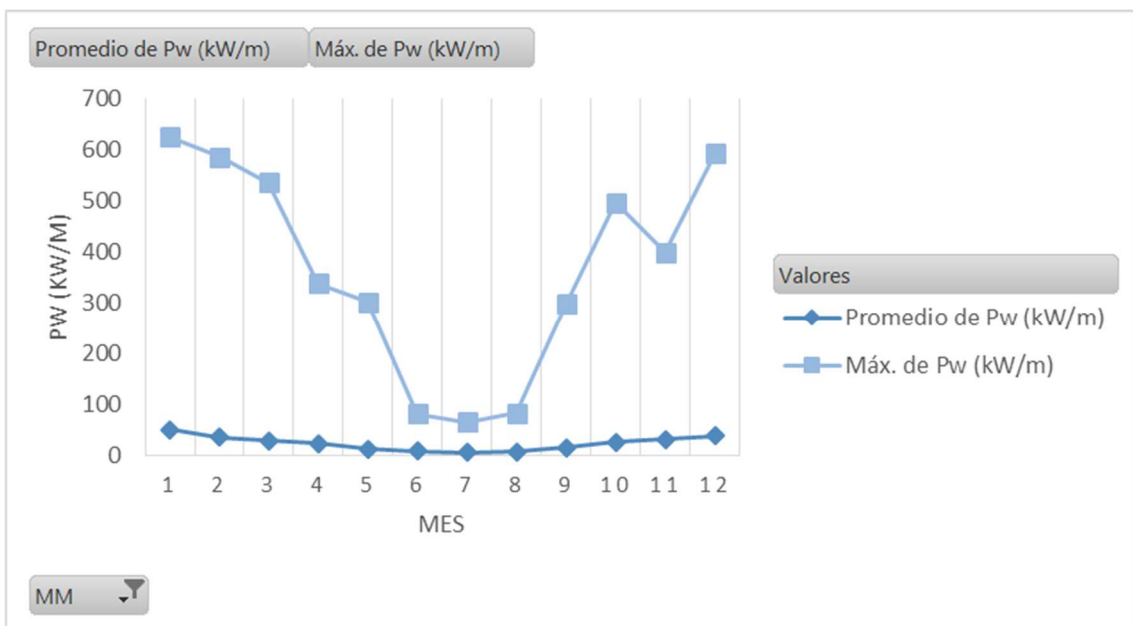


Figura 40. Silleiro. Pw valores extremos y dispersión

Comparativa

	FERROL	PUNTA LANGOSTEIRA	SILLEIRO
Mes	Máx. de Hs (m)	Máx. de Hs (m)	Máx. de Hs (m)
1	1.3	11.9	8.9
2	1.5	9.9	8.9
3	1.4	10.4	7.6
4	1.2	6.8	7.3
5	0.6	6.5	6.8
6	0.6	5.2	4.1
7	0.6	4.5	3.7
8	0.9	5.8	4.3
9	0.9	7.4	6.6
10	1.3	8.1	8.6
11	0.9	10.4	7.6
12	1.4	8.8	8.6

Tabla 4. Comparativa H_s máxima

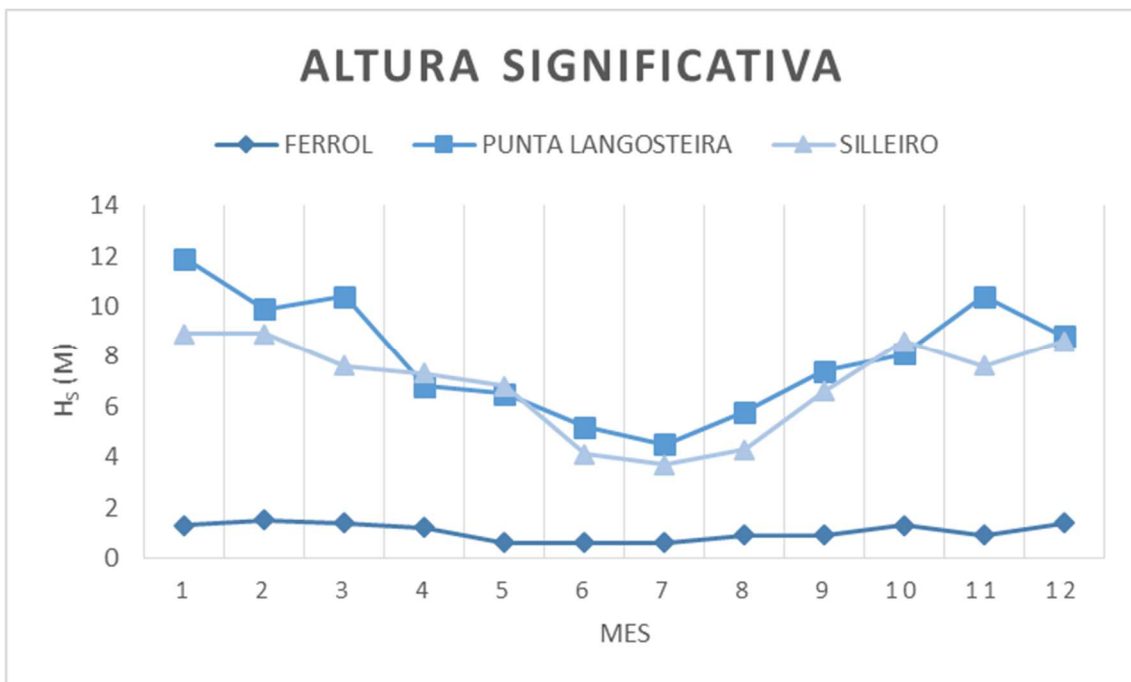


Figura 41. Comparativa H_s máxima

	FERROL	PUNTA LANGOSTEIRA	SILLEIRO
Mes	Máx. de Pw (kW/m)	Máx. de Pw (kW/m)	Máx. de Pw (kW/m)
1	7.470311454	1057.958968	626.2927579
2	9.151894189	933.5884617	586.8412456
3	7.470311454	902.3294511	535.8054275
4	5.827328545	328.9589221	338.4071634
5	1.322355324	313.0165715	302.2739909
6	1.412006532	163.4266819	81.60438985
7	1.210291313	148.7649739	65.81270304
8	2.622297845	253.4165727	82.88254215
9	2.370153822	422.7452925	298.3143959
10	6.733801874	506.0312651	497.2952529
11	3.076157088	747.452008	399.1570635
12	5.289421295	607.476588	593.9915521

Tabla 5. Comparativa P_w máxima

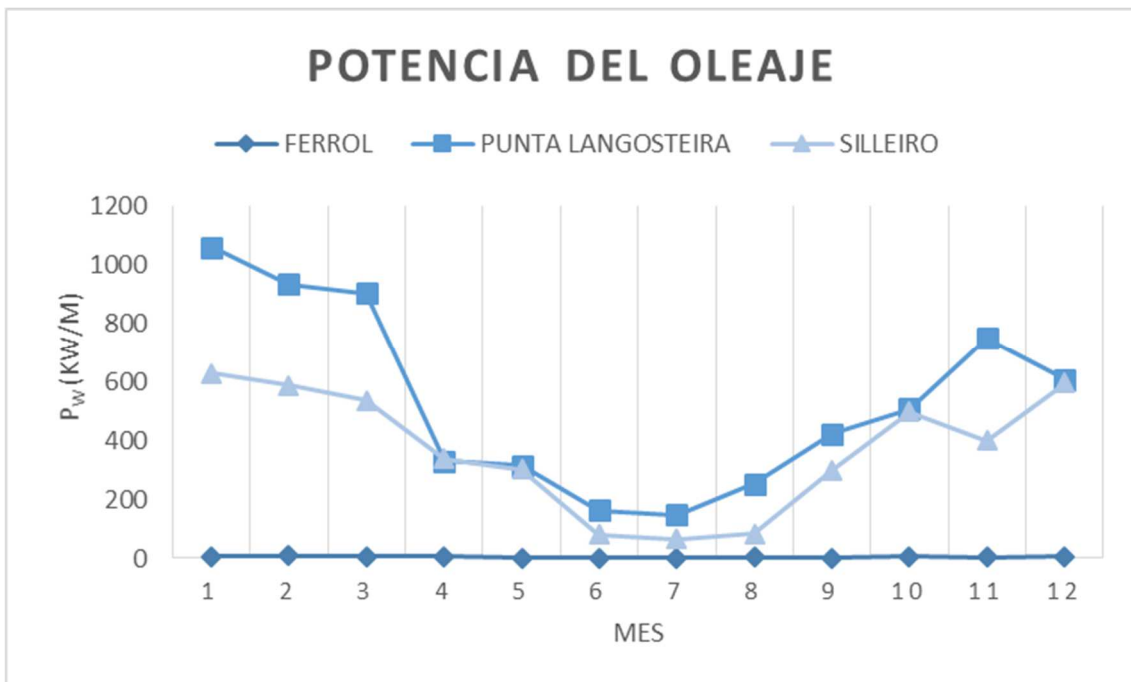


Figura 42. Comparativa P_w máxima

Análisis adimensional de la potencia

A continuación se ha procedido a calcular el índice normalizado adimensional de la potencia del oleaje en las tres ubicaciones, tanto en la temporada de invierno como en el tiempo total. Para ello se hace uso de la [Ecuación 12]:

$$P_{Wn} = \frac{P_{W \text{ media}}}{P_{W \text{ máxima}}}$$

Ecuación 12. Índice normalizado adimensional de P_w [8]

Donde:

$P_{W \text{ media}}$: potencia del oleaje media en cada emplazamiento.

$P_{W \text{ máxima}}$: potencia del oleaje máxima en los tres emplazamientos.

Es importante remarcar que se toma un valor absoluto de la potencia del oleaje máxima para los tres emplazamientos, ya que dicho valor funciona como referencia. Por tanto, para poder comparar estos parámetros adimensionales esta referencia debe ser única. En este caso el máximo se tiene en la ubicación de Punta Langosteira:

$$P_{W \text{ máxima}} = 1057.958968 \text{ [kW/m]}$$

Los resultados obtenidos se presentan en la [Tabla 6], y se han representado gráficamente en las [Figura 43] y [Figura 44]. Se aprecia que los valores de estos parámetros adimensionales son mayores en la temporada de invierno, lo que indica que esta temporada tiene más potencial energético. La ubicación que presenta el valor máximo es Punta Langosteira, seguida de Silleiro y finalmente de Ferrol, por tanto, a la hora de calcular las potencias eléctricas generadas en cada emplazamiento, deberían obtenerse una eficiencia máxima en Punta Langosteira, seguida de Silleiro y un mínimo en Ferrol.

	Ferrol	Punta Langosteira	Silleiro
$P_{Wn} (TT)$	0.00064728	0.026106667	0.0224252
$P_{Wn} (WT)$	0.00101958	0.039632244	0.03343673

Tabla 6. Comparativa parámetros adimensionales

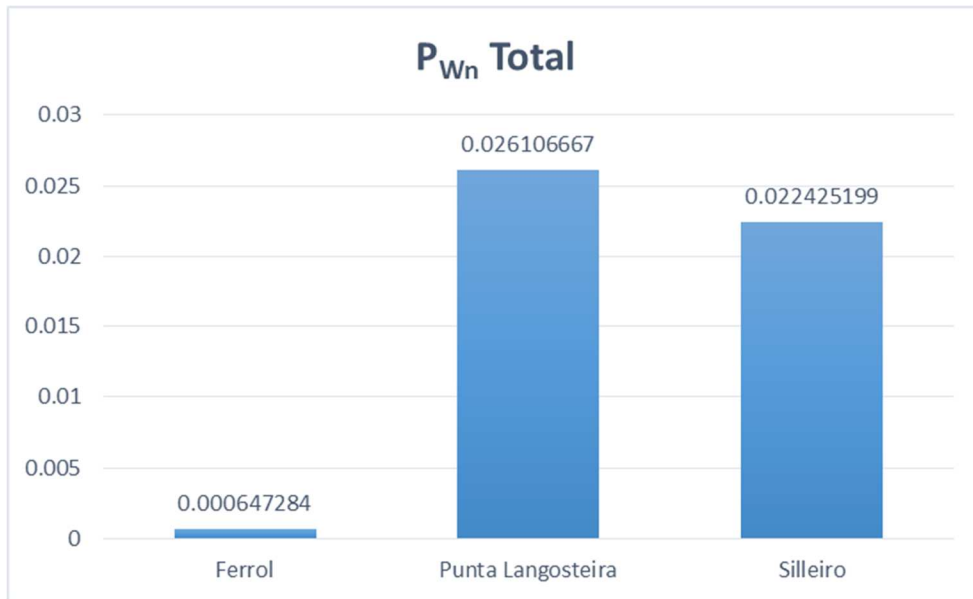


Figura 43. Comparativa tiempo total

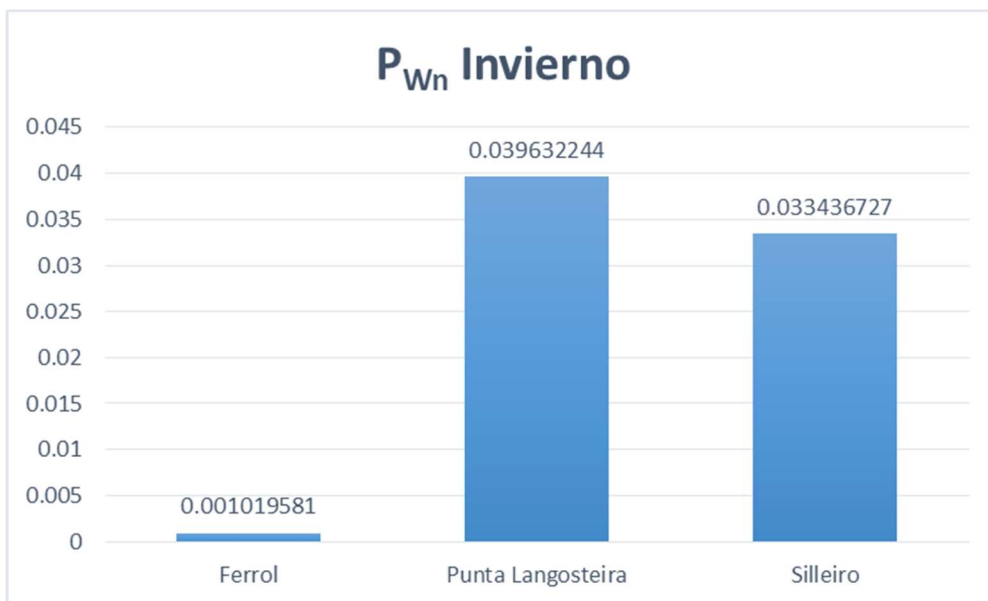


Figura 44. Comparativa tiempo invierno

Anchura de captura (capture width: C_W)

Otro parámetro importante en relación a la captura de energía es la anchura de captura (capture width). Dicho parámetro materializa la anchura del frente de ola del cual se extrae la energía mediante cada dispositivo WEC en cuestión. Por tanto, cuanto mayor sea el valor de este parámetro, mayor será la fracción de la ola cuya energía está siendo aprovechada y por consiguiente, mayor será la eficiencia del dispositivo en cuestión. Este parámetro se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$C_W = \frac{P_E}{P_W}$$

Ecuación 13. Anchura de captura (m) [8]

Donde:

P_E : potencia eléctrica media aprovechada por el dispositivo WEC.

P_W : potencia del oleaje en cada ubicación.

Para el cálculo de este parámetro se han tomado los valores promedios de la potencia del oleaje en cada ubicación.

En la [Figura 45] se han presentado los valores obtenidos para este parámetro en las tres ubicaciones de estudio para los dispositivos WEC que se analizan en el presente trabajo. Cabe destacar que cuanto mayor sea el valor de este parámetro, más eficiente será el dispositivo en cuestión, y es evidente que en este caso el dispositivo que mejor trabaja es el Wave Dragon en los tres emplazamientos.

Además, en la [Tabla 7] se presentan los valores de este parámetro junto con las potencias del oleaje medias en cada emplazamiento utilizadas para el cálculo de la anchura de captura.

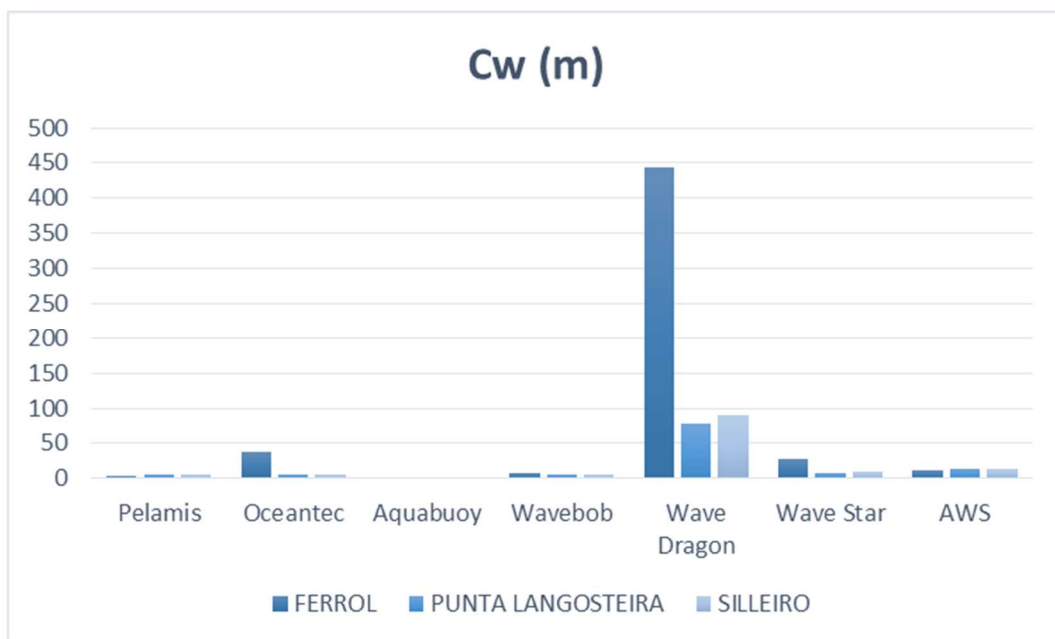


Figura 45. Capture Width

		FERROL	PUNTA LANGOSTEIRA	SILLEIRO
		$P_{Wmedia} = 0.6536 \text{ kW}$	$P_{Wmedia} = 27.7831 \text{ kW}$	$P_{Wmedia} = 22.7628 \text{ kW}$
$P_N < 1000 \text{ kW}$	Pelamis	3.09745097	5.774769146	6.570795466
	Oceantec	37.97636023	5.144994247	6.291355567
	Aquabuoy	2.13930918	1.818486317	2.105853978
	Wavebob	7.402949542	5.740102206	6.174341581
$P_N \geq 2000 \text{ kW}$	Wave Dragon	443.3674665	77.13045009	89.80268359
	Wave Star	28.27307892	8.005315031	9.311053202
	AWS	11.47805765	12.82567405	14.03577129

Tabla 7. Capture Width

Factor de Capacidad (Capacity Factor: C_f)

Por otra parte se ha calculado el Factor de Capacidad. Para el cálculo de este parámetro se pondera la potencia eléctrica media producida por cada dispositivo en cada ubicación con la potencia nominal (o potencia máxima) de cada dispositivo. Este parámetro es adimensional y se ha expresado en forma de porcentaje. Se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$C_f = 100 * \frac{P_E}{RP} (\%)$$

Ecuación 14. Factor de Capacidad (%) [20]

Donde:

P_E : potencia eléctrica media generada por cada WEC en cada emplazamiento.

