

DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE UN SISTEMA DE CONVERSIÓN DE
ENERGÍA DE OLAS (WEC) SEGÚN UNA TIPOLOGÍA ADAPTABLE A LAS
CONDICIONES MARÍTIMAS COLOMBIANAS

DAVID LEONARDO CARREÑO CAMACHO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2018

DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE UN SISTEMA DE CONVERSIÓN DE
ENERGÍA DE OLAS (WEC) SEGÚN UNA TIPOLOGÍA ADAPTABLE A LAS
CONDICIONES MARÍTIMAS COLOMBIANAS

DAVID LEONARDO CARREÑO CAMACHO

Proyecto de Trabajo de Grado para Optar al Título de
INGENIERO MECÁNICO

Director:

ING. JORGE LUIS CHACÓN VELASCO

Co-Director

ING. FABIÁN ENRIQUE GONZÁLEZ ESTEBAN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2018

DEDICATORIA

A mi querida madre Nelcy que siempre estuvo presente apoyando toda la vida y más importante ha confiado en mi formación, educación y sabiduría para ser el mejor hombre posible y me ha demostrado que en la vida los sacrificios siempre valen la pena, muchas gracias madre.

AGRADECIMIENTOS

A mi apreciado profesor Jorge Luis Chacón Velasco y director de proyecto por su tiempo y paciencia conmigo, a mi codirector y apreciado amigo Fabián Enrique González Esteban por haber creído en mí y ser el apoyo moral necesario para salir adelante que junto con su tiempo y dedicación lograron este proyecto, a mi querido primo Juan José Herrera Camacho que estuvo siempre presente en todo el proyecto apoyándome con pequeños detalles.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVOS	19
1.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2. JUSTIFICACIÓN	20
3. MARCO TEÓRICO	21
3.1 ENERGÍA SOLAR	21
3.2 ENERGÍA EÓLICA	22
3.3 ENERGÍA GEOTÉRMICA	23
3.4 ENERGÍA HIDRÁULICA	23
3.5 BIOMASA	24
3.6 ENTRE LAS ENERGÍAS RENOVABLES PROCEDENTES DEL MAR	24
3.6 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN	28
3.6.1 A nivel internacional	28
3.6.2. A nivel regional	33
4. DISEÑO METODOLÓGICO	35
5. REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LAS TECNOLOGÍAS EXISTENTES Y CLASIFICACIÓN SEGÚN SU FUNCIONALIDAD	37
5.1 REVISIÓN SISTEMÁTICA	37
5.2 TECNOLOGÍAS AGREGADAS	40
5.3 CLASIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS SEGÚN SU FUNCIONAMIENTO	42
5.3.1 Cuerpos activados por olas (WAB)	45
5.3.2 Punto absorbedor	45
5.3.3 Columna de agua oscilante	46
5.3.4 Rebose	46
5.3.5 Convertidor de movimiento orbital de partícula (POMC).	46
6. SELECCIÓN DE LA TIPOLOGÍA PARA LA APLICACIÓN EN LAS COSTAS DEL CARIBE COLOMBIANO	48

6.1 APLICABILIDAD DE LOS DISPOSITIVOS EN LOS MARES DE COLOMBIA	48
7. DESCRIPCIÓN ANALÍTICA DISCRETA DE LA A TECNOLOGÍA UTILIZARCE	51
7.1 MODELO MATEMÁTICO	51
7.2 ANÁLISIS HIDRODINÁMICO	54
7.3 ANÁLISIS DE FUERZAS SOBRE EL DISPOSITIVO	56
8. SOLUCIÓN DE LA ECUACIÓN DIFERENCIAL	61
8.1 SOLUCIÓN DE LA ECUACIÓN DIFERENCIAL	61
9. EVALUACIÓN DEL DISPOSITIVO SEGÚN CARACTERÍSTICAS COLOMBIANAS	65
9.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS	65
9.2 MODELO EVALUADO A CONDICIONES DEL MAR DE COLOMBIA	69
10. CONCLUSIONES	73
11. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
BIBLIOGRAFÍA	82
ANEXOS	86

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Comportamiento a lo largo de las costas del mar Caribe Colombiano.	17
Figura 2. Energías precedentes del mar.	26
Figura 3. AWS dispositivo de tipo absorbedor	26
Figura 4. Dispositivo atenuador Pelamis	27
Figura 5. Wave Dragon.	27
Figura 6. Diagrama de flujo de la metodología a realizar y sus actividades	35
Figura 7. Descripción grafica de los parámetros de ola	43
Figura 8. Proporción porcentual de tipologías	47
Figura 9. Esquema general del dispositivo	52
Figura 10. Diagrama de cuerpo libre sobre las dos cámaras	56
Figura 11. Descripción de parámetros de entra y salida del programa	61
Figura 12. Diagrama de flujo del programa	62
Figura 13. Interfaz de entrada	63
Figura 14. Interfaz evaluada en las condiciones de laboratorio	65
Figura 15. Grafica de la posición del pistón en un tiempo de un periodo	67
Figura 16. Gráfica de la velocidad del pistón en un tiempo de un periodo	68
Figura 17. Gráfica de la aceleración del pistón en un tiempo de un periodo	68
Figura 18. Interfaz evaluada en condiciones de Colombia	69
Figura 19. Gráfica de la posición del pistón en un tiempo de un periodo	70
Figura 20. Gráfica de la velocidad del pistón en un tiempo de un periodo	71
Figura 21. Gráfica de la aceleración del pistón en un tiempo de un periodo	71

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Artículos seleccionados	38
Tabla 2. Artículos agregados	40
Tabla 3. Tabla de características de los dispositivos seleccionados	42
Tabla 4. Listado de tecnologías ordenados según el potencial energético del mar al que fueron diseñados	48
Tabla 5. Dispositivos preseleccionados, tipología, altura de ola y periodo	50

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. OTRAS BIBLIOGRAFÍAS	87
ANEXO B. ARTÍCULOS SELECCIONADOS DE TECNOLOGÍAS EXISTENTES	112
ANEXO C. LISTADO DE TECNOLOGÍAS TIPO CUERPO ACTIVADO Y SUS CARACTERÍSTICAS DE ALTURA DE OLA (HS) FRECUENCIA Y/O PERIODO (F,T) POTENCIA DISPONIBLE (P DISPONIBLE) Y POTENCIA DE SALIDA (P SALIDA)	155
ANEXO D. LISTADO DE TECNOLOGÍAS TIPO CUERPO ACTIVADO Y SUS CARACTERÍSTICAS DE ALTURA DE OLA (HS) FRECUENCIA Y/O PERIODO (F,T) POTENCIA DISPONIBLE (P DISPONIBLE) Y POTENCIA DE SALIDA (P SALIDA)	164
ANEXO E. LISTADO DE TECNOLOGÍAS TIPO COLUMNA DE AGUA OSCILANTE Y SUS CARACTERÍSTICAS DE ALTURA DE OLA (HS) FRECUENCIA Y/O PERIODO (F,T) POTENCIA DISPONIBLE (P DISPONIBLE) Y POTENCIA DE SALIDA (P SALIDA)	166
ANEXO F. LISTADO DE TECNOLOGÍAS TIPO REBOSE Y SUS CARACTERÍSTICAS DE ALTURA DE OLA (HS) FRECUENCIA Y/O PERIODO (F,T) POTENCIA DISPONIBLE (P DISPONIBLE) Y POTENCIA DE SALIDA (P SALIDA)	173
ANEXO G. LISTADO DE TECNOLOGÍAS TIPO (POMC) Y SUS CARACTERÍSTICAS DE ALTURA DE OLA (HS) FRECUENCIA Y/O PERIODO (F,T) POTENCIA DISPONIBLE (P DISPONIBLE) Y POTENCIA DE SALIDA (P SALIDA)	175
ANEXO H. CÓDIGO UTILIZADO	176

RESUMEN

TITULO: DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE UN SISTEMA DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA DE OLAS (WEC) SEGÚN UNA TIPOLOGÍA ADAPTABLE A LAS CONDICIONES MARÍTIMAS COLOMBIANAS*

AUTOR: DAVID LEONARDO CARREÑO CAMACHO **

PALABRAS CLAVE: Energías renovables, Undimotriz, OWC, Energía del mar

DESCRIPCIÓN: El presente documento tiene como objetivo la caracterización y clasificación de las diferentes tecnologías y tipologías existentes de los convertidores de energía de las olas, para la energía renovable undimotriz, basándose en la información disponible y recolectada a partir del análisis sistemático de la información, con el fin de determinar una tipología que muestre el mejor resultado que se puede aplicar para la conversión de energía undimotriz en las costas del mar caribe colombiano, según los filtros de estados de mar de las tipologías; Junto con la caracterización analítica y discreta de un dispositivo procedente de la tipología seleccionada, la cual fue para este estudio la tipología OWC (columna de agua oscilante) y esta se escogió a partir del análisis de 325 artículos científicos junto con 25 artículos agregados por bola de nieve, realizando la clasificación de los mismos en 5 según su funcionamiento. Una vez obtenida la tipología, se precede con la respectiva evaluación bajo las condiciones de las costas del mar caribe colombiano, para las cuales se diseña una interfaz de cálculo en el software de Matlab, que determina la energía obtenida por parte del dispositivo basándose en el análisis matemático discreto del mismo, usando la teoría lineal de olas.

* Trabajo de Grado

** Facultad De Ingeniería Físicomecánicas. Escuela De Ingeniería Mecánica. Director: Jorge Luis Chacón Velasco

SUMMARY

TITLE: DESIGN AND CHARACTERIZATION OF A SYSTEM OF CONVERSION OF WAVE ENERGY (WEC) ACCORDING TO A TYPOLOGY ADAPTABLE TO THE COLOMBIAN MARITIME CONDITIONS *

AUTHOR: DAVID LEONARDO CARREÑO CAMACHO **

KEY WORDS: Renewable energies, wave energy, OWC, Energy of the sea

DESCRIPTION: This document has as objective the characterization and classification of the different technologies and existing typologies of the wave energy converters, for the wave renewable energy, based on the information available and collected from the systematic analysis of the information, in order to determine a typology that shows the best result that can be applied for the conversion of wave energy in the coasts of the Colombian Caribbean Sea, according to the typology sea state filters; Along with the analytical and discrete characterization of a device from the selected typology, which was for this study the OWC typology (oscillating water column) and this was chosen from the analysis of 325 scientific articles together with 25 articles added by ball of snow, making the classification of them in 5 according to their operation. Once the characteristic typology is obtained, it is preceded by the respective evaluation under the conditions of the coasts of the Colombian Caribbean Sea, for which a calculation interface is designed in the Matlab software, which determines the energy obtained by the device based on the discrete mathematical analysis of it, using the linear theory of waves.