RP (Rated Power): potencia nominal de cada WEC.

		RP (kW)
$P_N < 1000 \text{ kW}$	Pelamis	750
	Oceantec	500
	Aquabuoy	250
	Wavebob	1000
$P_N \geq 2000 \text{ kW}$	Wave Dragon	5900
	Wave Star	2709
	AWS	2470

Tabla 8. Rated Power (kW) [20]

En los resultados obtenidos para el factor de capacidad [Tabla 9] se aprecia cómo al ponderar la producción de cada dispositivo con su potencia nominal los valores obtenidos para cada WEC resultan más similares. A pesar de que el Wave Dragon continúe liderando la muestra de dispositivos, las diferencias con respecto a los demás dispositivos son menos pronunciadas. Además, en lo que respecta a los dispositivos con potencia nominal menor a 1000 kW, destaca el Oceantec con un factor de capacidad en torno al 30%, lo que da a entender que a pesar de que su generación eléctrica no sea la más elevada [Tabla 17], su eficiencia destaca frente a la de otros dispositivos. De nuevo la ubicación en la que se da el máximo es Punta Langosteira, por lo que en este sentido seguiría siendo la que presenta mayor potencial energético.

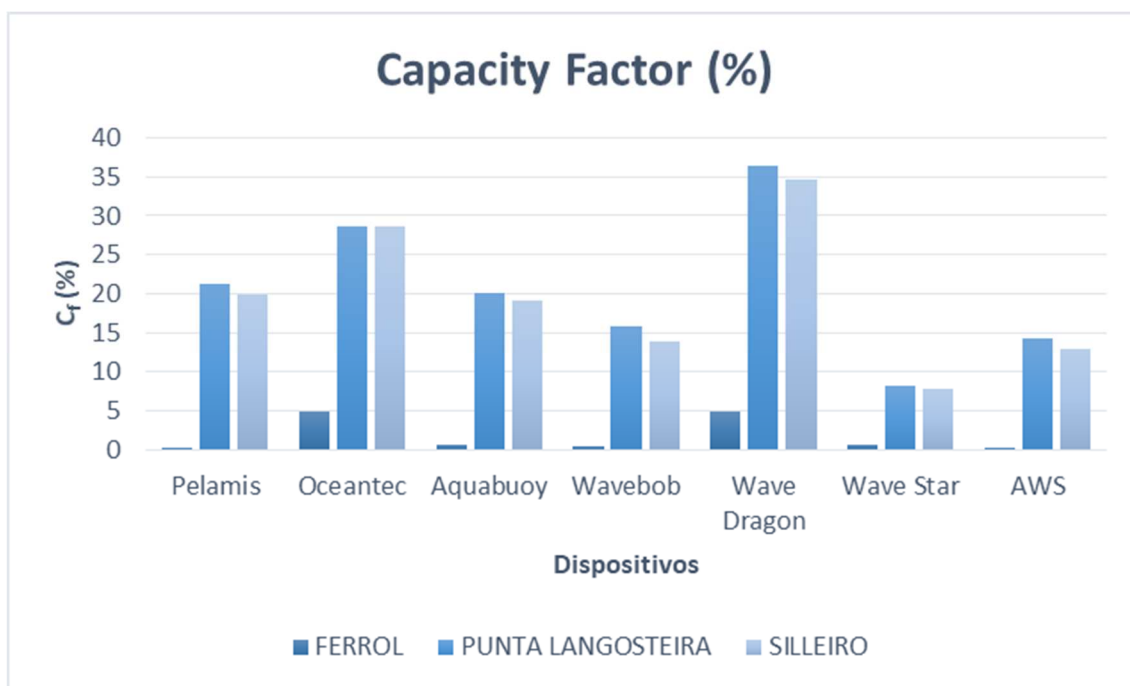


Figura 46. Factor de Capacidad (%)

		FERROL	PUNTA LANGOSTEIRA	SILLEIRO
$P_N < 1000 \text{ kW}$	Pelamis	0.26992015	21.39216909	19.9425891
	Oceantec	4.96404218	28.58882775	28.6417192
	Aquabuoy	0.55927535	20.20931009	19.1740167
	Wavebob	0.4838346	15.94781115	14.0545035
$P_N \geq 2000 \text{ kW}$	Wave Dragon	4.91138455	36.32079223	34.6467226
	Wave Star	0.68211285	8.210146017	7.8237445
	AWS	0.30371314	14.42662371	12.9349331

Tabla 9. Factor de Capacidad (%)

Matrices del oleaje

Por otra parte, como se ha mencionado anteriormente, se calculan las matrices del oleaje en los tres emplazamientos a partir de los datos del histórico del oleaje proporcionados por Puertos del Estado siguiéndose la siguiente metodología.

En primer lugar se han tratado los datos con el objeto de calcular la frecuencia cada estado del oleaje (combinación de altura significativa y periodo energético en rangos de $0.5\text{m} \times 0.5\text{s}$). Se han elegido estos rangos debido a que, como se explicará posteriormente, son los habituales para las matrices de potencia de los dispositivos WEC, facilitando por tanto las operaciones entre ambas matrices.

A la hora de calcular dichas frecuencias de repetición, primero se ha calculado el periodo energético del oleaje en cada estado a partir de la [Ecuación 10], y su potencia correspondiente a partir de la [Ecuación 9]. Después se han introducido los datos de periodo energético y altura significativa en una tabla dinámica, en la que se presentan las alturas significativas en columnas, los periodos energéticos en filas y la frecuencia de cada combinación en valores. No obstante, los valores presentes en dicha tabla no se ajustan a los rangos deseados, por tanto, se han subdividido las filas y columnas de la tabla en los rangos de $0.5\text{m} \times 0.5\text{s}$. Finalmente, se ha realizado el recuento de cada una de estas casillas obteniéndose la [Tabla 18] en Ferrol, la [Tabla 21] en Punta Langosteira y la [Tabla 24] en Silleiro, a partir de las que pueden calcularse las matrices del oleaje en cada emplazamiento [Tabla 19], [Tabla 22], y [Tabla 25] a partir de la equivalencia porcentual de las frecuencias. En las matrices del oleaje se presenta el porcentaje de repetición de cada estado del oleaje en cada ubicación, de tal forma que de ellas se extrae qué estados del oleaje son más recurrentes. Al cruzar dichas matrices con la [Figura 27], la intersección de las curvas isóbaras de potencia con los estados del oleaje más recurrentes proporciona información acerca de qué potencia de ola es la más común en cada emplazamiento.

Posteriormente, se han presentado las potencias correspondientes a cada combinación en cada emplazamiento [Tabla 20], [Tabla 23] y [Tabla 26]. Cabe destacar que al ser la potencia del oleaje función del estado del oleaje, las matrices de frecuencia porcentual, o matrices del oleaje [Tabla 19], [Tabla 22] y [Tabla 25] no sólo presentan la frecuencia de repetición de cada combinación de altura significativa y periodo energético, sino también la frecuencia de la potencia del oleaje correspondiente a dicha combinación.

Una vez calculadas las potencias correspondientes a cada estado del oleaje [Tabla 20], [Tabla 23] y [Tabla 26] se conocen los valores de las potencias del oleaje más recurrentes en cada emplazamiento.

Análisis de los dispositivos WEC: matrices de potencia

Como se ha explicado anteriormente, para la selección del dispositivo óptimo en cada emplazamiento, es necesario cruzar las matrices del oleaje en cada lugar de estudio con las matrices de potencia de los dispositivos seleccionados.

En las matrices de potencia de cada WEC [Tabla 10], [Tabla 11], [Tabla 12], [Tabla 13], [Tabla 14], [Tabla 15] y [Tabla 16] se representan los valores de la potencia eléctrica que se espera obtener para distintos estados del oleaje. En estas matrices se aprecia que los pasos más habituales para

los periodos energéticos y alturas significativas son de 0.5 s y 0.5 m respectivamente. Esta es la razón principal por la que las matrices de potencia del oleaje se han construido en casillas de 0.5s*0.5m, ya que al tener las mismas magnitudes en ambos casos su comparación será más sencilla. Sin embargo, algunas de las matrices de potencia utilizadas no se adecúan a esta premisa por lo que para poder operar con ellas se les debe aplicar ciertas modificaciones. Cabe destacar que cada dispositivo trabaja para un rango de periodos energéticos y alturas significativas determinadas, por lo que para estados del oleaje que no se adecúan a estos rangos el valor de la potencia en la matriz será o nulo si el dispositivo no trabaja en dichas condiciones o no aparecerá ningún valor si el dispositivo se encuentra en modo de protección por tormenta como puede observarse en las [Tabla 10], [Tabla 14], [Tabla 15], aunque para objetos de cálculo en esta situación la potencia de dichos elementos también podrá considerarse nula.

Potencia nominal < 1000 kW

Pelamis

		Tm (s)									
		0	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Hs (m)	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	22	34	38	37	32	26	0	
	1.5	0	32	65	83	86	78	65	53	33	
	2	0	57	115	148	152	138	116	93	59	
	2.5	0	89	180	231	238	216	181	146	92	
	3	0	129	260	332	332	292	240	210	132	
	3.5	0	0	354	438	424	377	326	260	180	
	4	0	0	462	540	530	475	384	339	213	
	4.5	0	0	544	642	628	562	473	382	266	
	5	0	0	0	726	707	670	557	472	328	
	5.5	0	0	0	750	750	737	658	530	355	
	6	0	0	0	750	750	750	711	619	415	
	6.5	0	0	0	750	750	750	750	658	481	
	7	0	0	0	0	750	750	750	750	525	
	7.5	0	0	0	0	750	750	750	750	593	
	8	0	0	0	0	0	750	750	750	625	
8.5	0	0	0	0	0	0	750	750	750		
9	0	0	0	0	0	0	0	750	750		
9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	750		
10	0	0	0	0	0	0	0	0	750		
10.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Tabla 10. Matriz de potencia Pelamis [21]

Oceantec

		Te (s)												
		0	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Hs (m)	1	84.7	87.3	59.3	39.4	25.3	16.1	10.4	6.8	4.5	3.1	2.2	1.5	1.1
	1.5	190.5	196.1	133.1	88.6	56.8	36.2	23.3	15.3	10.2	7	4.8	3.4	2.5
	2	338.5	348	234.1	157.5	100.9	64.4	41.4	27.1	18.1	12.4	8.6	6.1	4.4
	2.5	500	500	363.9	245.2	157.8	100.5	64.7	42.4	28.3	19.3	13.4	9.5	6.9
	3	500	500	500	337.3	227.5	144.5	93.1	61	40.8	27.8	19.3	13.7	9.9
	3.5	500	500	500	419.5	309.2	196.5	126.7	83.1	55.4	37.8	26.3	18.6	13.4
	4	500	500	500	500	401.4	258.1	166	108.5	72.4	49.3	34.3	24.3	17.5
	4.5	500	500	500	500	500	326.4	210.3	137.5	91.7	62.4	43.4	30.7	22.1
	5	500	500	500	500	500	383	259.2	169.9	113.2	77	53.5	37.9	27.3
	5.5	500	500	500	500	500	389.3	307.5	204.8	136.9	93.2	64.7	45.8	33

Tabla 11. Matriz de potencia Oceantec [16]

Aquabuoy

Hs (m)	Te (s)																
	0	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17			
1	0	0	0	8	11	12	11	10	8	7	0	0	0	0			
1.5	0	13	17	25	27	26	23	19	15	12	12	12	12	7			
2	0	24	30	44	49	47	41	34	28	23	23	23	23	12			
2.5	0	37	47	69	77	73	64	54	43	36	36	36	36	19			
3	0	54	68	99	111	106	92	77	63	51	51	51	51	27			
3.5	0	0	93	135	152	144	126	105	86	70	70	70	70	38			
4	0	0	0	122	176	198	188	164	137	91	91	91	91	49			
4.5	0	0	0	223	250	239	208	174	142	115	115	115	115	62			
5	0	0	0	250	250	250	250	250	214	175	142	142	142	77			
5.5	0	0	0	250	250	250	250	250	211	172	172	172	172	92			

Tabla 12. Matriz de potencia Aquabuoy [22]

Wavebob

Hs (m)	Tm (s)																
	0	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
1	6	11	19	25	30	44	50	53	44	34	22	20	17				
1.5	13	25	43	55	68	90	102	92	91	66	65	45	37				
2	24	45	65	100	121	153	175	151	122	126	87	61	58				
2.5	0	65	104	141	191	179	243	255	190	181	135	99	83				
3	0	96	137	205	244	357	293	353	260	248	184	137	120				
3.5	0	0	192	254	291	431	385	424	314	285	239	222	172				
4	0	0	256	366	403	551	536	531	473	420	289	268	179				
4.5	0	0	327	418	574	678	708	665	509	415	386	244	249				
5	0	0	358	514	658	824	828	618	638	512	452	384	333				
5.5	0	0	0	610	774	880	936	905	805	603	456	397	311				
6	0	0	0	711	952	974	1000	838	886	648	501	503	396				
6.5	0	0	0	788	1000	1000	1000	979	1000	727	577	435	424				
7	0	0	0	871	1000	1000	1000	1000	1000	959	748	574	472				

Tabla 13. Matriz de potencia Wavebob [23]

Potencia nominal ≥ 2000 kW

Wave Dragon

Hs (m)	Te (s)																					
	0	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14
1	203	276	348	432	516	608	698	788	886	993	958	862	741	619	508	398	320	242	163	95	25	446
1.5	412	448	485	617	750	889	1049	1212	1375	1433	1491	1509	1527	1502	1477	1404	1332	1209	1086	912	717	
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	1634	1634	1634	1634	1624	2027	2430	2890	3259	3563	3776	3893	3989	3970	3951	3795	3641	3312	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	5838	5900	5900	5900	5895	5889	5416	4943	4191	3439	
4.5	4719	4719	4719	4719	4719	4719	4719	5093	5466	5662	5838	5879	5900	5900	5900	5897	5895	5658	5422	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 14. Matriz de potencia Wave Dragon [18]

Wave Star

Hs (m)	Te (s)											
	0	3.807	5.076	6.345	7.614	8.883	10.152	11.421	12.69	13.959	15.228	16.497
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	49	73	85	86	83	78	72	67	63	59	
1.5	54	136	193	205	196	182	167	153	142	132	123	
2	106	265	347	347	322	294	265	244	224	207	193	
2.5	175	429	522	499	457	412	372	337	312	288	267	
3	262	600	600	600	600	600	540	484	442	399	367	340
3.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 15. Matriz de potencia Wave Star [19]

Archimedes Wave Swing (AWS)

		Te (s)																				
		0	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5
Hs (m)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	2	7	13	19	25	34	41	48	58	68	81	93	105	118	131	144	153	163	183	203	203
	1.5	4	15	28	41	56	72	85	99	121	143	173	203	226	248	266	285	309	334	357	380	380
	2	8	26	49	73	100	127	150	172	210	247	292	337	366	395	418	442	482	523	543	563	563
	2.5	15	43	78	113	159	205	234	263	320	376	438	499	531	563	603	643	675	708	741	774	774
	3	25	61	111	161	227	293	339	386	453	521	600	680	722	755	827	888	897	906	945	984	984
	3.5	35	92	155	218	305	391	454	517	605	694	772	851	913	975	1036	1096	1119	1141	1163	1185	1185
	4	35	114	194	273	380	486	572	659	776	894	961	1027	1103	1179	1227	1275	1316	1357	1385	1374	1374
	4.5	0	0	235	332	479	626	722	819	957	1096	1168	1240	1320	1401	1449	1497	1547	1598	1590	1593	1593
	5	0	0	280	400	592	784	899	1014	1144	1274	1380	1487	1569	1651	1691	1731	1785	1838	1807	1777	1777
	5.5	0	0	320	432	641	849	1033	1216	1331	1446	1568	1690	1778	1867	1919	1970	1977	1984	1994	2005	2005
	6	0	0	0	0	680	944	1155	1367	1495	1623	1759	1895	1936	2072	2137	2202	2205	2207	2226	2246	2246
6.5	0	0	0	0	720	1123	1335	1547	1678	1809	1936	2116	2200	2284	2332	2380	2425	2470	2452	2434	2434	

Tabla 16. Matriz de potencia AWS [24]

Cálculo de la potencia eléctrica media

A continuación, se explica el procedimiento del cálculo de la potencia eléctrica media obtenida por cada dispositivo en cada emplazamiento. A partir de los resultados obtenidos, podrá determinarse qué dispositivo es el óptimo para cada ubicación estudiada tomando el dispositivo que genere una potencia mayor como el más eficiente.

Dicha potencia eléctrica se calculará a partir de la siguiente expresión:

$$P_E = \frac{1}{100} * \sum_{i=1}^{n_T} \sum_{j=1}^{n_H} p_{ij} * P_{ij}$$

Ecuación 15. Potencia eléctrica media [25]

Donde:

P_E : potencia eléctrica media generada por el dispositivo.

p_{ij} : componente de la fila i y columna j de la matriz del oleaje de cada emplazamiento.

P_{ij} : componente de la fila i y columna j de la matriz de potencia de cada WEC.

Es importante remarcar que para que la [Ecuación 15] sea aplicable, es necesario que las matrices $[p_{ij}]$ $[P_{ij}]$ tengan el mismo tamaño, el cumplimiento de esta condición no es muy habitual de antemano, por lo que como se explicará posteriormente se realizarán ciertas modificaciones a las matrices para su imposición. Por una parte, el tamaño de la matriz del oleaje en cada emplazamiento $[p_{ij}]$ se ha definido en función de los valores máximos y mínimos de periodos energéticos y alturas significativas presentes en los datos del histórico del oleaje proporcionado por puertos del Estado, mientras que el tamaño de las matrices de potencia $[P_{ij}]$ viene dado por las condiciones de funcionamiento de cada dispositivo WEC.

Por consiguiente, ambas matrices se modificarán para el cálculo de cada potencia eléctrica media en función de las restricciones impuestas por cada una de ellas, de tal forma que sea posible unificar sus tamaños y por tanto, calcular la potencia sin dar lugar a error. A continuación se indican las modificaciones llevadas a cabo en cada matriz para cumplir con el objetivo previamente explicado. En lo que se refiere a estas modificaciones, es importante recalcar que mientras las matrices del oleaje sólo se verán modificadas en su tamaño al eliminarse ciertas filas

y columnas en función de las restricciones numéricas a imponer, las matrices de potencia de los dispositivos WEC sufrirán modificaciones mayores para conseguir la unificación de tamaños. Es evidente que para cumplir la sintaxis de la [Ecuación 15], los valores de los periodos energéticos y alturas significativas deben ser idénticos en ambas matrices. Para ello, se eligen como referencia los valores de la matriz de oleaje por ser éstos los más comunes, y se realizan modificaciones (si fuera necesario) a los de las matrices de potencia para hacerlos coincidir.