* Degree Project

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Jorge Luis Chacón Velasco

INTRODUCCIÓN

El incremento del consumo energético en Colombia es un factor importante al momento de realizar una proyección de la manera como este recurso energético es obtenido, puesto que es un elemento primordial para asegurar el crecimiento y desarrollo sostenible del país. Según datos del Banco Iberoamericano de Desarrollo (BID)¹ el crecimiento del consumo colombiano será de un 110.3% entre el 2013 y el 2040 con un promedio anual de 2.8% del mismo, dichos porcentajes hacen referencia al uso de energía en (METP) millones de toneladas equivalentes en petróleo. Según el UPME, unidad de planeación minero-energética, Colombia tuvo un consumo energético de 61684 GWh, con un crecimiento del 3.9% en el año 2013 respecto al año anterior.

Con esta creciente demanda energética que ha afrontado el país, el gobierno colombiano se ha visto obligado a buscar soluciones, que permitan satisfacer estas necesidades, como la utilización de combustibles fósiles o fuentes alternativas, donde la disminución de la primera y el fortalecimiento en la implementación de la segunda son la clave para el desarrollo sostenible que tanto se desea.

En consecuencia, un gran porcentaje de la energía que consume el país ya es generada por energía renovable, siendo esta producida por las hidroeléctricas, donde para el año 2010 con una producción de 38.721 GWh equivalente al 68% de la energía total y 17.264 GWh con el 32% faltante producido por fuentes convencionales (importaciones, cogeneración, térmico fuel oil y ACPM, térmica gas y térmica carbón)². Sin embargo, la producción de energía de las hidroeléctricas se

¹ ALIANZA EL HERALDO. "Crisis Energética en Colombia es por Falta de Planeación". En: periódico el Heraldo. 2016

² UPME. Ministerio de Minas y Energía. "Proyección de Demanda de Energía en Colombia". 2010

ve amenazada constantemente por los cambios climáticos que confronta el país, entre los cuales el fenómeno del niño o la niña, obstaculizan el destino del agua tanto consumible como aquella utilizada para la generación de energía; según el estudio de la UPME³ el cambio climático es un factor importante que se ha de tener en cuenta para el aporte energético del país, no obstante, cabe recalcar que las hidroeléctricas traen consigo un impacto ambiental considerable, debido a que requieren de una modificación del ecosistema del lugar donde se realice la construcción y es el método de generación de energía más costoso a corto plazo, dado esto, los defensores de los ecosistemas insisten en que se acuda a otro tipo de generación de energía que posea un menor impacto ambiental⁴.

En caso de aparición de los fenómenos naturales mencionados anteriormente, la dependencia mayoritaria del país hacia las hidroeléctricas lo conduciría a una crisis energética, como la pasada a principios del 2016⁵. Existen argumentos que afirman que esta crisis pudo ser evitada, como el de Henry Jiménez⁶, del *Heidelberg Center for Latin America*, quien dice que estos fenómenos son predecibles cada 10 o 15 años y que Colombia tuvo 24 años para su preparación⁷, además asegura que el país dispone de una gran cantidad de recursos energéticos que no han sido aprovechados.

EPSA⁸, una compañía Colombia generadora de energía, ya ha respondido al llamado para pertenecer al mundo de la energía renovable en Colombia, con la inversión en el laboratorio de energía solar más grande del país, y el único hasta el

³ MARCIAS, Ana. UPME, “Estudio de Generación Eléctrica Bajo Escenario de Cambio Climático”, 2013

⁴ CUERVO. Javier. “Daños Ambientales, Los Pecados de las hidroeléctricas”. En: UN Periódico, Universidad Nacional de Colombia. 2012

⁵ ALIANZA EL HERALDO. *Op.cit*

⁶ JIMENEZ Henry Abogado de nacionalidad venezolana, Master en derecho de la universidad de Heidelberg, doctor en derecho de la universidad de *Ruhr de Bochum*, Alemania. Especialista en ciencias penales actualmente profesor de postgrado en derecho de la energía e integración e investigador de diferentes universidades europeas y latinoamericanas y miembro de la firma de abogados *Wirh Rechtsanwälte Mannheim* Alemania.

⁷ ALIANZA EL HERALDO. *Op.cit*

⁸ ISAGEN S.A. “ Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Parque Eólico”

momento ubicado en la región de la Guajira con una capacidad de 32 MW que consta de dos plantas, una de 12 MW y la Otra de 20 MW. Otra iniciativa en este tema es por parte de EPM que está generando electricidad a partir de paneles solares liderado por el Instituto de Planeación y Promoción de soluciones energéticas (IPSE), llevando luz a más 580 personas y a 6 escuelas rurales con una generación autónoma de 1.025 Vatios (W). Estas últimas son iniciativas que pretenden llevar electricidad a las regiones que no poseen el sistema convencional de transporte de la misma como lo es la Guajira y el departamento del Choco.

Según información del SIEL (Sistema de Información Eléctrico Colombiano) ⁹ el ICEE total del país (Índice de cobertura de Energía Eléctrica) sería de un 91.16%, sin embargo todavía existen lugares como dentro de la región caribe, que a pesar de no producir energía suficiente para su abastecimiento, cuentan con un gran recurso energético que se puede aprovechar, donde uno de los sectores más sobresalientes es la Guajira¹⁰.

En esta región el ICEE total se encontraba en diciembre del 2015 en un 80.43%, a pesar de su índice alto, existe un 20% de la región que carece de este servicio, ya sea por los altos costos para el consumo de energía eléctrica y su transporte o instalación de las redes eléctricas o por la disponibilidad limitada del recurso hídrico, debido a la ausencia de acueducto en varias sectores, y a que la posibilidad de realizar una represa ha sido obstruida en gran medida por la población indígena de la región principalmente los wiwa, los cuales han estado en conflicto con el gobierno por la construcción de la primera parte de la represa Ranchería¹¹.

Pese a todo esto, gran parte de la energía que reside en esta región no ha sido aprovechada y tampoco es destinada para el consumo de la región. La Guajira

⁹ SIEL. Informes de Cobertura. Cobertura de Energía Eléctrica a 2014.

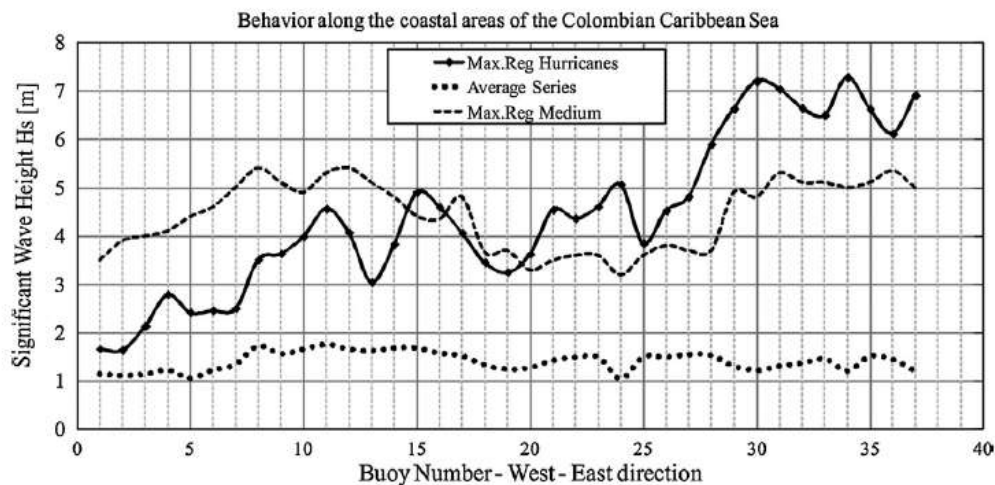
¹⁰ DNP. "Plan Nacional de Desarrollo 2015-2018" 2016

¹¹ CUEVAS. Angélica. "Las Cuentas Pendientes de la Represa Ranchería". En Periódico El Espectador. 2015

cuenta con otros recursos aprovechables, principalmente renovables, tales como el recurso eólico y el recurso mareomotriz, al igual que las demás zonas costeras del país, siendo esta última aquella que proviene de las corrientes submarinas o la que es aprovechada por el movimiento oscilante de las olas.

Con respecto al recurso marítimo que cuenta el país en su zona costera, el grupo de investigación Oceanicos de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín¹² ha realizado una caracterización que describe el comportamiento de la ola media y extrema de varias condiciones climáticas a lo largo de la Costa Caribe colombiana a través de simulaciones de olas sintéticas para estas condiciones donde se analizan mediante boyas simuladas las alturas y periodos de las olas en 4 sectores, el golfo de Morrosquillo, Barranquilla, Guajira (Puerto Bolívar) y San Andrés. Con alturas significativas (Hs) de alrededor de 0.5 m para el golfo de Morrosquillo, variaciones de 1.5-2.5 m para Barranquilla, de 1.3-1.8 m con un periodo de 6.5s y 7.5s para la Guajira y de 1.0-1.6 m con periodos de 6.2-7 s para San Andrés.

Figura 1. Comportamiento a lo largo de las costas del mar Caribe Colombiano.



Fuente: Tomado de Oceanicos 2015 [25]

¹² OSORIO Andres, MONTOYA Ruben, ORTIZ Juan, PELAEZ Daniel. "Construction of synthetic ocean wave series along the Colombian Caribbean Coast: A wave climate analysis" Grupo OCEANICOS, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellin Colombia. 2015

La figura anterior muestra el comportamiento de la altura para las diferentes boyas simuladas a lo largo de la costa caribe colombiana para tres casos, la serie promedio de sus amplitudes, el máximo de sus amplitudes y su máximo valor de su amplitud en presencia de huracanes.

¿Cuál sería el comportamiento hidrodinámico analítico de una tipología de convertidor de energía undimotriz en condiciones del oleaje colombiano?

Con esta información es posible analizar la posibilidad de implementación de dispositivos undimotriz los cuales aprovechen la energía generada por el movimiento oscilatorio de las olas en las zonas costeras del mar caribe colombiano para beneficio de los sectores afectados por la intermitencia o ausencia del servicio de energía eléctrica con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas que allí residen y ayudar en el crecimiento sostenible del país.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de conversión de energía (WEC) a partir de la caracterización de diferentes alternativas, basándose en la disponibilidad de información, para adaptarla a las condiciones de las costas colombianas a través de una descripción analítica de su funcionamiento.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Hacer un estudio de los diferentes dispositivos WEC que puedan emplearse en las condiciones colombianas, describiendo las características principales que estos presentan, teniendo en cuenta la disponibilidad y el acceso a la información.
- Seleccionar el sistema WEC que presente una mejor calidad de adaptación a las condiciones de las costas colombianas
- Describir analíticamente el comportamiento del sistema seleccionado de manera discreta mediante software Matlab
- Evaluar el sistema bajo las condiciones de las costas colombianas según el modelo analítico discreto realizado en el software Matlab

2. JUSTIFICACIÓN

Con la dependencia energética del país hacia las hidroeléctricas, cualquier sistema que amenace esta fuente de energía afectara directamente la calidad de vida de los colombianos y teniendo en cuenta la falta de redes eléctricas o la intermitencia del servicio eléctrico en varios sectores, es necesario una alternativa que permita suplir estos problemas para asegurar un desarrollo sostenible para el país.

Colombia cuenta con recursos naturales que pueden ser utilizados para la producción de energía, sin embargo, el desarrollo sostenible del país implica la evolución e implementación de las energías renovables.

Para aprovechar estos recursos se cuenta con zonas costeras de acceso a dos océanos para la producción de energía undimotriz, la cual aprovecha el movimiento oscilatorio de las olas para convertirlo en energía.

Lo que se pretende con esta propuesta es el diseño de un WEC¹³ que permita aprovechar el recurso marítimo de Colombia para que en un futuro pueda ser empleado para beneficiar a los sectores, principalmente costeros, que no cuenten con el servicio de energía eléctrica o presenten deficiencias en el mismo, ya que la adquisición del servicio implica una gran inversión la cual no es posible costear por los residentes de esta área.

Además, la propuesta del sistema es una solución amigable con el medio ambiente, ya que la generación de energía undimotriz no produce emisiones de dióxido de carbono, puesto que no hay combustibles fósiles de por medio.

¹³ WEC, *wave energy converter*, dispositivo que convierte la energía motriz de las olas del mar en energía útil, sea a mecánica o eléctrica.

3. MARCO TEÓRICO

En el marco teórico se realiza una explicación y una pequeña introducción al tema de energía undimotriz y algunas de la manera de aprovecharlas según el libro de energía renovables [28].

Las energías renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana; se renuevan continuamente, a diferencia de los combustibles fósiles, de los que existen unas determinadas cantidades o reservas, agotables en un plazo más o menos determinado. Las principales formas de energías renovables que existen son: la biomasa, hidráulica, eólica, solar, geotérmica y las energías marinas. Las energías renovables provienen, de forma directa o indirecta, de la energía del Sol; constituyen una excepción la energía geotérmica y la de las mareas. Entre este tipo de energías podemos encontrar:

3.1 ENERGÍA SOLAR

El Sol, de forma directa o indirecta, es el origen de todas las energías renovables, exceptuando la energía mareomotriz y la geotérmica. La energía del Sol se desplaza a través del espacio en forma de radiación electromagnética, llegando una parte de esta energía a la atmósfera. De esta energía que llega a la atmósfera, una parte es absorbida por la atmósfera y por el suelo, y otra parte es reflejada directamente al espacio desde el suelo. Es por esto por lo que menos de la mitad de la radiación solar llega efectivamente a la superficie terrestre, siendo esta parte la que podemos utilizar con fines energéticos en nuestro planeta.

La energía solar transforma los rayos del sol en electricidad. Lo hace de forma directa usando energía fotovoltaica, o de forma indirecta a través de energía solar concentrada.

Los sistemas de energía solar concentrada usan lentes o paneles solares que acumulan la energía del sol. La energía fotovoltaica usa los paneles solares y materiales semiconductores, de esta forma convierte la luz solar en energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico.

La energía solar térmica, aprovecha la energía del sol para generar calor o energía térmica. La energía se recoge mediante paneles solares o colectores solares se concentra la energía y se usa para calentar el agua a nivel doméstico o industrial.

3.2 ENERGÍA EÓLICA

La energía eólica es la que contiene el viento en forma de energía cinética. Esta energía se puede transformar en otro tipo de energía como la mecánica, eléctrica, hidráulica, etc. Una de las formas más utilizadas en la actualidad para el aprovechamiento a gran escala de la energía eólica es a través de las denominadas aeroturbinas.

Estas pueden transformar la energía eólica en: Energía mecánica: aeromotores o Energía eléctrica: aerogeneradores. Los aeromotores se han utilizado desde hace siglos para la molienda de grano, el bombeo de agua, etc. Actualmente siguen utilizándose en menor proporción para estos usos, además de incorporarse también en sistemas de desalación de agua. Los aerogeneradores son los sistemas de aprovechamiento eólico más utilizados hoy en día, observándose un crecimiento muy pronunciado en su utilización a partir del año 1990. Su funcionamiento se basa en que al incidir el viento sobre sus palas se produce un trabajo mecánico de rotación que mueve un generador que produce electricidad.

3.3 ENERGÍA GEOTÉRMICA

La energía geotérmica procede de la diferencia entre la temperatura de la superficie terrestre y la de su interior, que va desde una media de 15 °C en la superficie a los 6000 °C que tiene el núcleo interno. Esta diferencia de temperatura provoca un flujo continuo de calor desde el interior de la Tierra hacia la superficie. La temperatura de la Tierra suele aumentar unos 3 °C cada 100 metros; aunque en algunas zonas de la corteza existen anomalías geotérmicas que hacen que la temperatura aumente entre 100 °C y 200 °C por kilómetro, estas zonas son las que mejor se pueden aprovechar desde el punto de vista geotérmico. Las profundidades a las que se suelen situar estas explotaciones geotérmicas están entre 300 y 2000 metros. La energía geotérmica se puede aprovechar en la actualidad de dos formas: directamente, como calor, o para la producción de electricidad.

3.4 ENERGÍA HIDRÁULICA

En la actualidad, la energía hidráulica se utiliza fundamentalmente para producir electricidad en las denominadas centrales hidroeléctricas. El agua, retenida en un embalse o presa, se deja caer por una tubería, a cuya salida se coloca una turbina, el eje de la cual comienza a girar al caer al agua; este giro pone en marcha el generador eléctrico obteniéndose así la electricidad. Una de las grandes ventajas de la producción de electricidad con energía hidráulica es que puede ser constante y previsible, al contrario que la gran mayoría de las renovables y, por lo tanto, se puede utilizar para satisfacer la demanda eléctrica base. Las centrales hidroeléctricas se pueden situar junto al cauce de un río o al pie de una presa. En Canarias, al no existir ríos, las explotaciones hidroeléctricas se sitúan a pie de presa.

3.5 BIOMASA

La energía del Sol es utilizada por las plantas para sintetizar la materia orgánica mediante el proceso de fotosíntesis. Esta materia orgánica puede ser incorporada y transformada por los animales y por el hombre. El término biomasa abarca un conjunto muy heterogéneo y variado de materia orgánica y se emplea para denominar a una fuente de energía basada en la transformación de la materia orgánica utilizando, normalmente, un proceso de combustión.

3.6 ENTRE LAS ENERGÍAS RENOVABLES PROCEDENTES DEL MAR

Las energías renovables provenientes del mar se deben a la influencia de la radiación solar y de los campos gravitatorios solar, terrestre y lunar sobre los océanos. Si se comparan con el resto de las energías renovables, las investigaciones y los proyectos para conseguir energía procedente del mar se encuentran en una fase inicial, sin embargo, su potencial es muy alto. Entre las posibles fuentes de energía procedentes del mar podemos encontrar:

- *Gradiente salino*: La diferencia de salinidad entre el agua de océanos y ríos se mantiene, esencialmente, por evaporación del agua de los océanos y por la lluvia recibida por los ríos. En estas zonas puede obtenerse energía debido a las diferencias de presión osmótica.
- *Corrientes marinas*: Es el caso de las turbinas marinas, cuyo funcionamiento es similar a un aerogenerador eólico, con la diferencia que, en este caso, es el flujo de corriente marina el que hace girar al rotor. Para que esto se produzca es necesaria una velocidad superior a 5 nudos.
- *Mareomotriz*: Se basa en el aprovechamiento de la energía liberada por el agua del mar en sus movimientos de ascenso y descenso de las mareas.
- *Térmica oceánica*: Se obtiene a partir de la diferencia de temperaturas entre la superficie y las profundidades del mar. Para el aprovechamiento de esta energía es necesaria, al menos, una diferencia de temperatura de 20°C.

- *Vientos oceánicos*: En algunas zonas oceánicas los vientos pueden generar de 500 a 800 vatios de energía por metro cuadrado. Por ello, los parques eólicos marinos se convertirán en una importante fuente de energía renovable en un futuro próximo. Se espera que, para finales de esta década, se instalen en los mares europeos parques eólicos con una capacidad total de miles de megavatios.
- *Biomasa marina*: Los microbios constituyen hasta el 90% de la biomasa marina, la cual contiene una ingente cantidad de energía para la producción de biocombustibles. De hecho, la masa de los microbios presente en los océanos equivale a 240.000 millones de elefantes africanos.