Modificaciones de las matrices de potencia

De todos los dispositivos de estudio (Pelamis, Oceantec, Aquabuoy, Wavebob, Wave Dragon, Wave Star y AWS), sólo aquellos cuyos valores de alturas significativas y periodos energéticos no coincidan con los de referencia serán modificados en mayor medida. Sin embargo, todas las matrices tendrán que ser modificadas.

Las matrices de potencia cuyos valores de los periodos energéticos y alturas significativas no se identifican con los de referencia son las de Pelamis, Wave Star y Wavebob.

En los casos de Pelamis, Wave Star y Wavebob, las matrices de potencia vienen dadas en función de los periodos medios, por lo que se ha calculado la equivalencia a los periodos energéticos mediante la [Ecuación 10]. No obstante, los periodos energéticos calculados no coinciden con los de referencia en las ubicaciones de estudio. Este problema se soluciona mediante una interpolación lineal de los valores conocidos a los correspondientes a las matrices del oleaje y una extrapolación a sus potencias correspondientes. Se ha tomado esta aproximación como válida al considerarse los puntos conocidos lo suficientemente próximos como para poder asumirse un comportamiento lineal entre ellos. Además, en el dispositivo Wavebob es necesario añadir la fila correspondiente a una altura significativa de 0.5m, para ello se ha interpolado entre el valor de 1 m y 0 m.

Por otra parte, en lo que se refiere a los dispositivos Oceantec, Wave Dragon y Aquabuoy, a pesar de que sus valores de alturas significativas y periodos energéticos se adecúan a los de referencia, los intervalos en los que se han definido no son los mismos por lo que se interpolará para hacerlos coincidir. De nuevo, se considera que la interpolación lineal proporciona una exactitud suficiente al estar tratando con valores próximos.

Un problema común para los dispositivos mencionados es la ausencia de la fila correspondiente a una altura significativa de 0.5 m, que también se añadirá por interpolación lineal extrapolando posteriormente para sus potencias correspondientes. Por otra parte, en el caso de Oceantec y Aquabuoy, se tienen unos periodos energéticos coincidentes con los de la matriz del oleaje con la única excepción de que faltan los valores intermedios. Este problema se soluciona realizando una media aritmética simple para calcular las potencias correspondientes a dichos valores intermedios.

Una vez realizadas las correcciones explicadas, sólo se tienen que aplicar las restricciones numéricas a los periodos energéticos y alturas significativas de cada matriz de oleaje con cada matriz de potencia para conseguir que sus tamaños sean coincidentes y por tanto poder calcular la potencia eléctrica media. Todas las matrices modificadas para el cálculo de la potencia eléctrica media generada por cada dispositivo en cada ubicación se adjuntan en el [ANEXO I.- TABLAS], de modo que a continuación se indican las modificaciones que se han tenido que aplicar para

posibilitar dicho cálculo, seguidas de los resultados de las potencias eléctricas medias obtenidas por cada dispositivo en cada ubicación.

Ferrol

Ahora se procede a explicar el cálculo de las potencias eléctricas medias de cada WEC en la localización de Ferrol. Para ello, se señalarán las restricciones numéricas impuestas para hacer posible dicho cálculo y se presentarán las matrices de oleaje y potencia modificadas en cada caso, señalándose a su vez la potencia eléctrica media obtenida por cada dispositivo. Posteriormente, se estudiarán los resultados obtenidos para la selección del dispositivo óptimo en este emplazamiento.

En primer lugar, cabe destacar que los valores máximos de la altura significativa y el periodo energético vienen dados por la matriz del oleaje en Ferrol [Tabla 18] en el caso de todos los dispositivos a estudiar y toman unos valores de 1.5 m y 10 s respectivamente, lo que supone que las dos primeras restricciones a introducir serán idénticas en todos los casos. No obstante, el periodo energético mínimo para que los dispositivos entren en condiciones de funcionamiento, que supondrá la tercera restricción a aplicar, se basa en este caso en las matrices de potencia de cada dispositivo [Tabla 10], [Tabla 11], [Tabla 12], [Tabla 13], [Tabla 14], [Tabla 15] y [Tabla 16]. Cabe destacar que al ser la tercera condición dependiente de la matriz de potencia de cada dispositivo, los tamaños de las matrices modificadas $[p_{ij}]$ y $[P_{ij}]$ serán distintos para el cálculo de la potencia eléctrica de cada WEC.

Dispositivos con $P_N < 1000$ kW

Pelamis

A la hora de unificar los tamaños para el cálculo de la potencia del dispositivo Pelamis, se ha fijado el valor del periodo energético mínimo en 5.5 s. La potencia en este caso toma un valor de 2.024 kW.

Oceantec

Para la unificación de los tamaños de las matrices con el dispositivo Oceantec la matriz de potencia del dispositivo se restringe el periodo energético mínimo a 6 s. Este dispositivo para el estado del oleaje de Ferrol genera una potencia eléctrica media de 24.820 kW.

Aquabuoy

En el caso del dispositivo Aquabuoy se fija el periodo energético mínimo en 5 s en función de la matriz de potencia. En este caso la potencia obtenida es de 1.398 kW.

Wavebob

En lo que respecta al Wavebob, el periodo energético mínimo toma un valor de 5.5 s, y la potencia eléctrica generada alcanza los 4.838 kW.

Dispositivos con $P_N \geq 2000$ kW

Wave Dragon

Para ajustar los tamaños de las matrices con el dispositivo Wave Dragon, se restringe el periodo mínimo en función de la matriz de potencia del Wave Dragon (5 s). En el caso de este dispositivo se obtiene una potencia eléctrica esperada de 289.772 kW.

Wave Star

Para Wave Star se fija el valor del periodo energético mínimo según la matriz de potencia del Wave Star a 4 s. Para este dispositivo se obtiene una potencia de 18.478 kW.

AWS

En el caso del AWS, el periodo energético mínimo toma un valor de 5 s obteniéndose una potencia de 7.502 kW.

Punta Langosteira

Para la localización de Punta Langosteira se ha seguido la misma metodología de cálculo para las potencias eléctricas medias. En este emplazamiento, al ser los estados del oleaje más diversos que en el caso de Ferrol (más rango de periodo energético y altura significativa), las restricciones numéricas a imponer a la hora de unificar los tamaños de las matrices vendrán dadas por las matrices de potencia de los WECs, ya que en este caso son más restrictivas que la del oleaje. Las restricciones que se fijarán para cada dispositivo serán el rango de periodo energético (valor máximo y mínimo) y la altura significativa máxima. Queda claro que los valores numéricos de las restricciones para cada dispositivo serán distintos debido a que sus matrices de potencia también lo son, pero el procedimiento a seguir es el mismo en los siete casos.

Dispositivos con $P_N < 1000$ kW

Pelamis

En el caso del dispositivo Pelamis se fija el rango de los periodos energéticos válidos entre 5.5 s y 15 s y se limita la altura significativa máxima a 10.5 m. Para este dispositivo en este emplazamiento la potencia eléctrica media toma un valor de 160.443 kW.

Oceantec

Para el dispositivo Oceantec, el rango de periodos energéticos impuestos es de 6 s a 18 s y la altura significativa máxima toma un valor de 5.5 m. En este caso la potencia eléctrica generada es de 142.944 kW.

Aquabuoy

El rango de funcionamiento de periodos energéticos del dispositivo Aquabuoy es de 5 s a 17 s, y la altura significativa máxima de 5.5 m, obteniéndose en este caso una potencia eléctrica de 50.523 kW.

Wavebob

Para el Wavebob los valores mínimo y máximo del periodo energético son de 5.5 s y 20 s respectivamente, y la altura significativa máxima de 7 m. con estas restricciones, la potencia eléctrica obtenida alcanza los 159.478 kW.

Dispositivos con $P_N \geq 2000$ kW

Wave Dragon

Para el dispositivo Wave Dragon el rango de periodos energéticos a utilizar es de 4 s a 14 s y la altura significativa máxima de 8 m. Además, en la matriz de potencia original de este dispositivo, para ciertos estados del oleaje no se presenta ningún valor de potencia porque el dispositivo se encuentra en modo de protección de tormenta. No obstante, para posibilitar el cálculo de la potencia es necesario que todas las componentes de ambas matrices tengan un valor. Por tanto, se ha introducido un valor nulo para la potencia en estas condiciones, ya que para ellas no se aprovechará la energía del oleaje. Con estas modificaciones, la potencia eléctrica media del Wave Dragon es de 2142.927 kW.

Wave Star

Con el dispositivo Wave Star se fija el rango de periodos energéticos entre 4 s y 16 s y el valor de la altura significativa máxima en 3.5 m. Además, en este dispositivo, al igual que en el caso del Wave Dragon se han fijado a cero las componentes de la matriz de potencia en las que no se daba ningún valor por la misma razón. En este caso se obtiene una potencia eléctrica esperada de 222.4129 kW.

AWS

En el caso del AWS, se fija el rango de periodos energéticos entre 5 s y 14.5 s, y la altura significativa máxima en 6.5 m. Para este dispositivo, la potencia obtenida es de 356.338 kW.

Silleiro

Finalmente, se ha realizado el cálculo de las potencias eléctricas esperadas por cada dispositivo en la localización de Silleiro. Se ha procedido a fijar las restricciones numéricas necesarias a las matrices en cada caso de tal forma que sus tamaños sean idénticos posibilitando el cálculo de las potencias eléctricas medias. En el caso de esta ubicación, las restricciones a imponer no están basadas siempre en la misma matriz como en los casos explicados anteriormente, por lo que se indicará en función de qué matriz se han tomado los valores límite para cada dispositivo.

Dispositivos con $P_N < 1000$ kW

Pelamis

En primer lugar, para el dispositivo Pelamis las modificaciones aplicadas han sido las siguientes: se ha fijado el rango de periodos energéticos de 5.5 s a 15 s y se ha limitado la altura significativa máxima a 9 m. Dichas modificaciones se basan en la matriz de potencia de Pelamis y en la matriz del oleaje de Silleiro respectivamente. En este caso la potencia eléctrica obtenida es de 149.5694 kW.

Oceantec

En el caso del dispositivo Oceantec, las restricciones impuestas vienen dadas por la matriz de potencia. Se ha fijado el rango de periodos energéticos entre 6 s y 18 s, y la altura significativa máxima a 5.5 m. Para el estado del oleaje de Silleiro, el Oceantec genera una potencia eléctrica media de 143.209 kW.

Aquabuoy

Para el cálculo de la potencia del dispositivo Aquabuoy se realizan las siguientes restricciones a partir de su matriz de potencia: a) periodo energético entre 5 s y 17 s; b) altura significativa menor o igual que 5.5 m. En este caso se obtiene una potencia de 47.935 kW.

Wavebob

En el caso del dispositivo Wavebob, las restricciones impuestas también vienen dadas por su matriz de potencia. Se impone un rango de periodos energéticos de 5.5 s a 20 s y una altura significativa máxima de 7 m. La potencia eléctrica obtenida por este dispositivo toma un valor de 140.545 kW.

Dispositivos con $P_N \geq 2000$ kW

Wave Dragon

Para el dispositivo Wave Dragon en este caso, la única modificación que ha tenido que hacerse es la de introducir valores nulos para la potencia en aquellos elementos de la matriz en los que no se proporciona ningún valor, la razón por la que se toma esta decisión se ha explicado con anterioridad. Por otra parte, en lo que se refiere a la matriz del oleaje, en ella se ha fijado el rango de periodos energéticos de 4 s a 14 s y se ha restringido la altura significativa máxima a 8 m. Para estas condiciones se obtiene una potencia eléctrica de 2044.157 kW.

Wave Star

En el caso del dispositivo Wave Star las modificaciones realizadas se han basado en su matriz de potencia. Por una parte el rango de periodos energéticos se fija de 4 s a 16 s y la altura significativa máxima se limita a 3.5 m. Además, como se ha mencionado anteriormente, se han introducido valores nulos para la potencia en las componentes de la matriz de potencia que no tenían ningún valor para posibilitar el cálculo de la potencia eléctrica esperada sin conducir a error. El valor de la potencia eléctrica obtenido es de 211.945 kW.

AWS

Finalmente, las restricciones impuestas en el caso del AWS son un rango de periodos energéticos de 5 s a 14.5 s y una altura significativa máxima de 6.5 m, y vienen dadas por la matriz de potencia de este dispositivo. La potencia obtenida en este caso es de 319.493 kW.

DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

En este apartado se presenta la interpretación de los resultados obtenidos en el apartado anterior. En primer lugar, se explicarán brevemente los resultados correspondientes a cada emplazamiento, haciéndose una distinción entre los dispositivos cuya potencia nominal es menor que 1000 kW o mayor o igual que 2000 kW. Posteriormente, se indicará el dispositivo óptimo para el aprovechamiento de la energía del oleaje en cada ubicación. Cabe destacar que a pesar de que los factores que intervienen en la determinación del dispositivo más adecuado para cada emplazamiento son muy diversos, en este trabajo su selección se basará principalmente en el criterio de la eficiencia energética. Por tanto, se considerará como óptimo aquel dispositivo que genere una potencia eléctrica mayor para el estado del oleaje estudiado. Finalmente, se realizará un análisis global de los resultados de los tres lugares de estudio, con el objeto de determinar el emplazamiento con mayor potencial energético en este campo.

Ferrol

En la ubicación de Ferrol, el dispositivo que presenta la mayor potencia eléctrica es el Wave Dragon con 289.772 kW. Por tanto, el dispositivo a instalar es el Wave Dragon. Es evidente que la potencia de este dispositivo supera con creces a los demás, ya que la siguiente alternativa sería el Oceantec con 24.820 kW, menos del 10% de la potencia generada por el Wave Dragon. En lo que se refiere a los dispositivos restantes, sus potencias son considerablemente menores a la del Oceantec, en orden decreciente se tiene 18.478 kW para el Wave Star, 7.502 kW para el AWS, 4.838 kW para el Wavebob, 2.024 kW para el Pelamis y 1.3981 kW para el Aquabuoy. En este caso, merece la pena remarcar que el segundo dispositivo más energético sea el Oceantec a pesar de pertenecer al grupo de dispositivos con menor potencia nominal.

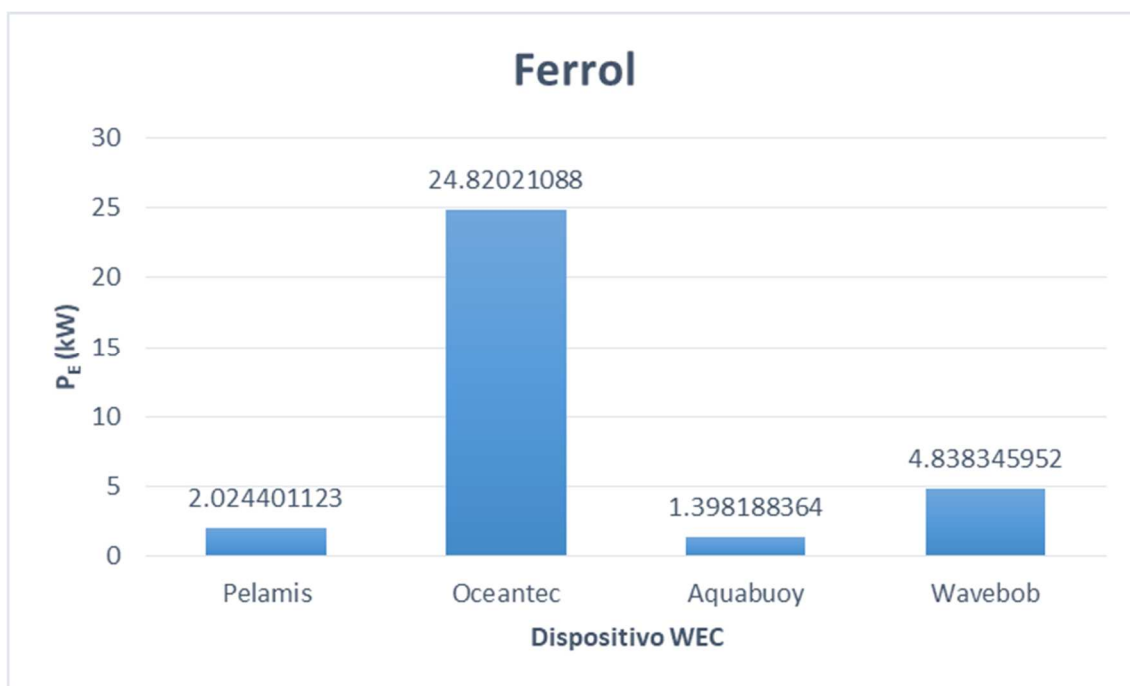


Figura 47. Ferrol. $P_N < 1000$ kW. P_E (kW)

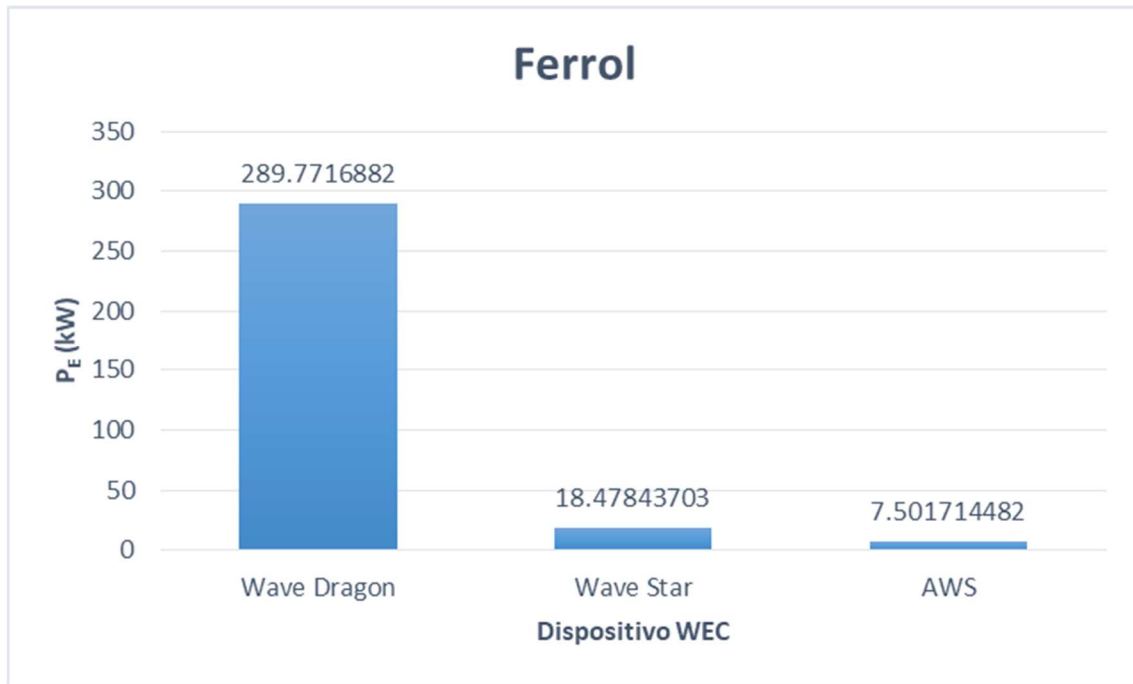


Figura 48. Ferrol. $P_N \geq 2000$ kW. P_E (kW)

Punta Langosteira

En Punta Langosteira, el Wave Dragon es de nuevo el dispositivo más energético, en este caso con una potencia de 2142.927 kW. Al igual que se ha observado en el caso de Ferrol, la producción energética del Wave Dragon es considerablemente mayor a la de sus alternativas, aunque en este caso las diferencias entre las producciones de los dispositivos restantes son menos significativas. La primera alternativa al Wave Dragon en esta ubicación sería el AWS con 356.338 kW, seguido del Wave Star con 222.413 kW, el Pelamis con 160.441 kW, el Wavebob con 159.478 kW, el Oceantec con 142.944 kW y finalmente el Aquabuoy con 50.232 kW. En el caso de Punta Langosteira se cumple que los tres dispositivos más energéticos son los pertenecientes al grupo de potencias nominales mayores o iguales a 2000 kW. No obstante, los dispositivos Pelamis, Wavebob y Oceantec son competitivos energéticamente si se comparan con el AWS y el Wave Star a pesar de que sus potencias sean menores.