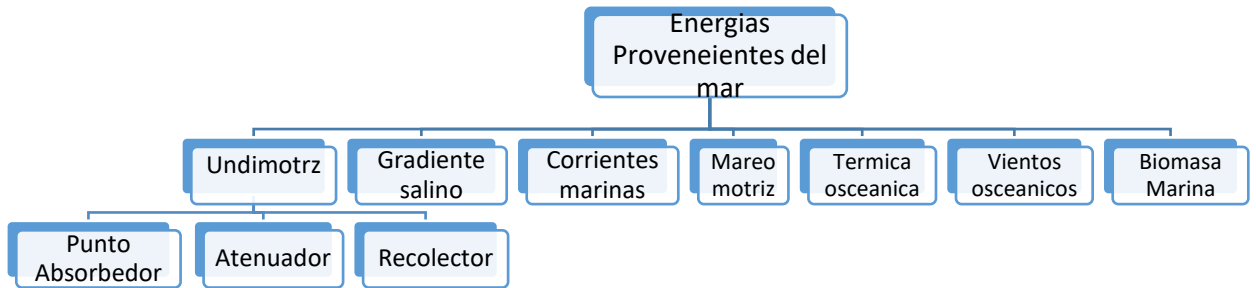
Undimotriz:

Las olas se forman en el mar, entre otras causas, por la acción del viento, el cual, al soplar origina olas que alcanzan gran tamaño y, por el impulso del viento, corren sobre la superficie marina a gran velocidad descargando toda su potencia sobre los obstáculos que encuentran en su camino.

Una fracción de la radiación solar incidente sobre la superficie de la tierra se invierte en un calentamiento desigual de la misma, lo que provoca en la atmósfera zonas de altas y bajas presiones, generando desplazamientos del aire en forma de viento. La intensidad del oleaje depende de la intensidad del viento, de su duración y de la longitud sobre la cual éste transmite energía a la ola. A pesar de no considerar las olas con periodos más pequeños o grandes que las formadas por el oleaje del viento, 2 a 30 segundos, la descripción matemática de las olas es un tema complicado de abordar.

Las diferentes tecnologías utilizadas se pueden tomar en base a artículo de López [29], en el cual se hace un *review* de algunas tecnologías existentes clasificadas según su funcionamiento, entre esta clasificación se encuentran.

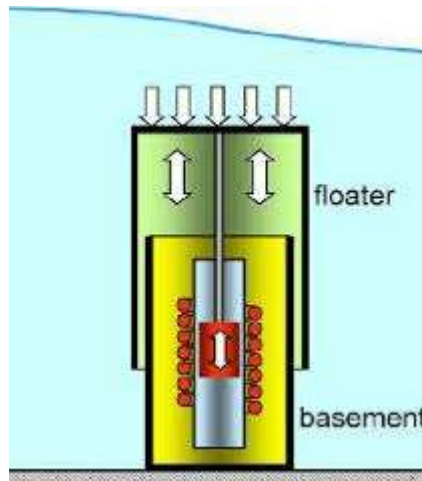
Figura 2. Energías precedentes del mar.



Fuente: Autor

Punto absorbedor: los dispositivos de punto absorbedor son los dispositivos los cuales cuentan con un parte oscilante que se encuentra en la superficie del mar la cual normalmente transforma la energía mecánica en energía eléctrica a través de un generador de tipo lineal.

Figura 3. AWS dispositivo de tipo absorbedor



Fuente: Tomado de: https://www.researchgate.net/figure/259479491_The-Archimedes-Wave-Swing-16

Atenuador: este tipo de dispositivos como su nombre lo dicen cuentan con cuerpos que atenúan entre sí para aprovechar el movimiento de las olas y tienen como

característica que su cuerpo adopta la forma de la ola mientras que recolecta la energía.

Figura 4. Dispositivo atenuador Pelamis



Fuente: Tomado de López [29]

Recolectores: este tipo de dispositivos tienen la característica de que toman el oleaje en forma paralela al igual que los de tipo atenuador, con la característica de que recolectan parte del agua de las olas y la almacenan como energía potencia para transformarla luego en energía eléctrica por medio de turbinas.

Figura 5. Wave Dragon.



Fuente: Tomado de <http://www.maritimejournal.com>

3.6 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

En esta sección se tocan una revisión parcial de las investigaciones hechas alrededor del tema, estas investigaciones realizadas a diferentes niveles internacionales y nacionales que tocan por lo menos de manera general el área de la energía undimotriz y avances hechos en el tema, con el fin de determinar los aportes de estos a el presente proyecto.

3.6.1 A nivel internacional. Entre estas investigaciones están se pueden encontrar los avances hechos por el instituto para el transporte y energía (IET) encabezados por Andreas¹⁴ cuyo objetivo era dar una vista general del estado de los avances de la energía y concluye en los diferentes obstáculos que hacen falta para superar. El aporte del proyecto consiste en una visualización de los obstáculos que hacen falta superar, especialmente en el ámbito de leyes que no han avanzado para permitir el avance en este tema.

También se puede encontrar artículos que ayudan a la formulación y el análisis de los dispositivos como el liderado por Chandrasekaran¹⁵, donde el objetivo de este Proyecto fue el diseño de un WEC para suplir en parte la demanda energética de la región parcialmente. El proyecto concluye en un diseño que trabaja por un brazo desde la superficie, se logra una eficiencia de un 23% aproximadamente. El aporte de este proyecto consiste en la identificación de los elementos más críticos que pueden tener estos diseños de WEC. Como también existen algunos que evalúan la implementación en determinados sitios con el fin de mejorar el bienestar de su territorio como el de Corsini¹⁶, donde evalúan un Sistema WEC en una isla pequeña ya que esta isla tiene problemas para la distribución de la energía eléctrica y la

¹⁴ ANDREAS, Uihlein. "Wave and tidal current energy – A review of the current state of research beyond technology". En: Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elseiver,2016

¹⁵ CHANDRASEKARAN. "Design, Development and Experimentation of Deep Ocean Wave Energy Converter System". En: Energy Procedia. Elseiver,2015

¹⁶ CORSINI, Alessandro. TORTORA, Eileen. "Preliminary Assessment of Wave Energy Use in an Off-grid Minor Island Desalination Plant". En: Energy Procedia. Elseiver,2015

generación de la misma ya que es muy frecuentada por turistas en verano. En el proyecto se concluye con la comparación del sistema WEC y la producción de energía bajo combustibles fósiles y se demuestra un ahorro de más del 50% en la producción de CO₂. Este otro ejemplo narra el diseño de un nuevo dispositivo como el del grupo de trabajo de Kim¹⁷ cuyo objetivo fue aprovechar al máximo la cantidad de energía otorgada por las olas en las costas de Corea del sur, ya que estas cuentan con una altura promedio de máximo 0.5m la cual no es aprovechable por los sistemas WEC convencionales, a través del diseño de un WEC de doble boya. Ellos concluyen en que el diseño ha sido exitoso y que se puede amplificar la cantidad de energía absorbida de estas costas. El aporte de este proyecto demuestra que es posible aprovechar altas potencia de energía de lugares con bajo potencial como las costas colombianas. Complementario a este último artículo se encuentran también dispositivos de características similares, pero con tres boyas realizado por Stanby¹⁸ Donde el objetivo de este Proyecto de la Universidad de Manchester consiste en un diseño de flotadores de triple boya con el fin de aprovechar la resonancia del movimiento relativo de las boyas. Concluyen con un aprovechamiento del 20-25% extra de energía de las olas convencionales. Este proyecto también muestra la posibilidad de amplificar la potencia de olas con bajas alturas.

Existen otros artículos que pretenden ser la solución a diversos problemas como aquellos que presentan en el océano las turbinas de viento¹⁹, en esta referencia tenía como objetivo solucionar el constante movimiento oscilatorio de las turbinas de viento y así disminuir las vibraciones causadas por la misma, entre las propuestas esta la implementación del sistema WEC en medio de las turbinas. Se concluyó que

¹⁷ KIM, Jeongrok. KWEON, Hyuck-Min. JEONG, Weon-Mu. CHO, Il-Hyoung. CHO, Hong-Yeon. "Design of the dual-buoy wave energy converter based on actual wave data of East Sea". En: International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. Ijnaoe snak, 2015

¹⁸ STANSBY. "Three-float broad-band resonant line absorber with surge for wave energy conversión". En: Renewable Energy. Elseiver,2015

¹⁹ BORG, Michael. "Use of a Wave Energy Converter as a Motion Suppression Device for Floating Wind Turbines". En: Energy Procedia. Elseiver,2015

estas pueden reducir las vibraciones y además producir energía extra a parte de las turbinas eléctricas. El aporte de este proyecto muestra que la combinación de varias soluciones renovables se puede aprovechar incluso mejor las condiciones del medio ambiente.

Incluso existen dispositivos que pretenden revolucionar los conceptos clásicos de los dispositivo de tipo punto absorbedor como lo hace Siegel²⁰, donde su trabajo tiene por objetivo el análisis del comportamiento de un sistema WEC basándose en las características de un sitio en específico, la costa noreste de Oahu Hawaii, para esto se investigó un WEC de elevación utilizando simulaciones numéricas de flujo potencial con estimaciones de las perdidas viscosas basados en hidro alas publicadas y se concluye que encontró que un radio de 5m, un acorde de $c=5m$ y una amplitud de $s= 60m$ junto con una potencia máxima de generador 1.25 MW. Los rendimientos de este dispositivo fueron mayores en comparación con las demás energías renovables como la eólica.

La ciencia es un proceso que requiere de constante innovación y existen proyectos y artículos que pretenden la optimización de tecnologías ya existentes como el de Green²¹ el cual simula en Python un sistema WEC basado en un diseño del modelo numérico, para esto se definieron las ecuaciones teniendo en cuenta un modelo de entorno ideal para la ola, incluyendo las fuerzas más relevantes que actúan sobre la boya y las fuerzas de oposición. Estas ecuaciones se resolvieron en un proceso iterativo de orden alto para la cinemática de la boya, el modelo arroja los ajustes de los parámetros más generales para explorar el comportamiento más óptimo del sistema, al final se muestran resultados del modelo numérico y el comportamiento del desarrollo de un WEC basado en este, donde el modelo sugiere cambios en el diseño para optimizar la eficiencia y la obtención de energía.