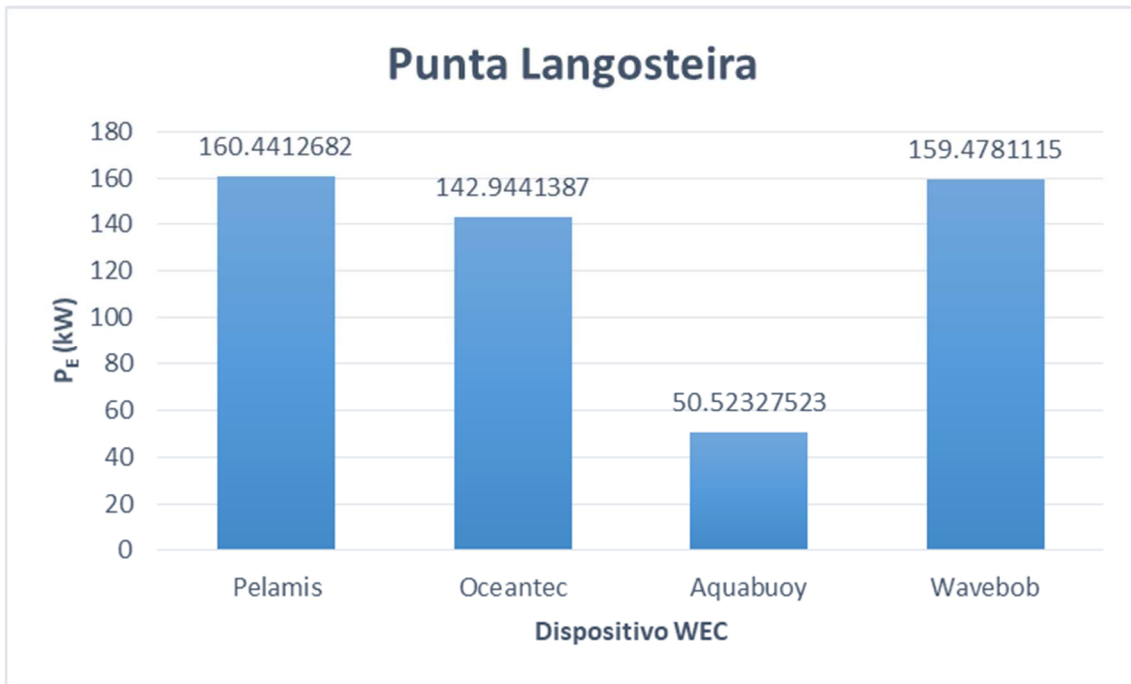


Figura 49. Punta Langosteira. $P_N < 1000$ kW. P_E (kW)

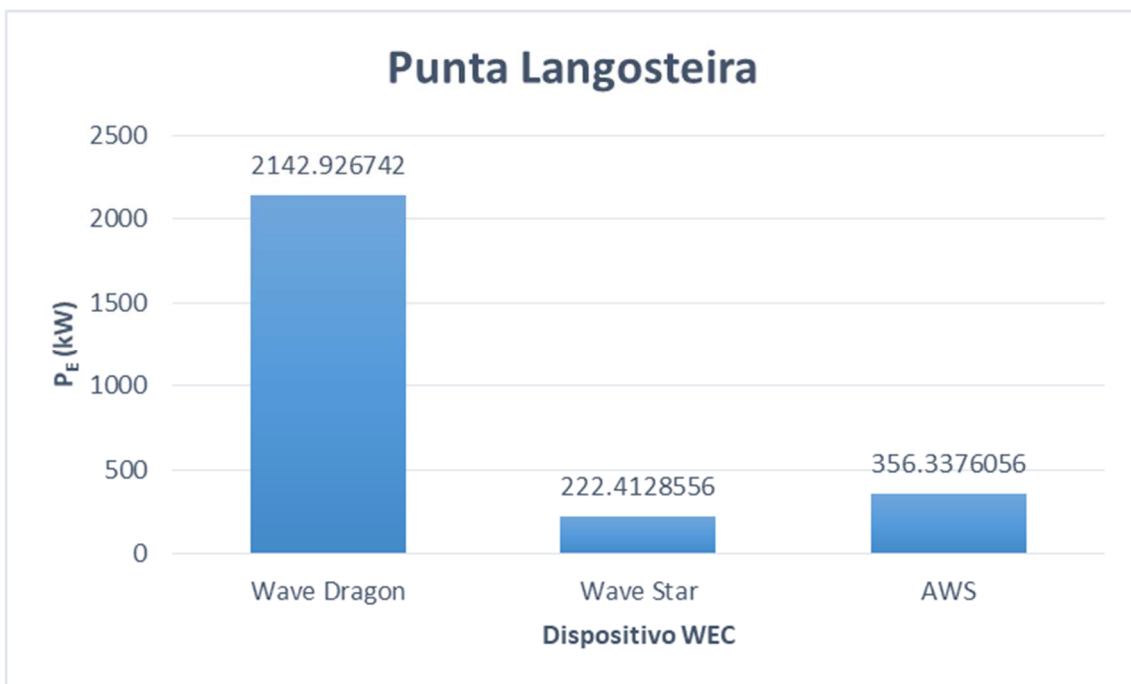


Figura 50. Punta Langosteira. $P_N \geq 2000$ kW. P_E (kW)

Silleiro

En el emplazamiento de Silleiro también se obtiene una eficiencia energética máxima con el dispositivo Wave Dragon, que en este caso generaría 2044.157 kW. Además, en esta ubicación al igual que en Punta Langosteira, se cumple que los tres dispositivos más energéticos son el Wave Dragon, el AWS y el Wave Star (con 2044.157 kW, 319.493 kW y 211.945 kW respectivamente). Sin embargo, los dispositivos con potencia nominal menor que 1000 kW también presentan unos valores de potencia eléctrica considerable. En orden decreciente se tiene a Pelamis con 149.569 kW, a Oceantec con 143.209 kW, a Wavebob con 140.545 kW y finalmente a Aquabuoy con 47.935 kW.



Figura 51. Silleiro. $P_N < 1000$ kW. P_E (kW)

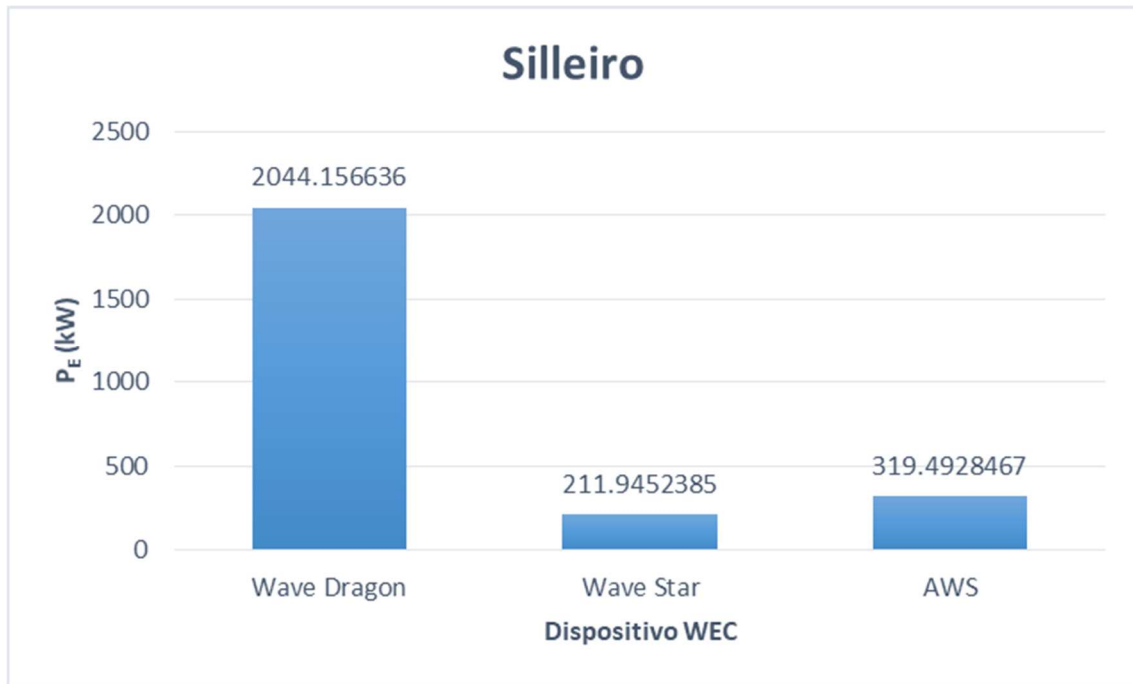


Figura 52. Silleiro. $P_N \geq 2000$ kW. P_E (kW)

Comparativa

Finalmente, se presenta una comparativa de las potencias obtenidas en los tres lugares de estudio. Como se ha explicado anteriormente, el dispositivo óptimo para el aprovechamiento de la energía undimotriz en los tres emplazamientos es el Wave Dragon, ya que es el que presenta una eficiencia mayor. Además, cabe destacar que el lugar con mayor potencial para el desarrollo de este tipo de energía es Punta Langosteira, con una generación de 2142.927 kW, seguido de Silleiro con 2044.157 kW y finalmente de Ferrol con 289.772 kW. Este resultado era de esperar ya que simplemente del análisis de las matrices del oleaje en los tres emplazamientos es evidente que los estados del oleaje de Punta Langosteira y Silleiro son más energéticos que el de Ferrol, ya que presentan unas alturas significativas máximas y periodos energéticos mayores. Es importante remarcar que se ha cumplido lo previsto con el cálculo del índice adimensional de potencia del oleaje, ya que se con los cálculos presentados se confirma que la localización con mayor potencial energético es Punta Langosteira, seguida de Silleiro y de Ferrol.

		FERROL	PUNTA LANGOSTEIRA	SILLEIRO
$P_N < 1000$ kW	Pelamis	2.024401123	160.4412682	149.569418
	Oceantec	24.82021088	142.9441387	143.208596
	Aquabuoy	1.398188364	50.52327523	47.9350417
	Wavebob	4.838345952	159.4781115	140.545035
$P_N \geq 2000$ kW	Wave Dragon	289.7716882	2142.926742	2044.15664
	Wave Star	18.47843703	222.4128556	211.945238
	AWS	7.501714482	356.3376056	319.492847

Tabla 17. Comparativa. P_E (kW)

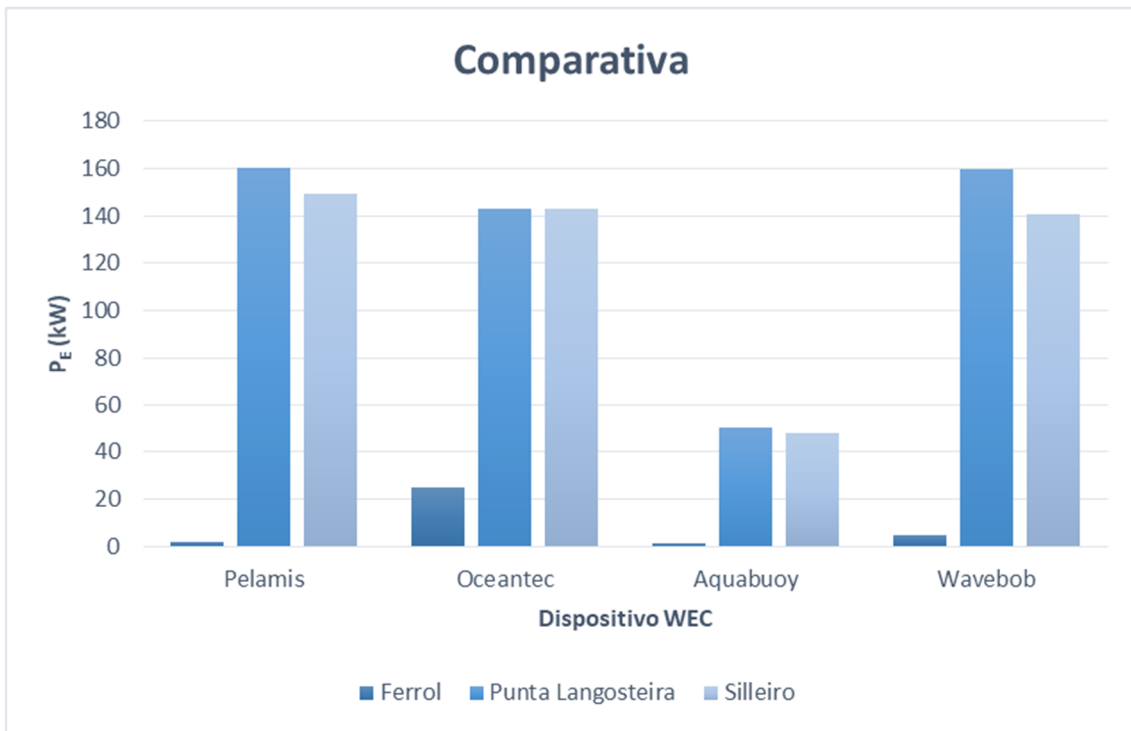


Figura 53. Comparativa. $P_N < 1000$ kW. P_E (kW)

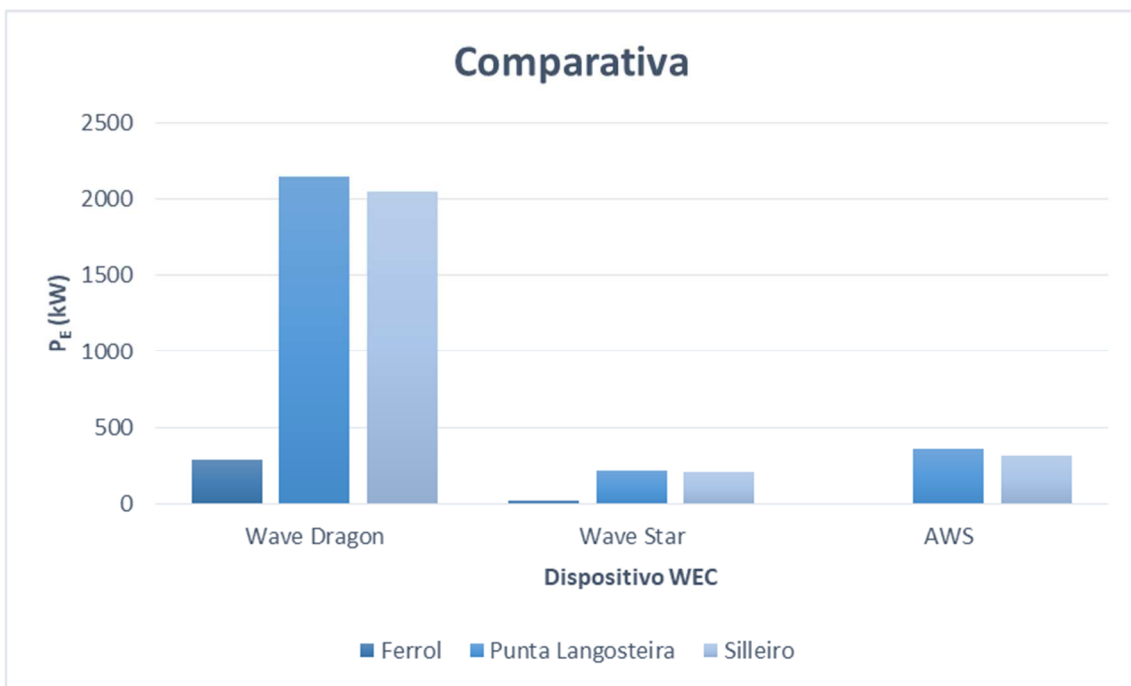


Figura 54. Comparativa. $P_N \geq 2000$ kW. P_E (kW)

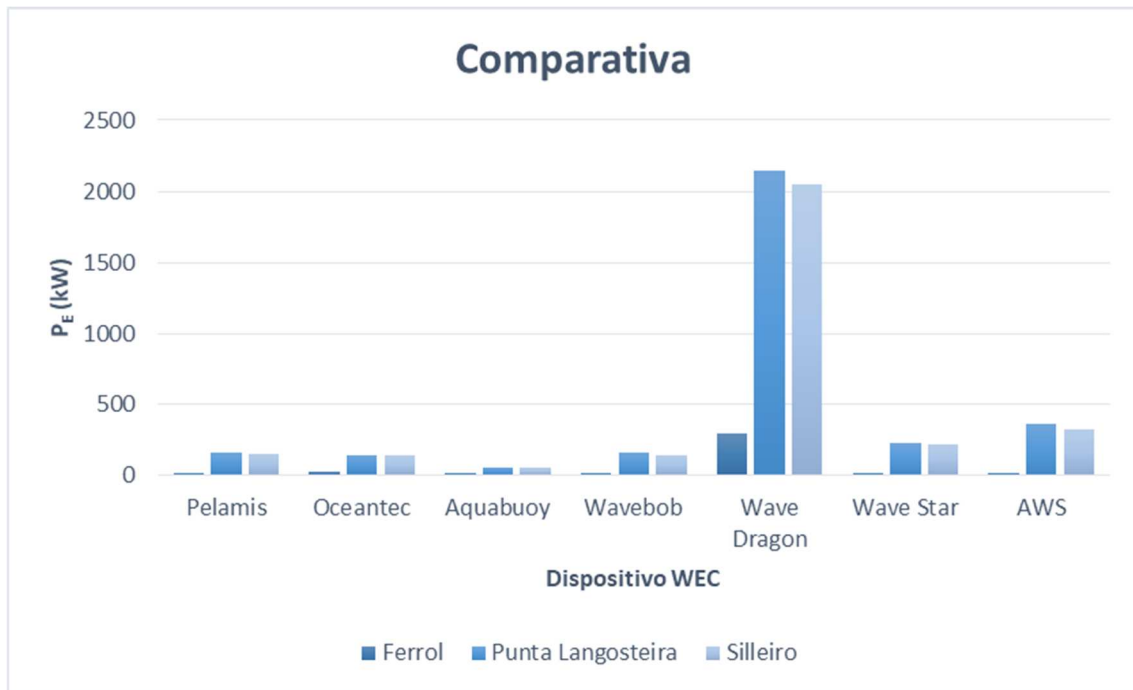


Figura 55. Comparativa global P_E (kW)

ASPECTOS ECONÓMICOS

ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

A la hora de estudiar la rentabilidad de este proyecto nos encontramos con el inconveniente principal de que las tecnologías descritas en el presente trabajo se encuentran todavía en fase de desarrollo, de modo que los valores obtenidos son puramente teóricos.