²⁰ SIEGEL, SG. " *Wave climate scatter performance of a cycloidal wave energy converter*" En: Energy Procedia. Elseiver,2015

²¹ GREEN, BE; MACDONALD, DG. " *The Use of Numerical Modeling to Optimize a New Wave Energy Converter Technology*" En: Energy Procedia. Elseiver,2015

También podemos encontrar otros que pretenden el análisis de los dispositivos existentes ya para aplicarse en sitios determinados como el de Bozzi²², cuyo objetivo es investigar la viabilidad de la producción de energía de las olas en los mares italianos mediante simulación de un convertidor de energía WEC Sea based, para el modelamiento del sistema WEC se calculan sus características mediante la teoría lineal de ondas potenciales. Utilizan dos boyas de diferente diámetro para evaluar el desempeño según la geometría. El modelo se utiliza para estimar la producción de energía en ocho localidades italianas en alta mar y Los resultados indican que el grado de utilización del dispositivo es superior al 20% en los dos sitios italianos más energéticos (Alghero y Mazara del Vallo) y que se puede aumentar considerablemente si el cuerpo flotante está conectado a un objeto sumergido gracias a El comportamiento resonante del WEC; también el de Yang²³ el cual narra el estudio de convertidor de energía de olas con una toma de fuerza hidráulica y para esto se desarrolla un modelo dinámico considerando las interacciones de los sistemas, varias condiciones fueron predichas numéricamente por medio de este modelo donde los resultados de la simulación muestran que la dinámica de la línea de transmisión desempeña un papel dominante en el sistema estudiado del convertidor de la energía de la onda. La longitud de la tubería no sólo afectará a la amplitud de las presiones transitorias, sino que también afectará a la potencia convertida. La variación de la potencia eléctrica convertida promediada en el tiempo con la longitud de la tubería se calcula utilizando el método de simulación para la boya expuesta a un estado de mar irregular. Del mismo modo también esta el ejemplo de Hals²⁴ cuyo objetivo fue realizar un modelo matemático de un WEC equipado con maquinaria de toma de fuerza de alta presión para la conversión de energía que tenga en cuenta la fuerza de fricción y la caída de presión donde el modelo se basa en a teoría hidrodinámica lineal y está en el dominio frecuencia tiempo para estudiar el

²² BOZZI, S; Miquel, AM; ANTONINI, A; PASSONI, G; Archetti, R. "Modeling of a Point Absorber for Energy Conversion in Italian Seas" En: Energy Procedia. Elsevier,2015

²³ YANG, LM; MOAN, T. "Dynamic analysis of wave energy converter by incorporating the effect of hydraulic transmission lines" En: Energy Procedia. Elsevier,2015

²⁴ YANG, LM; HALS, J; MOAN, T. "Analysis of dynamic effects relevant for the wear damage in hydraulic machines for wave energy conversion" " En: Energy Procedia. Elsevier,2015

comportamiento del cuerpo. El sistema WEC fue simulado numéricamente para diferentes longitudes de cilindro bajo un volumen fijo. El desgaste por desgaste del anillo de pistón y del cilindro se calcula utilizando la ecuación de Archard sobre la base de los resultados de la simulación y al final se presenta un modelo de espacio de estados no lineales para el WEC. Una comparación de estos resultados con un rendimiento de un sistema idéntico WEC que descuida la compresibilidad de fluidos se ha hecho en este trabajo. Muestra que, aunque la potencia espectral es pequeña, el HFO puede hacer una gran contribución tanto al desgaste del anillo como al desgaste del cilindro. Para el propósito de la predicción del desgaste, las oscilaciones en o por debajo de la frecuencia de onda y HFO pueden ser igualmente importantes.

También las estrategias de control permiten la optimización de los dispositivos WEC como el de Babarit²⁵ donde objetivo de su proyecto fue investigar semi-analíticamente el control de enclavamiento aplicado a un oscilador mecánico y tres estrategias de control para un WEC de elevación, se realiza Suponiendo que la fuerza de excitación se conoce en un futuro cercano y que el cuerpo está bloqueado en posición en el paso de tiempo actual, las ecuaciones de movimiento del cuerpo se resuelven numéricamente en el dominio del tiempo para diferentes condiciones iniciales y se concluye que En mar aleatorio, los resultados muestran que para todas las tres estrategias propuestas, la eficiencia del convertidor de energía de onda se mejora considerablemente en términos de energía absorbida; o también el de Gao²⁶ el cual pretende establecer un modelo de movimiento simplificado de las boyas en las olas, este modelo es basado en la teoría de onda lineal se establecen las condiciones de movimiento derivadas según la segunda ley de Newton y los resultados muestran que el factor principal que afecta las respuestas dinámicas de las boyas de captura de olas, es la proximidad de la frecuencia natural de las boyas

²⁵ BABARIT, A; DUCLOS, G; CLEMENT, AH. "Comparison of latching control strategies for a heaving wave energy device in random sea" En: Energy Procedia. Elsevier,2015

²⁶ GAO, HT; Li, B." Establishment of Motion Model for Wave Capture Buoy and Research on Hydrodynamic Performance of Floating-Type Wave Energy Converter" En: Energy Procedia. Elsevier,2015

con el periodo de ola. Los parámetros estructurales influyen en la eficiencia de absorción de energía.

3.6.2. A nivel regional. En Colombia existen instituciones como la Universidad Industrial de Santander donde se han realizado estudios del comportamiento de las olas y dispositivos los cuales se puedan aprovechar el recurso marítimo como el realizado por Hurtado²⁷ donde se pretende evaluar la posibilidad de la instalación de una central mareomotriz en las costas colombianas y evaluar su producción energética. De ahí se concluye que los lugares óptimos para la instalación de dicha central podrían ser de la costa Pacífica, el sur de Jurado, Puerto Pizarro y ensenada Ultría en Choco, el Norte de Buenaventura en Cauca donde se propone un sistema de embalse único de ciclo de doble efecto y turbinas reversibles, y con respecto a la costa Atlántica en las islas de Tierra Bomba y Via del Mar en cercanías con Barranquilla donde se propone el aprovechamiento de la energía de las olas. El aporte de este proyecto consiste en un ambiente general del potencial de las olas en la costa colombiana que puede brindar información sobre la posibilidad de la implementación de diferentes sistemas de aprovechamiento de la energía.

También los aportes de la universidad de la Salle por parte del estudiante Gomez²⁸ donde el objetivo de su proyecto consistía en la evaluación de los potenciales de las olas y corrientes de las costas colombianas para la implementación de las energías renovables tipo Tidal (corrientes) y wave energy (energía de las olas). De este se concluye que la implementación de la energía a partir de las corrientes (Tidal) no es muy conveniente y se recomienda seguir innovando con respecto a las tecnologías de aprovechamiento de las olas (Wave). Este proyecto aporta con las condiciones de las alturas de las olas y las corrientes de los mares de las costas colombianas.

²⁷ HURTADO, Samir. "Localización técnica de una pequeña central mareomotriz en la costa colombiana." Universidad industrial de Santander, 2006

²⁸ GOMEZ, Luis Alexander. "Actualización del inventario de posibilidades de generación de energía mareomotriz en Colombia". Universidad De La Salle, 2008.

Los aportes hechos por la Universidad Javeriana²⁹ consisten en una investigación sobre las costas colombianas y analizar el potencial de generación de energía mediante el uso de las corrientes inducidas, allí se analizó la geografía de las costas y se concluye que no es posible aprovecharlas dada la tecnología actual. El aporte de este proyecto incita al direccionamiento a aprovechar la energía de las olas, ya que entre la energía mareomotriz que se puede generar existen dos, la de corrientes inducidas y la de las olas, de tal forma que se descarta la posibilidad de enfocarse en el área de estudio de las corrientes.

Sin embargo, uno de los aportes más importantes hacia este proyecto es el hecho por la Universidad Nacional de Medellín hecho por el profesor Osorio³⁰ donde el objetivo de este artículo es realizar un análisis que describa el comportamiento de onda media y extrema de varias condiciones climáticas a lo largo de la Costa Caribe colombiana, mediante una metodología para generar series de ondas sintéticas durante las condiciones media y extrema. En el caso de condiciones extremas, los resultados muestran una influencia significativa de eventos extremos hacia el noroeste, alrededor de La Guajira y las zonas insulares de San Andrés y Providencia, en comparación con otras Regiones a lo largo de la costa. Todos estos resultados (incluyendo la serie de ondas sintéticas) proporcionan un diseño y una herramienta de manejo para la implementación exitosa de cualquier proyecto costero (científico o de consultoría) en Colombia.

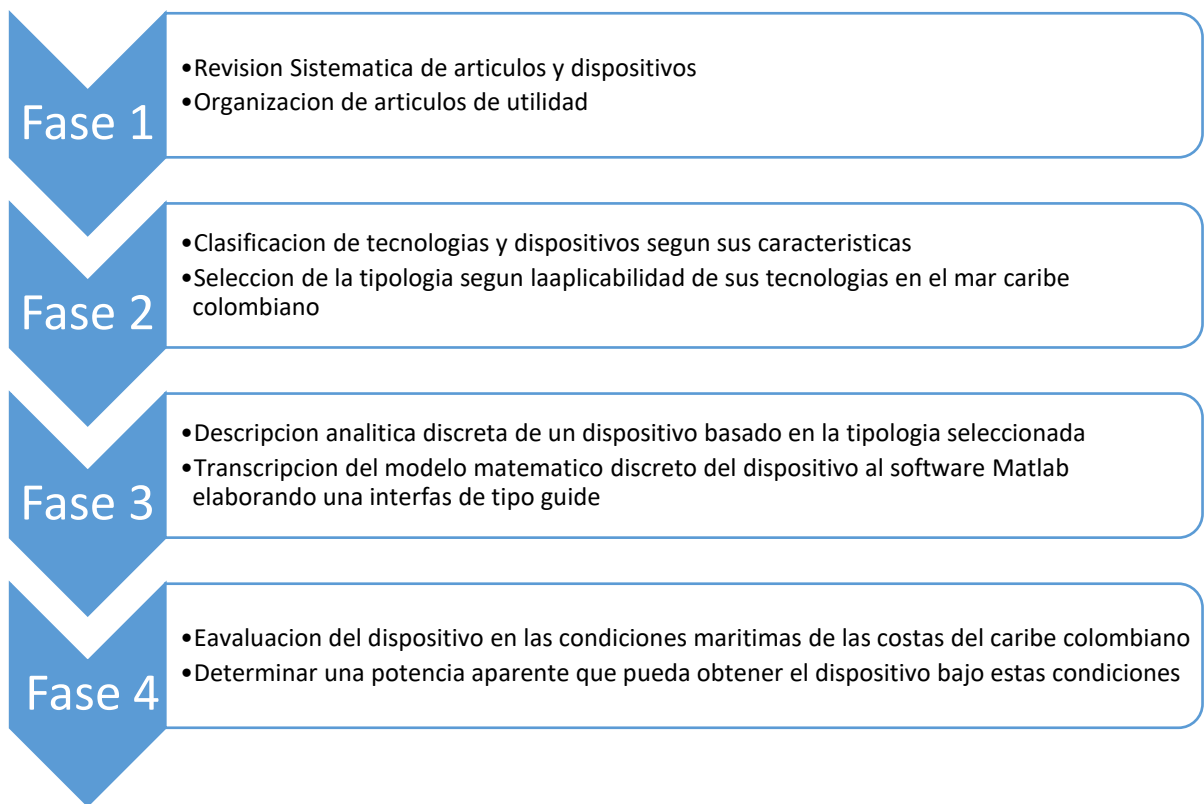
²⁹ POLO. John. "Potencial de generación de energía a lo largo de la costa colombiana mediante el uso de corrientes inducidas por mareas". Universidad Pontificia Javeriana. 2008

³⁰ OSORIO Andres, MONTROYA Ruben, ORTIZ Juan, PELAEZ Daniel. "*Construction of synthetic ocean wave series along the Colombian Caribbean Coast: A wave climate analysis*" Grupo OCEANICOS, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellin Colombia. 2015

4. DISEÑO METODOLÓGICO

Aquí se realiza una descripción de la metodología que se va a aplicar en este proyecto, clasificado por cuatro partes fundamentales que representan los objetivos a cumplir de este proyecto.

Figura 6. Diagrama de flujo de la metodología a realizar y sus actividades



Fuente: Autor

Durante la Fase 1 se pretende para hacer una revisión sistemática de los diferentes dispositivos WEC que puedan emplearse en las condiciones colombianas, se recolecta la información de los dispositivos disponibles y se organiza según sus características a través de una tabla la cual tenga la mayor cantidad de documentos

favorables y la tecnología que aplican en él, basándose en la disponibilidad de la información.

La Fase 2 describe los parámetros necesarios para seleccionar el sistema WEC que presente una mejor calidad de adaptación a las condiciones de las costas colombianas, se toma de referencia la tabla de información recolectada sobre los dispositivos y tecnologías, a partir de las características como la altura de ola y la potencia aprovechable y se selecciona aquel que tenga mejor adaptación a las condiciones de las costas colombianas.

En la Fase 3 se Describe analíticamente el comportamiento del sistema seleccionado de manera discreta mediante software Matlab, para esto se estudia el dispositivo basado en la tipología seleccionada y se describe el comportamiento del dispositivo matemáticamente, de manera que se pueda trasladar a el software Matlab.

La Fase 4 se evalúa el sistema bajo las condiciones de las costas colombianas según el modelo analítico discreto realizado en el software Matlab, se reemplazan los valores conocidos de las costas colombianas con base en la altura y el periodo de ola que aprovecha el dispositivo analizado con el fin de determinar la energía que pueda absorber.

5. REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LAS TECNOLOGÍAS EXISTENTES Y CLASIFICACIÓN SEGÚN SU FUNCIONALIDAD

Estudio de los diferentes dispositivos WEC que puedan emplearse en las condiciones colombianas, describiendo las características principales que estos presentan, teniendo en cuenta la disponibilidad y el acceso a la información.

5.1 REVISIÓN SISTEMÁTICA

Antes de la interpretación y análisis de las alternativas para la recolección de energía de las olas en las costas colombianas es necesario conocer los diferentes dispositivos que pueden cumplir esta función. Para ello se ha realizado una búsqueda basada en la disponibilidad de la información científica con respecto a los documentos y artículos mencionados en este documento. En primer lugar se aplica una ecuación de búsqueda del estilo: ((“Wave energy” OR “wave power” OR “Ocean energy” OR “Marine energy”) AND (“Sea” OR “Ocean” OR “Marine”) AND (wave*) AND (“WEC” OR “wave energy converter*)) en la página *WEB of Science* en el periodo de 2009-2016, en la cual se obtiene un total de 325 artículos relacionados a la búsqueda, donde 27 artículos fueron seleccionados bajo el criterio de que se mencione alguna tecnología de recolección de energía de olas diferente y se haga mención tanto de las características del oleaje a las que fue diseñado y la potencia de salida de la tecnología a esa condiciones, estos 325 artículos se encuentran en la bibliografía del **anexo A** a excepción de los seleccionados.

Para la selección de los artículos se realiza una tabla en Excel la cual cuenta con las características de interés basados en la descripción del *abstract* y el contenido del artículo.

Estos 27 artículos seleccionados se pueden encontrar en el **anexo B**, en donde se hace mención a su *abstract*. Sin embargo, se hace mención de sus títulos en la **tabla 1**:

Tabla 1. Artículos seleccionados

Título del artículo	Referencia
<i>“Wave power extraction of a heaving floating oscillating water column in a wave channel”</i>	1
<i>Testing and control of a power take-off system for an oscillating-water-column wave energy converter</i>	2
<i>Wave climate scatter performance of a cycloidal wave energy converter</i>	3
<i>Experimental and numerical comparisons of hydrodynamic responses for a combined wind and wave energy converter concept under operational conditions</i>	4
<i>Experimental validation of the ISWEC wave to PTO model</i>	5
<i>A novel tuned heave plate system for heave motion suppression and energy harvesting on semi-submersible platforms</i>	6
<i>Direct drive surge wave energy converter with grid integration functionality</i>	7
<i>Analysis, design and experiment investigation of a novel wave energy converter</i>	8
<i>Model-based design and optimization of a dielectric elastomer power take-off for oscillating wave surge energy converters</i>	9
<i>Numerical and experimental studies on the PTO system of a novel floating wave energy converter</i>	10
<i>Real time hybrid modeling for ocean wave energy converters</i>	11

<i>From wave to jet and from jet to hydrogen: A promising hybrid system</i>	12
<i>Energy conversion of orbital motions in gravitational waves: Simulation and test of the Seaspoon wave energy converter</i>	13
<i>Analytical modelling of an U-Oscillating Water Column and performance in random waves</i>	14
<i>Seaweaver: A new surge-resonant wave energy converter</i>	15
<i>Modeling of the Efficiency of a Semisubmerged Ocean Wave Energy Converter</i>	16
<i>Scaled Development of a Novel Wave Energy Converter Including Numerical Analysis and High-Resolution Tank Testing</i>	17
<i>Analytical study of the interaction between waves and cylindrical wave energy converters oscillating in two modes</i>	18
<i>Numerical Simulation of Section Systems in the Pelamis Wave Energy Converter</i>	19
<i>Design Specifications for the Hanstholm WEPTOS Wave Energy Converter</i>	20
<i>SSG wave energy converter: Design, reliability and hydraulic performance of an innovative overtopping device</i>	21
<i>Modeling and control of a 75 kW class variable liquid-column oscillator for highly efficient wave energy converter</i>	22
<i>Optimisation of wave energy extraction with the Archimedes Wave Swing</i>	23
<i>Developments in the design of the PS Frog Mk 5 wave energy converter</i>	24
<i>Mechanical design and modeling of a single-piston pump for the novel power take-off system of a wave energy converter</i>	25

<i>Design of the dual-buoy wave energy converter based on actual wave data of East Sea</i>	26
<i>The new wave energy converter WaveCat: Concept and laboratory tests</i>	27

Fuente: Autor

5.2 TECNOLOGÍAS AGREGADAS

A partir de la búsqueda diferente y tomando como referencia el artículo "Wave energy device and breakwater integration: A review" [1] en el cual se muestran una clasificación de las tecnologías para los dispositivos undimotriz según su funcionalidad; se anexan 25 nuevas tecnologías las cuales se pueden aplicar y clasificar en el presente artículo las cuales se encuentran en el **anexo B**.

Tabla 2. Artículos agregados

Título del artículo	Referencia
<i>NEAR-SHORE FLOATING WAVE ENERGY CONVERTERS: APPLICATIONS FOR COASTAL PROTECTIO_n</i>	29
<i>PHYSICAL MODEL TESTS OF THE ANACONDA WAVE ENERGY CONVERTER</i>	30
<i>SEAREV: Case study of the development of a wave energy converter</i>	31
<i>Evaluation of technologies for harvesting wavee nergy in Caspian Sea</i>	32, 33
<i>A Brief Review of Wave Energy</i>	34
<i>Development of a wave energy converter (WEC) design tool –application to the WaveRoller WEC including validation of numerical estimates</i>	35

<i>The development of Oyster – A shallow water surging wave energy converter</i>	36
<i>Renewable Energy Utilization in China</i>	37
<i>FAESIBILITY TESTS OF NEW PENDULAR-TYPE WAVE ENERGY CONVERSION APPARATUS” and “An experimental study of a floating breakwater with asymmetric pneumatic chambers for wave energy extraction</i>	38, 39
<i>Application of PowerBuoy Wave Energy Converter Technology to Remote Power Requirements in Oil and Gas Field Developments</i>	40
<i>AquaBuOY - The Offshore Wave Energy Converter Numerical Modeling and Optimization</i>	41
<i>Wave Energy from the North Sea: Experiences from the Lysekil Research Site” and “Experimental results from sea trials of an offshore wave energy system</i>	42, 43
<i>Performance Evaluation of the Wavestar Prototype</i>	44
<i>ISLAY LIMPET WAVE POWER PLANT” and “THE LIMPET WAVE POWER PROJECT – THE FIRST YEARS OF OPERATION</i>	45, 46
<i>Experimental study on primary efficiency of a new pentagonal backward bent duct buoy and assessment of prototypes</i>	47
<i>Mutriku Wave Power Plant: from the thinking out to the reality</i>	48
<i>The Open Sea Tests of The Offshore Floating Type Wave Power Device “Mighty Whale” - Characteristics of Wave Energy Absorption and Power Generation</i>	49
<i>R&D cm Wave Fcmr Device “Mighty Ihale”</i>	50
<i>Innovative wave energy device lands at Port Fairy</i>	51