Muchos de los aparatos estudiados sólo llegan a ser prototipos a escala reducida en proceso de investigación, mientras que otros han alcanzado la etapa de prototipos a escala real. No obstante, entre todos estos diseños no destaca ningún dispositivo con perspectivas más prometedoras que sus competidores debido a que todavía no se ha alcanzado el nivel comercial (pruebas en un parque de olas real).

Por tanto, el aprovechamiento de la energía undimotriz no es rentable a nivel comercial en la actualidad debido a la fase de desarrollo de las tecnologías y a su reducida fiabilidad (inmadurez de los diseños). Los factores que intervienen directamente en el coste de esta tecnología son los siguientes [4]:

- Los dispositivos o prototipos deben probar su eficiencia teórica en el mar obteniéndose resultados contrastables en el tiempo.
- Las horas de funcionamiento reales son menores a las teóricas debido a problemas de mantenimiento.
- La inversión total real excede a la esperada en teoría en la mayoría de los casos.
- Muchos dispositivos WEC no sobreviven en el mar en condiciones reales.

Los costes teóricos actuales de una planta de olas rondan valores entre 3.9 y 6.7 M€/MW [4] con unas horas teóricas de funcionamiento entre 2200 h y 3100 h. Por otra parte, los costes teóricos de la inversión a realizar son muy variables con cada dispositivo, ya que dependen principalmente del dimensionado, capacidad, ubicación del sistema y tecnología de aprovechamiento. Se ha estimado que el coste de la operación estaría entre 30 y 52 M€/MW*año, de los que cerca del 75% se emplearían en mantenimiento y reparaciones del sistema.

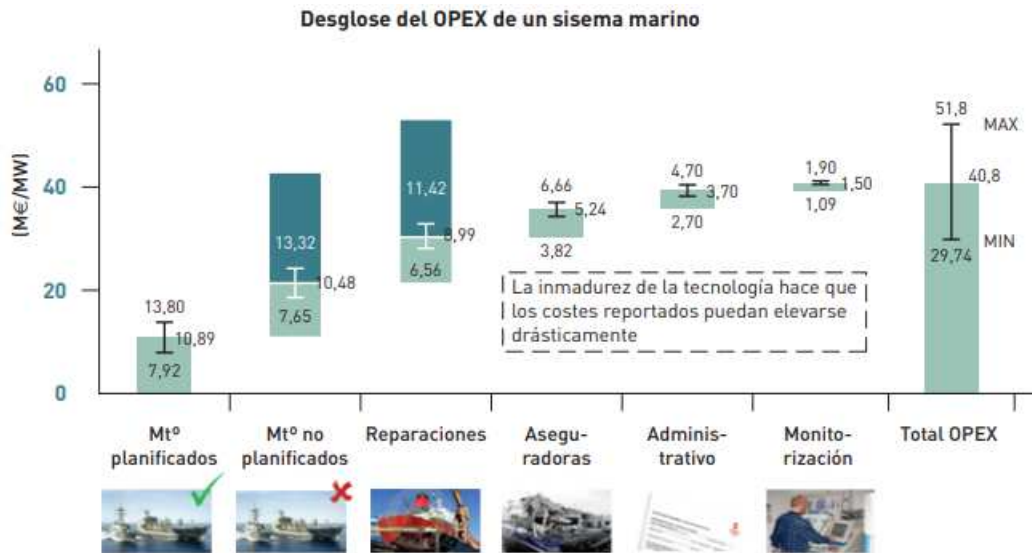


Figura 56. Desglose del OPEX (coste operacional) de un sistema marino [4]

Para posible comercialización de este tipo de energía es imprescindible la reducción de sus costes, que es viable a corto plazo mediante la mejora del diseño conceptual de los dispositivos y la optimización de la ingeniería de detalle, y a largo plazo mediante la experiencia y exploración en el campo. Para que la energía undimotriz resulte competitiva los costes deben estabilizarse en torno a 0.05 €/kW*h, lo que espera conseguirse entre 2025 y 2030 [4].

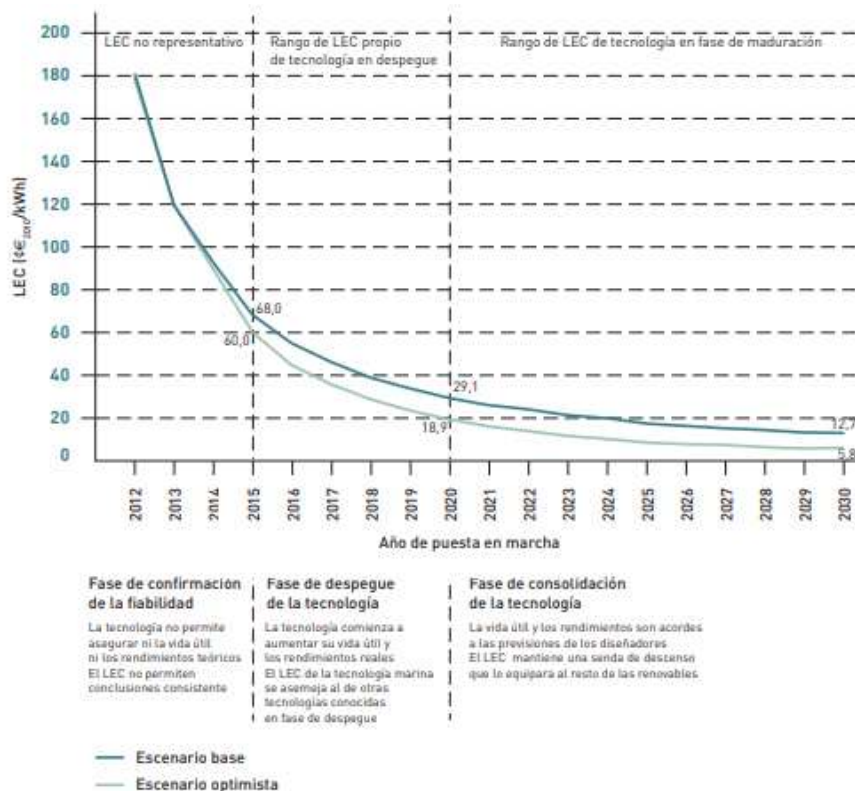


Figura 57. Evolución del coste de la energía undimotriz [4]

CONCLUSIONES

El objeto de este trabajo es el análisis de la viabilidad de la implementación de sistemas WEC para el aprovechamiento de la energía undimotriz en la costa gallega. Para ello, se ha realizado un estudio del potencial energético del oleaje en las ubicaciones seleccionadas para este trabajo a partir del tratamiento de los datos del histórico en dichas ubicaciones. Se puede concluir que el potencial energético del oleaje en la costa gallega es muy elevado, por lo que la selección de esta ubicación para el presente trabajo ha sido acertada. Cabe destacar que la ubicación con mayor potencial energético según el estudio realizado es Punta Langosteira, seguida de Silleiro mientras que en la localización de Ferrol el potencial es considerablemente menor. Por tanto, si se decidiera implementar alguno de los sistemas estudiados en el presente trabajo, el orden de prioridad de elección de ubicación sería Punta Langosteira, Silleiro y finalmente Ferrol.

Por otra parte, una vez se comprueba que el potencial energético es suficiente, se procede a analizar la eficiencia y posible producción de potencia eléctrica de una muestra de dispositivos WEC seleccionados en los emplazamientos de estudio. De dicho análisis se extrae que el dispositivo que generaría la mayor potencia eléctrica y que presenta una potencia máxima es el Wave Dragon. Además, es también este dispositivo el que presenta los valores máximos para el factor de capacidad (C_f) y la anchura de captura (C_w), 36.32% y 77.13 m respectivamente en Punta Langosteira, por lo que se demuestra que es el dispositivo que aprovecharía la energía del oleaje en mayor medida. Sin embargo, como se ha señalado con anterioridad, el Wave Dragon pertenece al grupo de dispositivos con potencia nominal mayor o igual a 2000 kW, por lo que era de esperar que su eficiencia excediera por lo menos a aquella de los dispositivos con potencia nominal menor a 1000 kW. En lo que se refiere a este último grupo, el que presenta mayor eficiencia es el Pelamis con 160.44 kW seguido con muy poca diferencia del Wavebob con 159.48 kW. Sin embargo, en lo que se refiere al factor de capacidad es el dispositivo Oceantec el que presenta el máximo con un 28.59% frente al 21.39% del Pelamis, y con respecto a la anchura de captura sus valores son aproximadamente iguales. Por tanto, como la potencia generada por el Oceantec también es considerable (142.94 kW), en el caso de decantarnos por un dispositivo con potencia nominal menor a 1000 kW el Pelamis o el Oceantec serían los óptimos.

Sin embargo, como se ha explicado en la sección de aspectos económicos, estos proyectos todavía no resultan rentables debido principalmente a que como estamos tratando con tecnologías en la etapa de desarrollo los valores de eficiencia y producción teóricos no son completamente fiables a la hora de que los dispositivos trabajen en condiciones reales. A pesar de esto, las perspectivas para el futuro son optimistas y se espera que este tipo de proyectos sea competitivo a nivel comercial de 2025 a 2030 [4]. Por consiguiente, teniendo en cuenta el elevado potencial del oleaje de la costa gallega, no solo a nivel nacional sino también a nivel global, cuando las tecnologías estudiadas alcancen la madurez tecnológica su implementación en las ubicaciones estudiadas no sólo sería rentable económicamente, sino también muy recomendable para contribuir al crecimiento de la producción y el consumo de energías renovables en España.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] (14 de Julio de 2019). Obtenido de <https://www.boe.es/boe/dias/2017/02/02/pdfs/BOE-A-2017-1066.pdf>
- [2] (14 de Julio de 2019). Obtenido de <https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300>
- [3] *BP Statistical Review of World Energy June 2018*. (14 de Julio de 2019). Obtenido de <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>
- [4] IDAE. (2011). *Plan de Energías Renovables 2011-2020*. Madrid.
- [5] SET Plan steering committee. (2018). *SET-Plan: Ocean Energy Implementation Plan*.
- [6] García Espinosa, J., Arbó Joaquín, F. L., & Canela Mata, A. (2011). Proyecto OWC: Diseño y optimización de una planta de energía undimotriz. *Tesis de Máster, Anexo I*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- [7] Fernández Díez, P. (14 de Julio de 2019). *Energías Alternativas*. Obtenido de <http://files.pfernandezdiez.es/EnergiasAlternativas/mar/PDFs/01Olas.pdf>
- [8] Rusu, L. (2015). Assessment of the performances of various wave energy converters along the European continental coasts. *Energy Elsevier*, Volume 82.
- [9] (14 de Julio de 2019). Obtenido de Puertos del Estado: <http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>
- [10] Suarez-Quijano, E. (2017). Dependencia energética y energía undimotriz en España: el gran potencial del mar. Universidad de Cantabria, Santander.
- [11] Cednán Carracedo, N. (2017). Estudio de la viabilidad de un parque con energía undimotriz en Galicia comparando los diversos convertidores de las olas. *Trabajo de Fin de Grado*. Universidade da Coruña, Coruña.
- [12] (14 de Julio de 2019). Obtenido de Magallanes Renovables: <http://www.magallanesrenovables.com/es/proyecto>
- [13] Drew B., Plummer A.R., Sahinkaya M.N. (2016). *A review of wave energy converter technology. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy* Vol. 223.
- [14] Piré Cortés, P., Suárez González, J. (2018). *Aprovechamiento de la energía undimotriz en la costa asturiana*. Trabajo de Fin de Máster. Escuela Superior de la Marina Civil de Gijón, Universidad de Oviedo. Gijón.
- [15] Falcaño, A. F. (2010). Wave energy utilization: A review of the technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews Elsevier*, Volume 14.
- [16] Ekinberri. (2007). *Desarrollo tecnológico de un sistema de aprovechamiento de la energía de las olas: Oceanec*. Bilbao.

- [17] Basar, M. F., Ab, A., Rahman, A., Din, A., Yahaya, M. S., & Mahmud, Z. (2010). Design and Development of Green Electricity Generation System Using Ocean Surface Wave. *International Conference on Energy and Sustainable Development: Issues and Strategies*.
- [18] Veigas, M., López, M., Romillo, P., Carballo, R., Castro, A., & Iglesias, G. (2015). A proposed wave farm on the Galician coast. *Energy Conversion and Management Elsevier*, Volume 99.
- [19] Kramer M., Marquis L., Frigaard P. (2012). *A review of the Wave Star Prototype*. Department of Civil Engineering, Aalborg University. Aalborg, Denmark.
- [20] Rusu, L. (2017). The performance of some state-of-the-art wave energy converters in locations with the worldwide highest wave power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews Elsevier*.
- [21] Nambiar A., Collin A., Karatzounis S., Rea J., Whitby B., Jeffrey H., Kiprakis A. (2016), *Optimising power transmission options for marine energy converter farms*, International Journal of Marine Energy.
- [22] Rusu, E. (2018). A review of the technologies for wave energy extraction. *Clean Energy Elsevier*, Volume 2.
- [23] Babarit, A., Hals, J., Muliawan, M., Kurniawan, A., Moan, T., & Krokstad, J. (2012). Numerical benchmarking study of a selection of wave energy converters. *Renewable Energy Elsevier*, Volume 41.
- [24] Bozzi, S., Besio, G., & Passoni, G. (2018). Wave power technologies for the Mediterranean offshore: Scaling and performance analysis. *Coastal Engineering Elsevier*, Volume 136.
- [25] Rusu, E. (2016). Estimation of the wave energy conversion efficiency in the Atlantic Ocean close to the European islands. *Renewable Energy Elsevier*, Volume 85.

ANEXO I.- TABLAS

Matrices del oleaje

Ferrol

		Te (s)																				
		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
Hs (m)	0.5	39	0	0	0	5	222	360	551	916	1290	1325	929	560	242	82	22	4	2	3	1	
	1	0	0	0	0	0	0	3	50	106	163	301	392	448	347	177	43	22	9	4	1	
	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6	11	20	28	29	20	6	3	4	1	

Tabla 18. Frecuencias de repetición Ferrol

		Te (s)																				
		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
Hs (m)	0.5	0.4458	0	0	0	0.0571	2.5374	4.1148	6.2979	10.47	14.74	15.145	10.618	6.4007	2.766	0.9372	0.2515	0.0457	0.0229	0.0343	0.011	
	1	0	0	0	0	0	0	0.0343	0.5715	1.2116	1.863	3.4404	4.4805	5.1206	3.9662	2.0231	0.4915	0.2515	0.1029	0.0457	0.011	
	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.023	0.0686	0.1257	0.2286	0.32	0.3315	0.2286	0.0686	0.0343	0.0457	0.011	

Tabla 19. Matriz del oleaje Ferrol

		Te (s)																				
		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
Hs (m)	0.5	0.0613	0.1227	0.184	0.2453	0.3066	0.368	0.4293	0.4906	0.5519	0.613	0.6746	0.7359	0.7972	0.8586	0.9199	0.9812	1.0425	1.1039	1.1652	1.227	
	1	0.2453	0.4906	0.7359	0.9812	1.2265	1.4718	1.7171	1.9624	2.2077	2.453	2.6983	2.9436	3.1889	3.4342	3.6795	3.9248	4.1701	4.4154	4.6607	4.906	
	1.5	0.5519	1.1039	1.6558	2.2077	2.7597	3.3116	3.8635	4.4154	4.9674	5.519	6.0712	6.6232	7.1751	7.727	8.279	8.8309	9.3828	9.9348	10.487	11.04	

Tabla 20. Potencias del oleaje Ferrol

Matrices modificadas para el cálculo de la potencia eléctrica media

Ferrol

Dispositivos con $P_N < 1000$ kW

Pelamis

	Te										
Hs (m)	0	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
0.5	15.14459	10.61836	6.400732	2.76603	0.93725	0.251457	0.04572	0.02286	0.03429	0.01143	
1	3.440393	4.480512	5.120585	3.966168	2.023088	0.491485	0.251457	0.102869	0.04572	0.01143	
1.5	0.068579	0.125729	0.228598	0.320037	0.331466	0.228598	0.068579	0.03429	0.04572	0.01143	

Tabla 27. Pelamis. Matriz del oleaje modificada Ferrol

	Te										
Hs (m)	0	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	2.687155	11.3554	20.02364	25.650118	30.37825	34.36879	35.94484	37.52088	
1.5	10.69188	23.30024	36.03073	49.0331	62.03546	70.475177	77.56738	83.2766	84.45863	85.64066	

Tabla 28. Pelamis. Matriz de potencia modificada Ferrol

Oceantec

	Te (s)									
Hs (m)	0	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
0.5	10.61836	6.400732	2.76603	0.93725	0.251457	0.04572	0.02286	0.03429	0.01143	
1	4.480512	5.120585	3.966168	2.023088	0.491485	0.251457	0.102869	0.04572	0.01143	
1.5	0.125729	0.228598	0.320037	0.331466	0.228598	0.068579	0.03429	0.04572	0.01143	

Tabla 29. Oceantec. Matriz del oleaje modificada Ferrol

	Te (s)									
Hs (m)	0	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
0.5	42.35	43	43.65	36.65	29.65	24.675	19.7	16.175	12.65	
1	84.7	86	87.3	73.3	59.3	49.35	39.4	32.35	25.3	
1.5	190.5	193.3	196.1	164.6	133.1	110.85	88.6	72.7	56.8	

Tabla 30. Oceantec. Matriz de potencia modificada Ferrol

Aquabuoy

	Te (s)											
Hs (m)	0	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
0.5	14.74454	15.14459	10.61836	6.400732	2.76603	0.93725	0.251457	0.04572	0.02286	0.03429	0.01143	
1	1.86307	3.440393	4.480512	5.120585	3.966168	2.023088	0.491485	0.251457	0.102869	0.04572	0.01143	
1.5	0.02286	0.068579	0.125729	0.228598	0.320037	0.331466	0.228598	0.068579	0.03429	0.04572	0.01143	

Tabla 31. Aquabuoy. Matriz del oleaje modificada Ferrol

	Te (s)											
Hs (m)	0	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
	0.5	0	0	0	2	4	4.75	5.5	5.75	6	5.75	5.5
	1	0	0	0	4	8	9.5	11	11.5	12	11.5	11
	1.5	0	6.5	13	15	17	21	25	26	27	26.5	26

Tabla 32. Aquabuoy. Matriz de potencia modificada Ferrol

Wavebob

	Te (s)											
Hs (m)	0	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	
	0.5	15.14459	10.61836	6.400732	2.76603	0.93725	0.251457	0.04572	0.02286	0.03429	0.01143	
	1	3.440393	4.480512	5.120585	3.966168	2.023088	0.491485	0.251457	0.102869	0.04572	0.01143	
	1.5	0.068579	0.125729	0.228598	0.320037	0.331466	0.228598	0.068579	0.03429	0.04572	0.01143	

Tabla 33. Wavebob. Matriz del oleaje modificada Ferrol

	Te (s)											
Hs (m)	0	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	
	0.5	3.835303388	4.820331	5.988574	7.564618	9.140662	10.41253	11.59456	12.7305	13.71552	14.70055	
	1	7.670606777	9.640662	11.97715	15.12924	18.28132	20.82506	23.18913	25.46099	27.43105	29.4011	
	1.5	17.00945626	21.73759	27.19858	34.29078	41.38298	46.65012	51.37825	56.19858	61.32072	66.44287	