<i>Wave Energy Research, Development and Demonstration at Oregon State University</i>	52
<i>Wavelet Analysis Applied to the Wave Energy Resource at an Irish West Coast Site</i>	53
<i>E2I EPRI Assessment Offshore Wave Energy Conversion Devices</i>	54
<i>Prototype testing of the wave energy converter wave dragon</i>	55
<i>Characteristics of Hydrodynamics and Generating Output of the Offshore Floating Wave Energy Device "Mighty Whale"</i>	56

Fuente: Autor

De esta manera los artículos seleccionados fueron llevados a una tabla la cual describe sus características de la manera explicada en la **Tabla 3**

Tabla 3. Tabla de características de los dispositivos seleccionados

Tipología	Foto/numero	nombre del dispositivo	localización	Estado de mar			Potencia aprovechada	Analítico/Experimental	Referencia
				Hs	T	Pot			

Agregando un artículo obtenidos en WEB of science a partir de la ecuación de búsqueda: (Mighty Whale AND ("wave energy" OR "OWC" OR "OCEAN ENERGY" OR "WAVE POWER")) con nombre: *“Characteristics of Hydrodynamics and Generating Output of the Offshore Floating Wave Energy Device “Mighty Whale”* [57]

5.3 CLASIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS SEGÚN SU FUNCIONAMIENTO

Antes de clasificarlos los dispositivos hay que tener en cuenta los parámetros de las olas los cuales hacen su aporte para la selección de los dispositivos aplicables y ordenarlos según sus capacidades energéticas. Para esto se hace una breve

introducción de cómo se calculan la potencia del oleaje incidente según las características del mar basado en texto de (Falnes 2005):

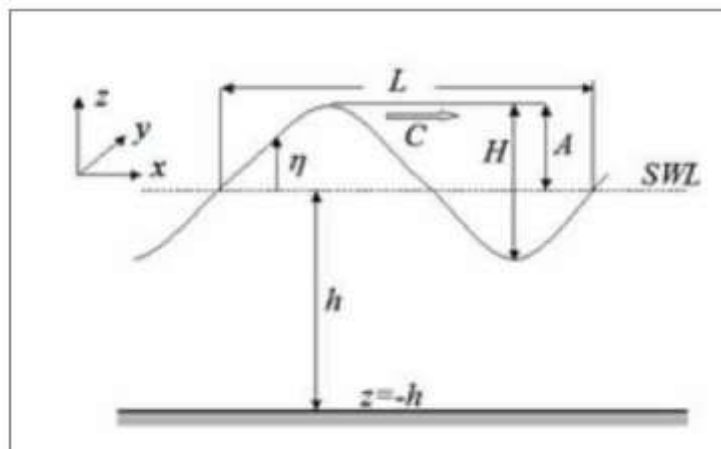
Para la estimación de la energía y la potencia de las olas es necesario describir los parámetros que la definen. Una ola puede representarse como una onda plana, es decir, para un instante de tiempo específico la fase de la ola es constante en todos los planos perpendiculares a la dirección de propagación. El modelo matemático de una onda plana, progresiva, armónica, sobre aguas profundas se presenta analíticamente por la siguiente ecuación:

$$\eta(x, t) = A \cos(\omega t - kx)$$

El modelo de la ecuación anterior $\eta(x, t)$ representa la elevación de la ola en función del tiempo y la distancia. En este modelo el parámetro A representa la elevación máxima o amplitud, ω la velocidad angular temporal, k la velocidad angular espacial, t el tiempo, x la distancia, L la longitud, H la altura, h la profundidad, C la velocidad del frente de ola o velocidad de fase y SWL el nivel de la superficie marina.

Como se ve en la siguiente figura

Figura 7. Descripción grafica de los parámetros de ola



Fuente: (Falnes 2005)

Se puede demostrar que tanto la energía potencial como la cinética asociada a la ola por unidad de área horizontal se pueden calcular mediante la ecuación.

$$E = \frac{\rho g}{4} A^2$$

Donde ρ es la densidad del océano y g la aceleración de la gravedad. La energía total almacenada en la ola por unidad de área será entonces:

$$E = \frac{\rho g}{2} A^2$$

La potencia promedio de la ola por unidad de longitud de frente de ola o transporte de energía de la ola J se puede calcular mediante el producto de la velocidad del frente C por la energía por área horizontal E .

Tomando en cuenta que la velocidad de propagación del frente de una onda plana, progresiva, armónica sobre aguas profundas es:

$$C = V_f = \frac{\omega}{k} = \frac{g}{\omega}$$

Tendremos que el transporte de energía de la ola vendrá dado por la expresa:

$$J = \frac{\rho g}{2\omega} A^2$$

Recordando que la altura H de la ola es dos veces la elevación máxima A y que la frecuencia angular temporal ω es 2π entre el periodo de la ola, la ecuación anterior se puede escribir:

$$J = \frac{\rho g^2}{32\pi} T H^2 \left[\frac{W}{m} \right]$$

Entre las características necesarias para completar la tabla se encuentra la potencia disponible en el sector, esta característica no se muestra en algunas tecnologías, sin embargo, es posible calcularla si se tienen las demás condiciones de ola como la altura significativa y el Periodo que puede ser periodo pico, periodo energético o periodo medio. Estos periodos dependen de si estas son regulares o irregulares.

Para realizar los cálculos de esta energía disponible se tuvieron en cuenta las siguientes ecuaciones, presentadas en los artículos de Mirzaei et al [2] que se toma como referencia el modelo de Goda junto con la aproximación de espectro de Jonswap, donde Chiu et al [3] muestra las ecuaciones basadas en la adaptación

del modelo WAM y SWAM para un pronóstico a gran escala de combinado con el modelo a pequeña escala de refracción/difracción y el modelo de pendiente suave para estimar el los campos de ola y Gonzales-Carrillo et all [4] los cuales estudian el potencia de las olas de México a partir de las referencias anteriores:

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

Donde J [kw/m] representa la energía disponible, Hs [m] la amplitud de la ola, ρ la densidad del agua[kg/m³], g la aceleración de la gravedad [m/s²] y Te el periodo energético de la ola

$$T_e = 0.8572 T_p$$

Donde Tp representa el periodo pico [s]

$$T_m = 0.7718 T_p$$

Donde Tm representa el periodo medio [s]

Una vez obtenidos los artículos se procede a clasificarlos según su funcionamiento con base en la clasificación hecha por Mustapa [1], en cuatro tipos: punto absorbedor, cuerpos activados por olas, columna de agua oscilante y tipo rebose.

5.3.1 Cuerpos activados por olas (WAB). Estos son dispositivos que extraen la energía de las olas a través de la interacción de los cuerpos parcialmente o completamente flotantes al momento en el que se hace contacto con las olas, donde el cuerpo flotante se encuentra paralelo a la dirección de propagación de las olas y este efecto se repite contantemente a medida del paso del oleaje siendo que el cuerpo toma la forma del oleaje en cada una de las olas de tal forma que el movimiento cinético de los cuerpos se aprovecha para convertirlo en energía eléctrica a través de sistemas mecánicos o hidráulicos. **Tabla ubicada en el anexo C** muestra una lista de este tipo de dispositivos junto con sus características ordenadas en Excel basados el esquema de la **tabla 3**.

5.3.2 Punto absorbedor. Estos se definen como dispositivos los cuales son capaces de absorber la energía de las olas en múltiples direcciones que consta de un cuerpo flotando o sumergido. Normalmente estos constan de dos partes, la

primera es el cuerpo flotante y la segunda es la unidad de toma de energía, el cual aprovecha el movimiento relativo de la ola para desplazarse y convertir esta energía cinética provocada en energía eléctrica por medio del sistema pto. La **Tabla** ubicada **en el anexo D** muestra una lista de algunas de las tecnologías de este tipo junto con el clima de ola el que fueron desarrollados junto con sus características ordenadas en Excel basados el esquema de la **tabla 3**

5.3.3 Columna de agua oscilante. Es te tipo de dispositivos utiliza el principio de la ola oscilante y aprovecha sus caídas y alzas de presión al interior de una cámara donde se encuentra una interfaz agua aire que se desplaza con estos cambios de presión, generando que el aire al interior se expanda y se contraía dependiendo del caso, de modo que el movimiento del aire alrededor de la cámara es aprovechado en la mayor parte de los dispositivos de este tipo para la generación de energía por medio de turbinas bidireccionales siendo comúnmente una turbina tipo Wells. **Tabla ubicada en el anexo E** junto con sus características ordenadas en Excel basados el esquema de la **tabla 3**

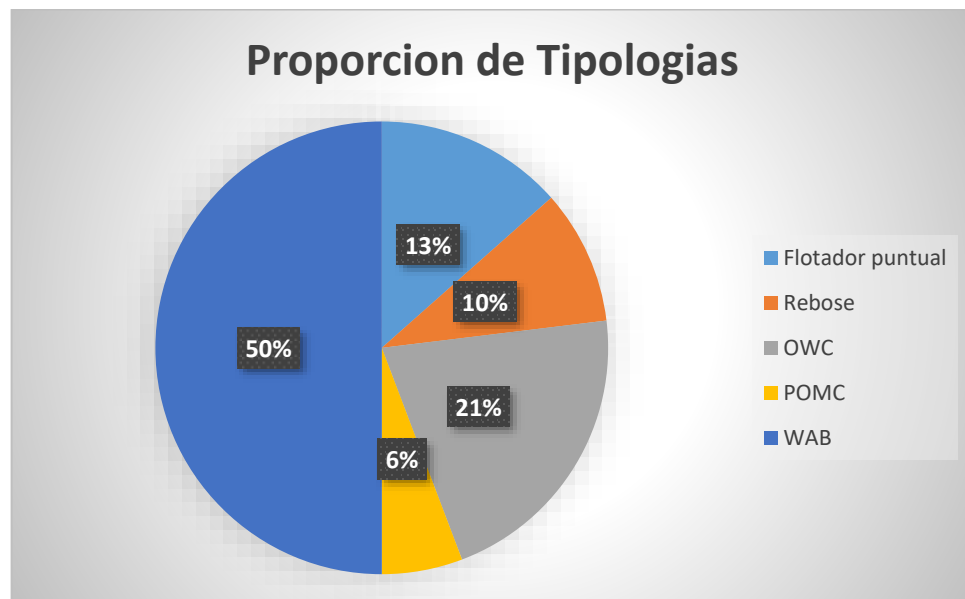
5.3.4 Rebose. Este tipo de tecnología consiste en el almacenamiento de agua en un reservorio, el cual se va llenando a medida que el nivel de las olas alcanza la altura de reservorio, donde se aprovecha la energía potencial del agua y la hace caer en una turbina que la convierte en energía eléctrica, la mayoría de estos dispositivos cuentan con un rompeolas o un concentrador de estas, lo que significa que este tipo de dispositivos solo puede aprovechar las olas en un sentido. **Tabla ubicada en el anexo F** junto con sus características ordenadas en Excel basados el esquema de la **tabla 3**.