Tabla 34. Wavebob. Matriz de potencia modificada Ferrol

Dispositivos con $P_N \geq 2000$ kW

Wave Dragon

	Te (s)													
Hs (m)	0	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
	0.5	6.297863	10.46977	14.74454	15.14459	10.61836	6.400732	2.76603	0.93725	0.251457	0.04572	0.02286	0.03429	0.01143
	1	0.571494	1.211567	1.86307	3.440393	4.480512	5.120585	3.966168	2.023088	0.491485	0.251457	0.102869	0.04572	0.01143
	1.5	0	0	0.02286	0.068579	0.125729	0.228598	0.320037	0.331466	0.228598	0.068579	0.03429	0.04572	0.01143

Tabla 35. Wave Dragon. Matriz del oleaje modificada Ferrol

	Te (s)													
Hs (m)	0	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
	0.5	101.5	138	174	216	258	304	349.5	399	448	462.5	476.5	479	481
	1	203	276	348	432	516	608	699	798	896	925	953	958	962
	1.5	412	448	485	617	750	899	1049	1212	1375	1433	1491	1509	1527

Tabla 36. Wave Dragon. Matriz de potencia modificada Ferrol

Wave Star

	Te (s)													
Hs (m)	0	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
	0.5	6.297863	10.46977	14.74454	15.14459	10.61836	6.400732	2.76603	0.93725	0.251457	0.04572	0.02286	0.03429	0.01143
	1	0.571494	1.211567	1.86307	3.440393	4.480512	5.120585	3.966168	2.023088	0.491485	0.251457	0.102869	0.04572	0.01143
	1.5	0	0	0.02286	0.068579	0.125729	0.228598	0.320037	0.331466	0.228598	0.068579	0.03429	0.04572	0.01143

Tabla 37. Wave Star. Matriz del oleaje modificada Ferrol

		Te (s)													
		0	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
Hs (m)	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	7.452325	26.75887	46.06541	57.01891	66.475177	74.46572	79.19385	83.92199	85.30418	85.69819	85.7234	84.54137	83.35934	
	1.5	66.47124	98.78014	131.089	155.0449	177.50355	194.4657	199.1939	203.922	202.2624	198.7163	194.7092	189.1931	183.6769	

Tabla 38. Wave Star. Matriz de potencia modificada Ferrol

AWS

		Te (s)											
		0	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
Hs (m)	0.5	14.74454	15.14459	10.61836	6.400732	2.76603	0.93725	0.251457	0.04572	0.02286	0.03429	0.01143	
	1	1.86307	3.440393	4.480512	5.120585	3.966168	2.023088	0.491485	0.251457	0.102869	0.04572	0.01143	
	1.5	0.02286	0.068579	0.125729	0.228598	0.320037	0.331466	0.228598	0.068579	0.03429	0.04572	0.01143	

Tabla 39. AWS. Matriz del oleaje modificada Ferrol

		Te (s)											
		0	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
Hs (m)	0.5	1	3.5	6.5	9.5	13	17	20.5	24	29	34	40.5	
	1	2	7	13	19	26	34	41	48	58	68	81	
	1.5	4	15	28	41	56	72	85	99	121	143	173	

Tabla 40. AWS. Matriz de potencia modificada Ferrol

Punta Langosteira

Dispositivos con $P_N < 1000$ kW

Pelamis

		Te (s)																				
		0	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15
Hs (m)	0.5	0.11071053	0.155184	0.23656097	0.25832458	0.17221639	0.12395795	0.04163473	0.0302798	0.01608615	0.00189249	0.00189249	0.00094624	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0.93015774	1.57454982	2.23218932	2.59554698	2.69206385	2.31924376	1.38056983	1.3843548	0.92542652	0.43054097	0.21574361	0.07853824	0.0302798	0.01230117	0.00473122	0.00189249	0.00189249	0	0	0	0
	1.5	0.49299306	1.55373246	2.61636434	2.82548424	3.29198248	3.21817545	2.24449049	2.80182814	2.35803976	1.66065802	1.16293373	0.77686623	0.44378838	0.21952858	0.1078718	0.04163473	0.00851619	0.00473122	0.00094624	0.00094624	0.00094624
	2	0.00094624	0.15329151	0.66804818	1.51304397	2.05808045	2.20758698	1.63889441	2.35614727	2.36939469	2.02117694	1.57360358	1.15725627	0.90744789	0.59045618	0.3794438	0.1854638	0.09178566	0.038796	0.0151399	0.00473122	0
	2.5	0	0	0.00851619	0.13720536	0.49961677	0.93772769	0.96422252	1.56035617	1.6474106	1.57644231	1.51399022	1.28783793	0.99450232	0.79484486	0.52232662	0.31131424	0.16370019	0.09367814	0.04825844	0.02744107	0
	3	0	0	0	0	0.04447346	0.19208751	0.3406478	0.64439209	0.84594203	0.99166359	1.0285671	1.15914876	0.8904155	0.6964355	0.53557404	0.39363746	0.21101239	0.12868917	0.08705444	0.038796	0
	3.5	0	0	0	0	0.00094624	0.01797863	0.04825844	0.19681873	0.38228253	0.56206887	0.6576395	0.70116672	0.67751062	0.59045618	0.47596067	0.36998136	0.30752926	0.17316263	0.10881805	0.0539359	0
	4	0	0	0	0	0	0.00094624	0.00189249	0.04068849	0.13531288	0.26116331	0.32456165	0.37565882	0.40877736	0.38701375	0.37755131	0.30942175	0.22804478	0.1854638	0.11165678	0.05677463	0
	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00662371	0.04825844	0.11733424	0.16843141	0.17505512	0.22520604	0.24886214	0.24223843	0.23372224	0.1854638	0.14950653	0.11828049	0.08421571
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01230117	0.03784976	0.07002205	0.12395795	0.11828049	0.18262507	0.15991522	0.16370019	0.12963541	0.1078718	0.08610819	0.05488215	0
	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00567746	0.01797863	0.04825844	0.06150585	0.09178566	0.10219434	0.08800068	0.08232322	0.06434458	0.04541971	0.05772088	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00662371	0.01703239	0.03974224	0.06150585	0.08326946	0.05677463	0.06434458	0.04825844	0.04258097	0.02744107	0
	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00473122	0.02081737	0.04447346	0.05772088	0.07191454	0.07569951	0.07191454	0.06718332	0.05204341
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00189249	0.00567746	0.01419366	0.01135493	0.0151399	0.01135493	0.02554858
	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00378498	0.00567746	0.00378498	0.00662371	0.0151399	0.01135493
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00094624	0.00189249	0.00378498	0.00283873	0.00473122
	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00094624	0.00094624	0.00662371	0.00378498	0.00094624
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00189249	0.00189249	0.00189249	0	
9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00189249	0.00094624	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00094624	0.00094624	
10.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00094624	

Tabla 41. Pelamis. Matriz del oleaje modificada Punta Langosteira

Dispositivos con P_N ≥ 2000 kW

Wave Dragon

Table with columns for Hs (m) and Te (s) showing a matrix of values for wave conditions from 0 to 14m Hs and 0.5 to 14s Te.

Tabla 49. Wave Dragon. Matriz del oleaje modificada Punta Langosteira

Table with columns for Hs (m) and Te (s) showing a matrix of power values for wave conditions from 0 to 14m Hs and 0.5 to 14s Te.

Tabla 50. Wave Dragon. Matriz de potencia modificada Punta Langosteira

Wave Star

		Te (s)																										
		0	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	
Hs (m)	0.5	0.00189249	0.01419366	0.02838732	0.11071053	0.155184	0.23656097	0.25832458	0.17221639	0.12395795	0.04163473	0.0302798	0.01608615	0.00189249	0.00189249	0.00094624	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	0.00473122	0.04352722	0.36146516	0.93015774	1.57454982	2.23218932	2.59554698	2.69206385	2.31924376	1.38056983	1.3843548	0.92542652	0.43054097	0.21574361	0.07853824	0.0302798	0.01230117	0.00473122	0.00189249	0.00189249	0	0	0	0	0	0	0
	1.5	0	0.00094624	0.03595727	0.49299306	1.55373246	2.61636434	2.82548424	3.29198248	3.21817545	2.24449049	2.80182814	2.35803976	1.66065802	1.16293373	0.77686623	0.44378838	0.21952858	0.1078718	0.04163473	0.00851619	0.00473122	0.00094624	0.00094624	0	0	0	0
	2	0	0	0	0.00094624	0.15329151	0.66804818	1.51304397	2.05808045	2.20758698	1.63889441	2.35614727	2.36939469	2.02117694	1.57360358	1.15725627	0.90744789	0.59045618	0.3794438	0.1854638	0.09178566	0.038796	0.0151399	0.00473122	0.00283873	0	0	0
	2.5	0	0	0	0	0	0	0.00851619	0.13720536	0.49961677	0.93772769	0.96422252	1.56035617	1.6474106	1.57644231	1.51399022	1.28783793	0.99450232	0.79484486	0.52232662	0.31131424	0.16370019	0.09367814	0.04825844	0.02744107	0.01230117	0.00473122	
	3	0	0	0	0	0	0	0	0.04447346	0.19208751	0.3406478	0.64439209	0.84594203	0.99166359	1.0285671	1.15914876	0.8904155	0.6964355	0.53557404	0.39363746	0.21101239	0.12868917	0.08705444	0.038796	0.02081737	0.01135493	0	
	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0.00094624	0.01797863	0.04825844	0.19681873	0.38228253	0.56206887	0.6576395	0.70116672	0.67751062	0.59045618	0.47596067	0.36998136	0.30752926	0.17316263	0.10881805	0.0539359	0.02744107	0.0151399	0	

Tabla 51. Wave Star. Matriz del oleaje modificada Punta Langosteira

		Te (s)																										
		0	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	
Hs (m)	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	7.45232467	26.7588652	46.0654058	57.0189125	66.4751773	74.465721	79.1938534	83.9219858	85.3041765	85.6981875	85.7234043	84.5413712	83.3593381	81.6288416	79.6587864	77.6264775	75.2624113	72.8983452	70.7785658	68.8085106	66.8707644	65.2947203	63.7186761	62.142632	60.5665879	58.9905437	
	1.5	66.4712372	98.7801418	131.089046	155.044917	177.503546	194.465721	199.193853	203.921986	202.262411	198.716312	194.70922	189.193065	183.676911	177.886525	171.976359	166.128448	160.612293	155.096139	150.312845	145.978723	141.676911	137.736801	133.79669	130.070922	126.524823	123.142632	
	2	130.182033	192.829787	255.477541	292.397951	324.706856	347	347	347	339.395587	329.545311	319.41844	308.386131	297.353822	285.047281	274.620961	263.692671	255.41844	247.144208	239.114263	231.234043	223.450749	216.752561	210.054374	203.999212	198.483058	193.524823	189.070922
	2.5	213.630418	313.70922	413.788022	460.073286	496.716312	519.190701	510.128448	501.066194	486.224586	469.676123	452.851064	435.120567	417.390071	401.030733	385.270292	369.821119	356.030733	342.240347	330.892829	321.042553	311.224586	301.768322	292.312057	283.498818	275.224586	267.524823	
	3	313.405831	446.58156	579.757289	600	600	600	600	600	600	594.468085	570.827423	547.186761	524.643026	502.578408	481.385343	464.836879	448.288416	431.495666	414.553191	397.966115	385.357762	372.749409	361.212766	350.574468	340.574468	331.212766	
	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 52. Wave Star. Matriz de potencia modificada Punta Langosteira

AWS

		Te (s)																												
		0	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5								
Hs (m)	0.5	0.00189249	0.11071053	0.155184	0.23656097	0.25832458	0.17221639	0.12395795	0.04163473	0.0302798	0.01608615	0.00189249	0.00189249	0.00094624	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	1	0.36146516	0.93015774	1.57454982	2.23218932	2.59554698	2.69206385	2.31924376	1.38056983	1.3843548	0.92542652	0.43054097	0.21574361	0.07853824	0.0302798	0.01230117	0.00473122	0.00189249	0.00189249	0	0	0	0	0	0	0	0			
	1.5	0.03595727	0.49299306	1.55373246	2.61636434	2.82548424	3.29198248	3.21817545	2.24449049	2.80182814	2.35803976	1.66065802	1.16293373	0.77686623	0.44378838	0.21952858	0.1078718	0.04163473	0.00851619	0.00473122	0.00094624	0.00094624	0	0	0	0	0	0		
	2	0	0.00094624	0.15329151	0.66804818	1.51304397	2.05808045	2.20758698	1.63889441	2.35614727	2.36939469	2.02117694	1.57360358	1.15725627	0.90744789	0.59045618	0.3794438	0.1854638	0.09178566	0.038796	0.0151399	0.00473122	0.00283873	0	0	0	0	0		
	2.5	0	0	0	0.00851619	0.13720536	0.49961677	0.93772769	0.96422252	1.56035617	1.6474106	1.57644231	1.51399022	1.28783793	0.99450232	0.79484486	0.52232662	0.31131424	0.16370019	0.09367814	0.04825844	0.02744107	0.01230117	0.00473122	0.00283873	0	0	0		
	3	0	0	0	0	0	0	0.04447346	0.19208751	0.3406478	0.64439209	0.84594203	0.99166359	1.0285671	1.15914876	0.8904155	0.6964355	0.53557404	0.39363746	0.21101239	0.12868917	0.08705444	0.038796	0.02081737	0.01135493	0	0	0		
	3.5	0	0	0	0	0	0	0.00094624	0.01797863	0.04825844	0.19681873	0.38228253	0.56206887	0.6576395	0.70116672	0.67751062	0.59045618	0.47596067	0.36998136	0.30752926	0.17316263	0.10881805	0.0539359	0.02744107	0.0151399	0	0	0		
	4	0	0	0	0	0	0	0	0.00094624	0.01797863	0.04825844	0.19681873	0.38228253	0.56206887	0.6576395	0.70116672	0.67751062	0.59045618	0.47596067	0.36998136	0.30752926	0.17316263	0.10881805	0.0539359	0.02744107	0.0151399	0	0	0	
	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00662371	0.04825844	0.11733424	0.16843141	0.17505512	0.22520604	0.24886214	0.24223843	0.23372224	0.1854638	0.14950653	0.11828049	0.08610819	0.0615085	0.04541971	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01230117	0.03784976	0.07002205	0.12395795	0.11828049	0.18262507	0.15991522	0.16370019	0.12963541	0.1078718	0.08610819	0.0615085	0.04541971	0	0	0	
	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00567746	0.01797863	0.04825844	0.11733424	0.16843141	0.17505512	0.22520604	0.24886214	0.24223843	0.23372224	0.1854638	0.14950653	0.11828049	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00662371	0.01703239	0.03974224	0.06150585	0.08326946	0.05677463	0.06434458	0.04825844	0.04258097	0	0	0	0	0	
6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00473122	0.02081737	0.04447346	0.05772088	0.07191454	0.07569951	0.07191454	0.06718332	0	0	0	0	0		

Tabla 53. AWS. Matriz del oleaje modificada Punta Langosteira

		Te (s)																				
		0	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5
Hs (m)	0.5	1	3.5	6.5	9.5	13	17	20.5	24	29	34	40.5	46.5	52.5	59	65.5	72	76.5	81.5	86.5	91.5	101.5
	1	2	7	13	19	26	34	41	48	58	68	81	93	105	118	131	144	153	163	183	203	230
	1.5	4	15	28	41	56	72	85	99	121	143	173	203	226	248	266	185	309	334	357	380	420
	2	8	26	49	73	100	127	150	172	210	247	292	337	366	395	418	442	482	523	543	563	613
	2.5	15	43	78	113	159	205	234	263	320	376	438	499	531	563	603	643	675	708	741	774	834
	3	25	61	111	161	227	293	339	386	453	521	600	680	722	765	827	888	897	906	945	984	1054
	3.5	35	92	155	218	305	391	454	517	605	694	772	851	913	975	1036	1096	1119	1141	1163	1185	1255
	4	35	114	194	273	380	486	572	659	776	894	961	1027	1103	1179	1227	1275	1316	1357	1365	1374	1444
	4.5	0	0	235	332	479	626	722	819	957	1096	1168	1240	1320	1401	1449	1497	1547	1598	1590	1583	1653
	5	0	0	280	400	592	784	899	1014	1144	1274	1380	1487	1569	1651	1691	1731	1785	1838	1807	1777	1847
	5.5	0	0	320	432	641	849	1033	1216	1331	1446	1568	1690	1778	1867	1919	1970	1977	1984	1994	2005	2075
	6	0	0	0	0	680	944	1155	1367	1495	1623	1759	1895	1936	2072	2137	2202	2205	2207	2226	2246	2316
	6.5	0	0	0	0	720	1123	1335	1547	1678	1809	1936	2116	2200	2284	2332	2380	2425	2470	2452	2434	2504

Tabla 54. AWS. Matriz de potencia modificada Punta Langosteira

Silleiro

Dispositivos con $P_N < 1000$ kW

Pelamis

		Te (s)																				
		0	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15
Hs (m)	0.5	0.19695763	0.26400704	0.32770398	0.36122868	0.31680845	0.12990823	0.04442023	0.03436282	0.00670494	0.00251435	0.00083812	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	2.00310104	2.65767087	2.90323932	2.96358379	2.91748732	2.36181536	1.41474249	1.46502954	1.07614298	0.62607384	0.36877174	0.17684281	0.06118258	0.01843859	0.00502871	0	0	0	0	0	0
	1.5	0.96132087	2.17491514	2.71382475	2.80601768	3.10187319	3.02644261	2.12378997	2.49339982	2.09445585	1.59409965	1.18761262	0.86326112	0.63026443	0.35619997	0.16259481	0.07123999	0.01173365	0.00586682	0.00419059	0.00167624	0
	2	0.01340988	0.20785316	0.67636089	1.17336462	1.61421447	1.9679001	1.4817919	2.08356032	1.91342245	1.66366341	1.37535096	1.08452416	0.86912794	0.60176843	0.42324938	0.26652139	0.1475087	0.06956376	0.02765788	0.01257176	0
	2.5	0	0.00083812	0.06118258	0.23383481	0.57913925	0.90851947	0.75346771	1.31668273	1.3820559	1.30913967	1.30997779	1.14989733	0.88086158	0.68055148	0.46096467	0.33608515	0.21371998	0.1332607	0.05447764	0.02681976	0
	3	0	0	0.00083812	0.02681976	0.11566023	0.32686586	0.40481079	0.75179148	0.99819805	1.0007124	0.91773876	0.89259523	0.72664795	0.57075808	0.37212421	0.27993127	0.16846164	0.10644093	0.05950635	0.04022964	0
	3.5	0	0	0	0.00083812	0.02179106	0.10560282	0.15672799	0.3620668	0.53555714	0.64535054	0.61769266	0.64618866	0.55902443	0.46264091	0.31513221	0.23048234	0.16175669	0.12823199	0.07962117	0.02933412	0
	4	0	0	0	0	0	0.01005741	0.02598165	0.08045929	0.23467292	0.3528475	0.40900138	0.42157315	0.38218162	0.32770398	0.24556845	0.20869128	0.13996564	0.06537317	0.05196329	0.02933412	0
	4.5	0	0	0	0	0	0.00083812	0.00251435	0.02933412	0.06704941	0.12990823	0.20114822	0.25814022	0.25478775	0.22964422	0.18438587	0.16175669	0.1097934	0.06453505	0.0477727	0.0192767	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0.00251435	0.0192767	0.03855341	0.08297364	0.15002305	0.18522399	0.19192893	0.16343293	0.10644093	0.08800235	0.05112517	0.04190588	0.02011482	0
	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00167624	0.00670494	0.03101035	0.06788752	0.08464988	0.11482211	0.08800235	0.09805976	0.05112517	0.04358211	0.02765788	0.02095294	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00754306	0.02430541	0.05112517	0.05615388	0.05950635	0.04609647	0.04190588	0.028496	0.028496	0.028496	0.01592423	0
	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00083812	0.00167624	0.01173365	0.03184847	0.02765788	0.02933412	0.02011482	0.02095294	0.014248	0.01257176	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00251435	0.01592423	0.01005741	0.02011482	0.02095294	0.01089553	0.00754306	0.00419059
	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00335247	0.00167624	0.00754306	0.00921929	0.00586682	0.00335247	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00083812	0.00167624	0.00251435	0.00670494	0.00754306	0.00502871
	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00167624	0.00251435	0.00251435	0.00335247	0.00083812
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00083812	0.00251435	0.00167624	

Tabla 55. Pelamis. Matriz del oleaje modificada Silleiro

		Te (s)																					
		0	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	
Hs (m)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	0	0	2.68715524	11.355398	20.0236407	25.6501182	30.3782506	34.3687943	35.9448385	37.5208826	37.7257683	37.3317573	36.6887313	34.7186761	32.748621	30.534279	28.1702128	25.1599685	14.9156816	4.6713948		
	1.5	10.6918834	23.3002364	36.0307329	49.0330969	62.035461	70.4751773	77.5673759	83.2765957	84.4586288	85.6406619	83.8061466	80.6540583	77.1907013	72.0685579	66.9464145	62.0685579	57.3404255	52.3538219	44.4736013	36.5933806		
	2	19.0449173	41.5035461	64.0843184	86.9369582	109.789598	125.037825	138.040189	148.368794	149.944838	151.520883	148.160757	142.644602	136.630418	127.962175	119.293932	110.381403	101.319149	91.9014972	78.5051221	65.108747		
	2.5	29.7368006	64.8037825	100.115051	135.970055	171.825059	195.513002	215.607565	231.64539	234.403467	237.161545	231.966903	223.29866	213.821119	200.030733	186.240347	172.449961	158.659574	144.255319	122.978723	101.702128		
	3	43.1016548	93.929078	145.000788	196.616233	248.231678	281.900709	310.269504	332	332	332	321.030733	305.270292	288.762805	268.274232	247.785658	232.671395	220.851064	207.479905	176.747045	146.014184		
	3.5	0	0	43.2387707	182.718676	322.198582	379.550827	412.647754	436.70922	431.193065	425.676911	411.111111	392.592593	373.825059	353.730496	333.635934	309.877069	283.87234	257.415288	225.894405	194.373522		
	4	0	0	56.43026	238.463357	420.496454	485.725768	516.458629	539.078014	535.137904	531.197794	514.917258	493.246651	469.334909	433.479905	397.624901	373.007092	355.276596	334.929078	285.283688	235.638298		
	4.5	0	0	66.4460205	280.788022	495.130024	573.809299	612.42238	640.70922	635.193065	629.676911	609.900709	583.895981	556.459417	521.392435	486.325453	450.769898	414.914894	378.252167	332.546887	286.841608		
	5	0	0	0	0	0	220.832151	506.884161	724.248227	716.762017	709.275808	696.853428	682.27502	662.965327	618.44208	573.918834	536.235619	502.744681	467.347518	410.609929	353.87234		
	5.5	0	0	0	0	0	228.132388	523.640662	750	750	750	746.434988	741.312845	732.081954	700.955083	669.828211	626.731284	576.297872	524.345942	455.394011	386.44208		
	6	0	0	0	0	0	228.132388	523.640662	750	750	750	750	750	747.572104	732.205674	716.839243	688.525611	652.276596	612.408983	532.030733	451.652482		
	6.5	0	0	0	0	0	228.132388	523.640662	750	750	750	750	750	750	750	750	727.525611	691.276596	652.281324	582.541371	512.801418		
	7	0	0	0	0	0	0	0	69.1489362	364.65721	660.165485	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750		
	7.5	0	0	0	0	0	0	0	69.1489362	364.65721	660.165485	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750		
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	205.673759	501.182033	750	750	750	750	750	750	750		
	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46.6903073	342.198582	637.706856	750	750	750	750		
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	183.21513	478.723404	750	750	750	

Tabla 56. Pelamis. Matriz de potencia modificada Silleiro

Oceantec

		Te (s)																											
		0	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	17.5	18		
Hs (m)	1	2.65767087	2.90323932	2.96358379	2.91748732	2.36181536	1.41474249	1.46502954	1.07614298	0.62607384	0.36877174	0.17684281	0.06118258	0.01843859	0.00502871	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1.5	2.17491514	2.71382475	2.80601768	3.10187319	3.02644261	2.12378997	2.49339982	2.09445585	1.59409965	1.18761262	0.86326112	0.63026443	0.35619997	0.16259481	0.07123999	0.01173365	0.00586682	0.00419059	0.00167624	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0.20785316	0.67636089	1.17336462	1.61421447	1.9679001	1.4817919	2.08356032	1.91342245	1.66366341	1.37535096	1.08452416	0.86912794	0.60176843	0.42324938	0.26652139	0.1475087	0.06956376	0.02765788	0.01257176	0.00419059	0	0.00083812	0	0	0	0	0	0
	2.5	0.00083812	0.06118258	0.23834481	0.57913925	0.90851947	0.75346771	1.31668273	1.3820559	1.30913967	1.30997779	1.14989733	0.88086158	0.68055148	0.46096467	0.33608515	0.21371998	0.1332607	0.05447764	0.02681976	0.0192767	0.00167624	0	0.00083812	0	0	0	0	0
	3	0	0.00083812	0.02681976	0.11566023	0.32686586	0.40481079	0.75179148	0.99819805	1.0007124	0.91773876	0.89259523	0.72664795	0.57075808	0.37212421	0.27993127	0.16846164	0.10644093	0.05950635	0.04022964	0.02011482	0.0167624	0.00921929	0.00251435	0.00167624	0	0	0	0
	3.5	0	0	0.00083812	0.02179106	0.10560282	0.15672799	0.3620668	0.53555714	0.64535054	0.61769266	0.64618866	0.55902443	0.46264091	0.31513221	0.23048234	0.16175669	0.12823199	0.07962117	0.02933412	0.02011482	0.00921929	0.00670494	0.00335247	0.00502871	0.00251435	0.00167624	0	0
	4	0	0	0	0	0.01005741	0.02598165	0.08045929	0.23467292	0.3528475	0.40900138	0.42157315	0.38218162	0.32770398	0.24556845	0.2089128	0.13996564	0.06537317	0.05196329	0.02933412	0.01340988	0.01173365	0.00502871	0.00251435	0.00167624	0.00083812	0.00167624	0	0
	4.5	0	0	0	0	0.00083812	0.00251435	0.02933412	0.06704941	0.12990823	0.20114822	0.25814022	0.25478775	0.22964422	0.18438587	0.16175669	0.1097934	0.06453505	0.0477727	0.0192767	0.01173365	0.00670494	0.00167624	0.00083812	0.00083812	0.00167624	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0.00251435	0.0192767	0.03855341	0.08297364	0.15002305	0.18522399	0.19192893	0.16343293	0.10644093	0.08800235	0.05112517	0.04190588	0.02011482	0.01592423	0.00586682	0.00586682	0.00502871	0.00251435	0.00083812	0.00167624	0	0	0
	5.5	0	0	0	0	0	0	0.00167624	0.00670494	0.03101035	0.06788752	0.08464988	0.11482211	0.08800235	0.09805976	0.05112517	0.04358211	0.02765788	0.02095294	0.014248	0.01089553	0.00419059	0.00335247	0.00167624	0.00167624	0	0	0	0

Tabla 57. Oceantec. Matriz del oleaje modificada Silleiro

		Te (s)																									
		0	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	17.5	18
Hs (m)	0	84.7	86	87.3	73.3	59.3	49.35	39.4	32.35	25.3	20.7	16.1	13.25	10.4	8.6	6.8	5.65	4.5	3.8	3.1	2.65	2.2	1.85	1.5	1.3	1.1	
	1	190.5	193.3	196.1	164.6	133.1	110.85	88.6	72.7	56.8	46.5	36.2	29.75	23.3	19.3	15.3	12.75	10.2	8.6	7	5.9	4.8	4.1	3.4	2.95	2.5	
	2	338.5	343.25	348	291.05	234.1	195.8	157.5	129.2	100.9	82.65	64.4	52.9	41.4	34.25	27.1	22.6	18.1	15.25	12.4	10.5	8.6	7.35	6.1	5.25	4.4	
	2.5	500	500	500	431.95	363.9	304.55	245.2	201.5	157.8	129.15	100.5	82.6	64.7	53.55	42.4	35.35	28.3	23.8	19.3	16.35	13.4	11.45	9.5	8.2	6.9	
	3	500	500	500	500	418.65	337.3	282.4	227.5	186	144.5	118.8	93.1	77.05	61	50.9	40.8	34.3	27.8	23.55	19.3	16.5	13.7	11.8	9.9	8.9	
	3.5	500	500	500	500	500	459.75	419.5	364.35	309.2	252.85	196.5	161.6	126.7	104.9	83.1	69.25	55.4	46.6	37.8	32.05	26.3	22.45	18.6	16	13.4	
	4	500	500	500	500	500	500	450.7	401.4	329.75	258.1	212.05	166	137.25	108.5	90.45	72.4	60.85	49.3	41.8	34.3	29.3	24.3	20.9	17.5	15	
	4.5	500	500	500	500	500	500	500	500	500	413.2	326.4	268.35	210.3	173.9	137.5	114.6	91.7	77.05	62.4	52.9	43.4	37.05	30.7	26.4	22.1	
	5	500	500	500	500	500	500	500	500	500	441.5	383	321.1	259.2	214.55	169.9	141.55	113.2	95.1	77	65.25	53.5	45.7	37.9	32.6	27.3	
	5.5	500	500	500	500	500	500	500	500	500	444.65	389.3	348.4	307.5	256.15	204.8	170.85	136.9	115.05	93.2	78.95	64.7	55.25	45.8	39.4	33	

Tabla 58. Oceaotec. Matriz de potencia modificada Silleiro

Aquabuoy

		Te (s)																									
		0	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17
Hs (m)	0	0.10141223	0.19695763	0.26400704	0.32770398	0.36122868	0.31680845	0.12990823	0.04442023	0.03436282	0.00670494	0.00251435	0.00083812	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	0.70653313	2.00310104	2.65767087	2.90323932	2.96358379	2.91748732	2.36181536	1.41474249	1.46502954	1.07614298	0.62607384	0.36877174	0.17684281	0.06118258	0.01843859	0.00502871	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0.08716423	0.96132087	2.17491514	2.71382475	2.80601768	3.10187319	3.02644261	2.12378997	2.49339982	2.09445585	1.59409965	1.18761262	0.86326112	0.63026443	0.35619997	0.16259481	0.07123999	0.01173365	0.00586682	0.00419059	0.00167624	0	0	0	0	0
	2	0	0.01340988	0.20785316	0.67636089	1.17336462	1.61421447	1.9679001	1.4817919	2.08356032	1.91342245	1.66366341	1.37535096	1.08452416	0.86912794	0.60176843	0.42324938	0.26652139	0.1475087	0.06956376	0.02765788	0.01257176	0.00419059	0	0	0	0
	2.5	0	0	0.00083812	0.06118258	0.23383481	0.57913925	0.90851947	0.75346771	1.31668273	1.3820559	1.30913967	1.30997779	1.14989733	0.88086158	0.68055148	0.46096467	0.33608515	0.21371998	0.1332607	0.05447764	0.02681976	0.0192767	0.00167624	0.00167624	0	0
	3	0	0	0	0.00083812	0.02681976	0.11566023	0.32686586	0.40481079	0.75179148	0.99819805	1.0007124	0.91773876	0.89259523	0.72664795	0.57075808	0.37212421	0.27993127	0.16846164	0.10644093	0.05950635	0.04022964	0.02011482	0.01676235	0.00921929	0.00251435	0
	3.5	0	0	0	0	0.00083812	0.02179106	0.10560282	0.15672799	0.3620668	0.53555714	0.64535054	0.61769266	0.64618866	0.55902443	0.46264091	0.31513221	0.23048234	0.16175669	0.12823199	0.07962117	0.02933412	0.02011482	0.00921929	0.00670494	0.00335247	0
	4	0	0	0	0	0	0	0.01005741	0.02598165	0.08045929	0.23467292	0.3528475	0.40900138	0.42157315	0.38218162	0.32770398	0.24556845	0.20869128	0.13996564	0.06537317	0.05196329	0.02933412	0.01340988	0.01173365	0.00502871	0.00251435	0
	4.5	0	0	0	0	0	0	0.00083812	0.00251435	0.02933412	0.06704941	0.12990823	0.20114822	0.25814022	0.25478775	0.22964422	0.18438587	0.16175669	0.1097934	0.06453505	0.0477727	0.0192767	0.01173365	0.00670494	0.00167624	0.00083812	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00251435	0.0192767	0.03855341	0.08297364	0.15002305	0.18522399	0.19192893	0.16343293	0.10644093	0.08800235	0.05112517	0.04190588	0.02011482	0.01592423	0.00586682	0.00586682	0.00502871	0
5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00167624	0.00670494	0.03101035	0.06788752	0.08464988	0.11482211	0.08800235	0.09805976	0.05112517	0.04358211	0.02765788	0.02095294	0.014248	0.01089553	0.00419059	0.00335247	0	0	

Tabla 59. Aquabuoy. Matriz del oleaje modificada Silleiro

		Te (s)																										
		0	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	
Hs (m)	0	0	0	0	0	2	4	4.75	5.5	5.75	6	5.75	5.5	5.25	5	4.5	4	3.75	3.5	1.75	0	0	0	0	0	0	0	
	1	0	0	0	0	4	8	9.5	11	11.5	12	11.5	11	10.5	10	9	8	7.5	7	3.5	0	0	0	0	0	0	0	
	1.5	0	6.5	13	15	17	21	25	26	27	26.5	26	24.5	23	21	19	17	15	13.5	12	12	12	12	12	12	9.5	7	
	2	0	12	24	27	30	37	44	46.5	49	48	47	44	41	37.5	34	31	28	25.5	23	23	23	23	23	23	23	17.5	12
	2.5	0	18.5	37	42	47	58	69	73	77	75	73	68.5	64	59	54	48.5	43	39.5	36	36	36	36	36	36	36	27.5	19
	3	0	27	54	61	68	83.5	99	105	111	108.5	106	99	92	84.5	77	70	63	57	51	51	51	51	51	51	51	39	27
	3.5	0	0	0	0	46.5	93	114	135	143.5	152	148	144	135	126	115.5	105	95.5	86	78	70	70	70	70	70	70	54	38
	4	0	0	0	0	0	61	122	149	176	187	198	193	188	176	164	150.5	137	114	91	91	91	91	91	91	91	70	49
	4.5	0	0	0	0	0	111.5	223	236.5	250	244.5	239	223.5	208	191	174	158	142	128.5	115	115	115	115	115	115	115	88.5	62
	5	0	0	0	0	0	125	250	250	250	250	250	250	250	250	250	232	214	194.5	175	158.5	142	142	142	142	142	109.5	77
5.5	0	0	0	0	0	125	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	230.5	211	191.5	172	172	172	172	172	132	92	

Tabla 60. Aquabuoy. Matriz de potencia modificada Silleiro

Wavebob

Hs (m)	Te (s)																																	
	0	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	17.5	18	18.5	19	19.5	20			
0.5	0.19695763	0.26400704	0.32770398	0.36122868	0.31680845	0.12990823	0.04442023	0.03436282	0.00670494	0.00251435	0.00083812	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
1	2.00310104	2.65767087	2.90329932	2.96388379	2.91788732	2.36181536	1.41474249	1.46502954	1.07614298	0.62607384	0.36877174	0.17684281	0.06118258	0.01843859	0.00502871	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
1.5	0.96132087	2.17491514	2.71382475	2.80601768	3.10187319	3.02644261	2.12378997	2.49339982	2.09445585	1.59409965	1.18761262	0.86326112	0.63026442	0.35619997	0.16259481	0.07123999	0.01173365	0.00586682	0.00419059	0.00167624	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2	0.01340988	0.20785316	0.67636085	1.17336462	1.64421447	1.9679001	1.4817919	2.08356632	1.93432285	1.66366341	1.37539796	1.08452416	0.86912794	0.60176843	0.42324638	0.26652139	0.1475087	0.08956376	0.02765788	0.01257176	0.00419059	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2.5	0	0.00083812	0.06118258	0.23383481	0.57913925	0.9851947	0.75346771	1.31668273	1.3820559	1.3097779	1.14989733	0.88086158	0.68055148	0.46096467	0.33608515	0.21371998	0.1332807	0.05447764	0.02681976	0.0192767	0.00167624	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
3	0	0	0.00083812	0.02881976	0.11566023	0.32686586	0.40481079	0.75179148	0.98819805	1.0007124	0.91737876	0.8925923	0.72664795	0.57079808	0.37211421	0.27993127	0.16846164	0.10644093	0.05950525	0.04023964	0.02011482	0.0167624	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
3.5	0	0	0	0.00083812	0.02179106	0.10560282	0.15627299	0.3620668	0.53555714	0.64535054	0.61769266	0.64618866	0.55902443	0.46264091	0.31513221	0.23048234	0.16175669	0.12823199	0.07962117	0.02933412	0.02011482	0.00921929	0.00670494	0.00335247	0.00502871	0.00167624	0.00083812	0	0	0	0	0		
4	0	0	0	0	0	0	0.01005741	0.02598165	0.08045929	0.23467292	0.3528475	0.40900138	0.42157315	0.38218162	0.32770398	0.24556845	0.20869128	0.13996564	0.06537317	0.05196329	0.02933412	0.01340988	0.01173365	0.00502871	0.00251435	0.00167624	0.00083812	0	0	0	0	0		
4.5	0	0	0	0	0	0	0.00083812	0.00251435	0.02933412	0.07604941	0.12990823	0.20114822	0.25814022	0.25478775	0.22964422	0.18438587	0.16175669	0.10979394	0.06453505	0.0477727	0.0192767	0.01173365	0.00670494	0.00167624	0.00083812	0.00083812	0.00167624	0.00083812	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0.00251435	0.0192767	0.03855341	0.08297364	0.15002305	0.18522399	0.19192893	0.16343293	0.10644093	0.08800235	0.05112517	0.04190599	0.02011482	0.01592423	0.00586682	0.00502871	0.00251435	0.00083812	0	0	0	0	0	0	0	0	
5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00167624	0.00670494	0.03101035	0.06788752	0.08464988	0.11482211	0.08800235	0.09805976	0.05112517	0.04358211	0.02765788	0.02095294	0.014248	0.01089553	0.00419059	0.00335247	0.00167624	0.00167624	0.00167624	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00754306	0.02430541	0.05112517	0.05615388	0.05950635	0.04609647	0.04190588	0.028496	0.02095294	0.01592423	0.00670494	0.00167624	0.00167624	0.00167624	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00083812	0.01173365	0.03184847	0.02765788	0.02933412	0.02011482	0.02095294	0.014248	0.01257176	0.00754306	0.00838118	0.00251435	0	0	0.00083812	0.00335247	0.00167624	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00251435	0.01592423	0.01005741	0.02011482	0.02095294	0.01089553	0.00754306	0.00419059	0.00419059	0.00083812	0.00251435	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabla 61. Wavebob. Matriz del oleaje modificada Silleiro

Hs (m)	Te (s)																														
	0	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	17.5	18	18.5	19	19.5	20
0.5	3.83530339	4.82033097	5.98857368	7.56461781	9.14066194	10.4125296	11.5945626	12.7304965	13.715524	14.7005516	16.9196217	19.677699	22.1867612	23.3687943	24.5508274	25.3664303	25.9574468	26.3546099	24.5815603	22.8085106	20.92829	18.9582348	16.9858156	14.6217494	12.2576832	10.8156028	10.4219158	10.0275808	9.45035461	8.85933806	
1	7.67060678	9.64066194	11.9771474	15.1292356	18.2813239	20.8250591	23.1891253	25.4609929	27.4310481	29.4011032	33.8392435	39.355398	44.7375887	49.1016548	50.7328605	51.9148936	52.7092199	49.1631206	45.6170213	41.85658	37.9164697	33.9716312	29.2434988	24.5153664	21.6312057	20.8431836	20.0551615	18.9007092	17.7186761		
1.5	17.0094563	21.737887	27.1985816	34.2907801	41.3829787	46.6501182	51.3782506	56.1985816	61.320725	66.4428684	74.033969	82.701396	90.7470449	95.4751773	100.20331	99.5571316	95.6170213	91.9676911	91.5736801	91.179669	85.64145	75.7911742	65.9976359	65.6036249	65.2096139	61.3120567	53.4338361	45.5516154	42.0665579	38.9164697	
2	31.0165485	39.2907801	47.4428684	55.323089	63.2033097	75.6461781	89.4365642	101.93617	110.210402	118.484634	129.775414	142.383767	154.369582	163.037825	171.700608	169.137116	159.680851	150.36042	138.636722	127.210402	122.857368	124.434312	125.907801	110.541371	95.1749409	82.2056738	71.1773869	61.7101001	59.9007092	58.7186761	
2.5	21.7178881	47.3286052	69.7635934	100.409654	115.254531	129.832939	145.609929	165.310481	185.011032	187.70922	184.383767	184.383767	184.383767	184.383767	184.383767	184.383767	184.383767	184.383767	184.383767	184.383767	184.383767	184.383767	184.383767	184.383767	184.383767	184.383767	184.383767	184.383767	184.383767	184.383767	184.383767
3	32.0756501	69.9007092	101.00788	117.162333	133.316785	157.684003	184.476753	208.595745	223.962175	239.328605	274.98818	319.511426	353.01576	327.799054	302.582348	307.65721	331.297872	349.995272	313.352246	276.70922	257.427896	252.699764	247.8487	222.631994	197.415288	175.333333	156.814815	138.296296	130.770686	124.072498	
3.5	0	0	23.451536	99.1016548	174.751773	210.858944	235.287628	257.411348	271.989756	286.568164	329.392435	384.55398	428.136328	410.01182	391.887313	394.527187	409.893617	420.44602	377.104807	333.763593	307.784082	296.357762	284.891253	266.766745	248.642238	235.865248	229.167061	222.468873	203.678487	183.977935	
4	0	0	31.2687156	132.13554	233.002364	289.459417	332.80063	369.411348	383.989756	398.568164	443.586288	501.899921	550.066194	544.156028	538.245863	534.778566	532.808511	529.126084	506.273444	483.420804	461.639874	440.757289	419.690307	368.074862	316.459417	285.12766	276.853428	268.579196	235.387707	200.320725	
4.5	0	0	39.9408983	168.782506	297.624113	354.680063	390.535067	427.382979	493.8487	555.314421	602.520095	643.497242	679.867612	691.687943	703.508273	697.495666	680.553191	659.959811	598.49409	537.028369	488.851852	451.814815	414.931442	403.505122	392.078802	359.815603	303.860636	247.91647	245.832151	247.802206	
5	0	0	43.7273444	184.783294	325.839243	405.451537	466.917258	527.276596	584.014184	640.751773	703.522495	768.92829	824.249015	825.825059	827.401103	776.699764	693.957447	618.646178	626.526399	634.406619	610.992908	561.347518	511.858156	488.217494	464.576832	439.460993	412.668243	385.875493	365.312057	345.217494	
5.5	0	0	0	0	0	185.507675	425.894405	625.120567	689.738377	754.356186	803.085598	844.833727	883.48621	905.550827	927.615445	928.427108	916.212766	901.769911	862.368006	822.966903	761.702916	682.112697	602.652482	544.732861	486.813239	445.120567	421.873916	398.627266	365.486998	331.620249	
6	0	0	0	0	0	216.209504	496.411348	733.219858	828.176517	923.133176	958.033097	966.70134	975.618597	985.482894	996.107171	960.425532	896.595745	830.553827	858.463357	877.375887	834.986604	741.211978	647.652482	589.732861	531.813239	501.369794	502.158816	502.944838	463.791962	421.632782	
6.5	0	0	0	0	0	239.691095	550.171789	807.546099	891.076438	974.606777	1000	1000	1000	1000	1000	1000	994.869976	986.595745	979.678487	987.952719	996.22895	996.22895	996.22895	996.22895	996.22895	996.22895	996.22895	996.22895	996.22895	996.22895	996.22895
7	0	0	0	0	0	264.937746	608.121355	882.893617	933.72104	984.548463	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Tabla 62. Wavebob. Matriz de potencia modificada Silleiro

Dispositivos con $P_N \geq 2000$ kW

Wave Dragon

		Te (s)																						
		0	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	
Hs (m)	0.5	0	0.01760047	0.10141223	0.19695763	0.26400704	0.32770398	0.36122868	0.31680845	0.12990823	0.04442023	0.03436282	0.00670494	0.00251435	0.00083812	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	0.00083812	0.14080375	0.70653313	2.00310104	2.65767087	2.90323932	2.96358379	2.91748732	2.36181536	1.41474249	1.46502954	1.07614298	0.62607384	0.36877174	0.17684281	0.06118258	0.01843859	0.00502871	0	0	0	0	
	1.5	0	0.00167624	0.08716423	0.96132087	2.17491514	2.71382475	2.80601768	3.10187319	3.02644261	2.12378997	2.49339982	2.09445585	1.59409965	1.18761262	0.86326112	0.63026443	0.35619997	0.16259481	0.07123999	0.01173365	0.00586682	0	
	2	0	0	0	0.01340988	0.20785316	0.67636089	1.17336462	1.61421447	1.9679001	1.4817919	2.08356032	1.91342245	1.66366341	1.37535096	1.08452416	0.86912794	0.60176843	0.42324938	0.26652139	0.1475087	0.06956376	0	
	2.5	0	0	0	0	0	0.00083812	0.06118258	0.23383481	0.57913925	0.90851947	0.75346771	1.31668273	1.3820559	1.30913967	1.30997779	1.14989733	0.88086158	0.68055148	0.46094667	0.33608515	0.21371998	0.1332607	
	3	0	0	0	0	0	0	0.00083812	0.02681976	0.11566023	0.32686586	0.40481079	0.75179148	0.99819805	1.0007124	0.91773876	0.89259523	0.72664795	0.57075808	0.37212421	0.27993127	0.16846164	0.10644093	
	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0.00083812	0.02179106	0.10560282	0.15672799	0.3620668	0.53555714	0.64535054	0.61769266	0.64618866	0.55902443	0.46264091	0.31513221	0.23048234	0.16175669	0.12823199	
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01005741	0.02598165	0.08045929	0.23467292	0.3528475	0.40900138	0.42157315	0.38218162	0.32770398	0.24556845	0.20869128	0.13996564	0.06537317	
	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00083812	0.00251435	0.02933412	0.06704941	0.12990823	0.20114822	0.25814022	0.25478775	0.22964422	0.18438587	0.16175669	0.1097934	0.06453505	
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00251435	0.0192767	0.03855341	0.08297364	0.15002305	0.18522399	0.19192893	0.16343293	0.10644093	0.08800235	0.05112517	
	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00167624	0.00670494	0.03101035	0.06788752	0.08464988	0.11482211	0.08800235	0.09805976	0.05112517	0.04358211	
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00754306	0.02430541	0.05112517	0.05615388	0.04609647	0.04190588	0.028496	0	
	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00083812	0.00167624	0.01173365	0.03184847	0.02765788	0.02933412	0.02011482	0.02095294	
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00251435	0.01592423	0.01005741	0.02011482	0.02095294	0.01089553	0	
	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00335247	0.00167624	0.00754306	0.00670494	0.00921929
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00083812	0.00167624	0.00251435	0.00670494

Tabla 63. Wave Dragon. Matriz del oleaje modificada Silleiro

		Te (s)																						
		0	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	
Hs (m)	0.5	101.5	138	174	216	258	304	349.5	399	448	462.5	476.5	479	481	470.5	459.5	435	410	371	331.5	277.5	223		
	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	32	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	3250	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	3538	4285	5032	5424	5816	5858	5900	5900	5900	5895	5889	5416	4943	4191	3439	
	4.5	4719	4719	4719	4719	4719	4719	4719	4719	5093	5466	5662	5858	5879	5900	5900	5900	5897	5895	5658	5422	4822	4222	
	5	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5452	5004
	5.5	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5676	5452
	6	5900	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	5900
	7	5900	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	5900
	8	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900

Tabla 64. Wave Dragon. Matriz de potencia modificada Silleiro

Wave Star

		Te (s)																										
		0	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	
Hs (m)	0.5	0	0.01760047	0.10141223	0.19695763	0.26400704	0.32770398	0.36122868	0.31680845	0.12990823	0.04442023	0.03436282	0.00670494	0.00251435	0.00083812	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	0.00083812	0.14080375	0.70653313	2.00310104	2.65767087	2.90323932	2.96358379	2.91748732	2.36181536	1.41474249	1.46502954	1.07614298	0.62607384	0.36877174	0.17684281	0.06118258	0.01843859	0.00502871	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.5	0	0.00167624	0.08716423	0.96132087	2.17491514	2.71382475	2.80601768	3.10187319	3.02644261	2.12378997	2.49339982	2.09445585	1.59409965	1.18761262	0.86326112	0.63026443	0.35619997	0.16259481	0.07123999	0.01173365	0.00586682	0.00419059	0.00167624	0	0	0	0
	2	0	0	0	0.01340988	0.20785316	0.67636089	1.17336462	1.61421447	1.9679001	1.4817919	2.08356032	1.91342245	1.66366341	1.37535096	1.08452416	0.86912794	0.60176843	0.42324938	0.26652139	0.1475087	0.06956376	0.02765788	0.01257176	0.00419059	0	0	
	2.5	0	0	0	0	0.00083812	0.06118258	0.23383481	0.57913925	0.90851947	0.75346771	1.31668273	1.3820559	1.30913967	1.30997779	1.14989733	0.88086158	0.68055148	0.46096467	0.33608515	0.21371998	0.1332607	0.05447764	0.02681976	0.0192767	0.00167624	0	
	3	0	0	0	0	0	0.00083812	0.02681976	0.11566023	0.32686586	0.40481079	0.75179148	0.99819805	1.0007124	0.91773876	0.89259523	0.72664795	0.57075808	0.37212421	0.27993127	0.16846164	0.10644093	0.05950635	0.04022964	0.02011482	0.01676235	0	
	3.5	0	0	0	0	0	0	0.00083812	0.02179106	0.10560282	0.15672799	0.3620668	0.53555714	0.64535054	0.61769266	0.64618866	0.55902443	0.46264091	0.31513221	0.23048234	0.16175669	0.12823199	0.07962117	0.02933412	0.02011482	0.00921929	0	

Tabla 65. Wave Star. Matriz del oleaje modificada Silleiro

		Te (s)																										
		0	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	
Hs (m)	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	7.45232467	26.7588652	46.0654058	57.0189125	66.4751773	74.465721	79.1938534	83.9219858	85.3041765	85.6981875	85.7234043	84.5413712	83.3593381	81.6288416	79.6587864	77.6264775	75.2624113	72.8983452	70.7785658	68.8085106	66.8707644	65.2947203	63.7186761	62.142632	60.5665879	0	0
	1.5	66.4712372	98.7801418	131.089046	155.044917	177.503546	194.465721	199.193853	203.921986	202.262411	198.716312	194.70922	189.193065	183.676911	177.886525	171.976359	166.128448	160.612293	155.096139	150.312845	145.978723	141.676911	137.736801	133.79669	130.070922	126.524823	123.070922	119.670922
	2	130.182033	192.829787	255.477541	292.397951	324.706856	347	347	339.395587	329.545311	319.41844	308.386131	297.353822	286.047281	274.620961	263.692671	255.41844	247.144208	239.114263	231.234043	223.450749	216.752561	210.054374	203.999212	198.483058	193.070922	187.736801	182.402709
	2.5	213.630418	313.70922	413.788022	460.073286	496.716312	519.190701	510.128448	501.066194	486.224586	469.676123	452.851064	435.120567	417.390071	401.030733	385.270292	369.821119	356.030733	342.240347	330.892829	321.042553	311.224586	301.768322	292.312057	283.498818	275.224586	267.050270	258.876054
	3	313.405831	446.58156	579.757289	600	600	600	600	600	600	600	594.468085	570.827423	547.186761	524.643026	502.578408	481.385343	464.836879	448.288416	431.495666	414.553191	397.966115	385.357762	372.749409	361.212766	350.574468	340.032222	329.590979
	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 66. Wave Star. Matriz de potencia modificada Silleiro

AWS

		Te (s)																										
		0	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5						
Hs (m)	0.5	0.10141223	0.19695763	0.26400704	0.32770398	0.36122868	0.31680845	0.12990823	0.04442023	0.03436282	0.00670494	0.00251435	0.00083812	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	1	0.70653313	2.00310104	2.65767087	2.90323932	2.96358379	2.91748732	2.36181536	1.41474249	1.46502954	1.07614298	0.62607384	0.36877174	0.17684281	0.06118258	0.01843859	0.00502871	0	0	0	0	0	0					
	1.5	0.08716423	0.96132087	2.17491514	2.71382475	2.80601768	3.10187319	3.02644261	2.12378997	2.49339982	2.09445585	1.59409965	1.18761262	0.86326112	0.63026443	0.35619997	0.16259481	0.07123999	0.01173365	0.00586682	0.00419059	0	0	0	0	0		
	2	0	0.01340988	0.20785316	0.67636089	1.17336462	1.61421447	1.9679001	1.4817919	2.08356032	1.91342245	1.66366341	1.37535096	1.08452416	0.86912794	0.60176843	0.42324938	0.26652139	0.1475087	0.06956376	0.02765788	0.01257176	0.00419059	0	0	0	0	
	2.5	0	0	0.00083812	0.06118258	0.23383481	0.57913925	0.90851947	0.75346771	1.31668273	1.3820559	1.30913967	1.30997779	1.14989733	0.88086158	0.68055148	0.46096467	0.33608515	0.21371998	0.1332607	0.05447764	0.02681976	0.0192767	0.00167624	0	0	0	0
	3	0	0	0	0.00083812	0.02681976	0.11566023	0.32686586	0.40481079	0.75179148	0.99819805	1.0007124	0.91773876	0.89259523	0.72664795	0.57075808	0.37212421	0.27993127	0.16846164	0.10644093	0.05950635	0.04022964	0.02011482	0.01676235	0	0	0	0
	3.5	0	0	0	0	0	0.00083812	0.02179106	0.10560282	0.15672799	0.3620668	0.53555714	0.64535054	0.61769266	0.64618866	0.55902443	0.46264091	0.31513221	0.23048234	0.16175669	0.12823199	0.07962117	0.02933412	0.02011482	0.00921929	0	0	
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01005741	0.02598165	0.08045929	0.23467292	0.3528475	0.40900138	0.42157315	0.38218162	0.32770398	0.24556845	0.20869128	0.13996564	0.06537317	0.05196329	0	0	0	0	
	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00083812	0.00251435	0.02933412	0.06704941	0.12990823	0.20114822	0.25814022	0.25478775	0.22964422	0.18438587	0.16175669	0.1097934	0.06453505	0.0477727	0	0	0	0	
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00251435	0.0192767	0.03855341	0.08297364	0.15002305	0.18522399	0.19192893	0.16343293	0.10644093	0.08800235	0.05112517	0.04190588	0	0	0	0	
	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00167624	0.00670494	0.03101035	0.06788752	0.08464988	0.11482211	0.08800235	0.09805976	0.05112517	0.04358211	0.02765788	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02430541	0.05112517	0.05615388	0.05950635	0.04609647	0.04190588	0.028496	0.028496	0.028496	0	0	0	0	
6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00083812	0.00167624	0.01173365	0.03184847	0.02765788	0.02933412	0.02011482	0.02095294	0.014248	0	0	0	0		

Tabla 67. AWS. Matriz del oleaje modificada Silleiro

		Te (s)																				
		0	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5
Hs (m)	0.5	1	3.5	6.5	9.5	13	17	20.5	24	29	34	40.5	46.5	52.5	59	65.5	72	76.5	81.5	91.5	101.5	
	1	2	7	13	19	26	34	41	48	58	68	81	93	105	118	131	144	153	163	183	203	
	1.5	4	15	28	41	56	72	85	99	121	143	173	203	226	248	266	185	309	334	357	380	
	2	8	26	49	73	100	127	150	172	210	247	292	337	366	395	418	442	482	523	543	563	
	2.5	15	43	78	113	159	205	234	263	320	376	438	499	531	563	603	643	675	708	741	774	
	3	25	61	111	161	227	293	339	386	453	521	600	680	722	765	827	888	897	906	945	984	
	3.5	35	92	155	218	305	391	454	517	605	694	772	851	913	975	1036	1096	1119	1141	1163	1185	
	4	35	114	194	273	380	486	572	659	776	894	961	1027	1103	1179	1227	1275	1316	1357	1365	1374	
	4.5	0	0	235	332	479	626	722	819	957	1096	1168	1240	1320	1401	1449	1497	1547	1598	1590	1583	
	5	0	0	280	400	592	784	899	1014	1144	1274	1380	1487	1569	1651	1691	1731	1785	1838	1807	1777	
	5.5	0	0	320	432	641	849	1033	1216	1331	1446	1568	1690	1778	1867	1919	1970	1977	1984	1994	2005	
	6	0	0	0	0	680	944	1155	1367	1495	1623	1759	1895	1936	2072	2137	2202	2205	2207	2226	2246	
	6.5	0	0	0	0	720	1123	1335	1547	1678	1809	1936	2116	2200	2284	2332	2380	2425	2470	2452	2434	

Tabla 68. AWS. Matriz de potencia modificada Silleiro