5.3.5 Convertidor de movimiento orbital de partícula (POMC). Este es una clasificación extra a las propuestas por Mustapa [1] basada en el aporte por Di Fresco [5], ya que el funcionamiento de esta tecnología se es abarcado en la descripción del autor. Es por eso que se introduce este concepto POMC que abarca

los dispositivos sumergidos cuyo funcionamiento se describe mediante el movimiento unidireccional circular de sus componentes sin necesidad de ser desplazado, este a defenecía del tipo WAB no adopta la forma de la ola la cual lo está impactando. **Tabla ubicada en el anexo G** junto con sus características ordenadas en Excel basados el esquema de la **tabla 3**

Con base a las tablas 1, 2 y 3 se construye una gráfica porcentual que representa la proporción de tecnologías que se han desarrollado a la fecha basados en la clasificación según su funcionalidad, En referencia a la información recolectada de los 52 artículos que se utilizaron.

Figura 8. Proporción porcentual de tipologías



Fuente: Autor

La gráfica anterior denota que la tecnología que mas se ha desarrollado ha sido la WAB (cuerpos activados por olas) con un 50%, seguido por la tipología de OWC (columna de agua oscilante) con 21%, flotador puntual con un 13%, la tipo rebose con un 10% y la ultima seria los tipo POMC (convertidor de movimiento orbitales de partículas) con un 6%

6. SELECCIÓN DE LA TIPOLOGÍA PARA LA APLICACIÓN EN LAS COSTAS DEL CARIBE COLOMBIANO

En este capítulo se cumple uno de los objetivos, el cual tiene como fin la selección de la tipología apropiada para las costas del mar caribe colombiano basado en la organización y revisión sistemática de la información disponible

6.1 APLICABILIDAD DE LOS DISPOSITIVOS EN LOS MARES DE COLOMBIA

Conociendo ya las tipologías y sus características, se pretende ordenarlos según su potencial disponible, de modo que la tipología que posea un potencial similar al colombiano y que pueda obtener la mayor cantidad de energía de este será seleccionada para desarrollar el diseño en Colombia, cuyas costas presentan un potencial energético de tipo 7-8 kw/m o inferior según López, Osorio y Mustapa [1], [6], [7], según esto se buscaran los dispositivos los cuales fueron diseños bajo ese potencial de oleaje:

Tabla 4. Listado de tecnologías ordenados según el potencial energético del mar al que fueron diseñados

Recurso energético disponible según las tipologías

Tipología	Nombre	P disponible	P salida
Punto absorbedor	Uppsala buoy	3.4	4
WAB	DDSWEC	3.95	26.5
OWC	Mighty Whale	4	153
Punto absorbedor	Wavestar	5.2	600
WAB	PS-DEG	5.96	293
WAB	Weptos	6.1	220
WAB	Wec Cylinder	10	13
WAB	DEXA	10	160

OWC	VLCO	10.8	70
WAB	AWS	11.86	174.5
OWC	Spar-Buoy	13.69	-
Rebose	Tapchan	15	350
WAB	STC	15.18	200
POMC	CycWEC	18	32
WAB	THP	18.401	5
WAB	Pendulum	19	150
WAB	SSG	19	200
WAB	Oyster	20	1000
OWC	Limpet	20	10
WAB	Salter Duck	24	375
WAB	SEAREV	25	188
OWC	Mutriku	26	68.5
OWC	BBDB	27.9	200
Punto absorbedor	Aquabuoy	28	250
OWC	U-OWC	31.26	35.19
OWC	PICO	37.9	31.7
WAB	WaveRoller	40	300
Punto absorbedor	L10	40	10
Rebose	WaveCat	45.19	43.08/cámara
WAB	Anaconda	50	1000
Punto absorbedor	OPT buoy	50	45
WAB	BioWave	50	250
OWC	OceanLinx	50	1500
WAB	McCabe	57	257
OWC	Osprey	60	200
Rebose	Wave Dragon	60	940
Punto absorbedor	Wave Bob	80	131
WAB	MP2PTO	86.75	99

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta la tabla anterior es posible apreciar las tecnologías que podrían aplicar para la extracción de energía undimotriz de las costas colombianas, sin embargo, el potencial energético disponible es solo el primer filtro para determinar la tipología óptima, el segundo filtro representa el clima de mar colombiano en

comparación con el de los dispositivos. Siendo así, el mar colombiano cuenta con un clima de ola de tipo $H_s = (1.5-2.5)$ m y un periodo pico de ola $T_p = (7-8)$ s Según Osorio [7], en base a estas condiciones se analizan las tecnologías, como se puede apreciar en la **Tabla 4**.

Tabla 5. Dispositivos preseleccionados, tipología, altura de ola y periodo

Tipología	Nombre	Altura de ola H [m]	Periodo T [s]
OWC	Mighty Whale	0.5/1.7	6/7
Punto absorbedor	Wavestar	0.5-2.5	3.95-4.72
WAB	PS-DEG	0.5-1	10-11
WAB	Weptos	1-3	5-8
WAB	Wec Cylinder	1.34	10
WAB	DEXA	0.17 escala 1:20	2.5 escala 1:20
OWC	VLCO	2-3	5-8
WAB	AWS	0.5-1.25	8-14
OWC	Spar-Buoy	2	7-10

Fuente: Autor

De esta condición se puede apreciar que los dispositivos que pueden suplir las necesidades de Colombia serían el Weptos, VLCO, el Spar Buoy y el Mighty Whale. De estos cuatro dispositivos 3 pertenecen a la misma tecnología OWC mientras que el Weptos es de tipo WAB, de esta manera es claro que la tipología más adaptable a las condiciones energéticas y climatológicas del mar colombiano es la tipología OWC siendo como tipología ideal el Mighty Whale.

7. DESCRIPCIÓN ANALÍTICA DISCRETA DE LA TECNOLOGÍA A A UTILIZARCE

El presente capítulo se encarga de la descripción del modelo matemático de manera discreta, teniendo en cuenta el tercer objetivo cuyo propósito es la descripción analítica de la tecnología a evaluarse en las costas colombianas y su evaluación bajo las condiciones del mar Caribe colombiano, haciendo referencia a los análisis de fuerzas y la descripción del comportamiento de las partículas del mar en función de su profundidad.

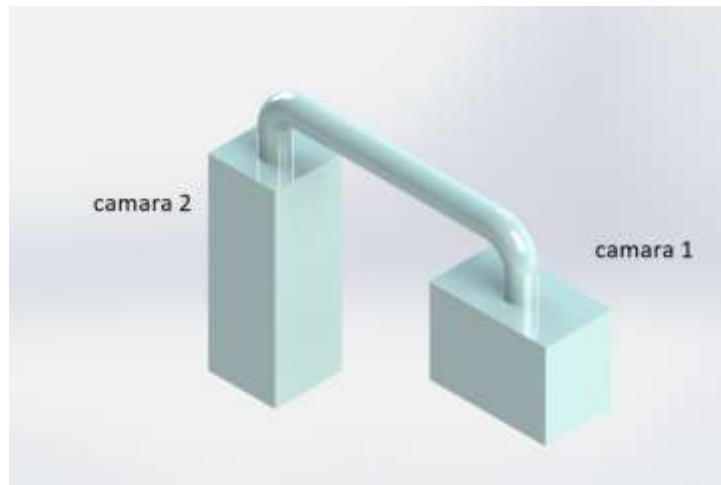
7.1 MODELO MATEMÁTICO

Con el objetivo de continuar con la tipología seleccionada, se precede a la selección de un dispositivo que pertenezca a esta tipología. En base a esto se selecciona el dispositivo, el cual es OWC (columna de agua oscilante) y se caracteriza por ser una OWC completamente sumergido.

Este dispositivo cuenta con dos cámaras de aire sumergidas y conectadas por medio de un ducto para asegurar la conservación del flujo de las dos.

Dichas cámaras son de diferente volumen, existe una diferencia de áreas la cual hace que la oscilación dependa proporcionalmente de ello, de esta manera se espera que cuando el valle de la ola (el punto más bajo de la ola) pase por encima de la primera cámara, la altura de agua en la segunda cámara sea mayor, ya que la presión hidrodinámica en la primera cámara provoca un descenso en la primera cámara y a su vez elevación en la segunda, de este modo se repartiera cada vez que la ola pase por encima del dispositivo.

Figura 9. Esquema general del dispositivo



Fuente: Autor

Con el fin de realizar un análisis más simplificado, la cámara se considera como superficies completamente rígidas, sumergidas y ancladas a un punto en especial. Para el análisis de las cámaras se tuvo en cuenta el equilibrio de las fuerzas que actúan en el sistema suponiendo que en un instante determinado el sistema lleva a equilibrio estático, de esta manera se puede deducir la diferencia máxima de altura máxima entre las dos cámaras.

De este modo las presiones en las cámaras son iguales.

$$P1 = \rho h1 ; P2 = \rho h2$$

$$\frac{F}{A1} = \frac{F}{A2}$$

Remplazando la ecuación de las fuerzas en la ecuación de presiones.

$$\frac{F}{A1} = \rho h1 ; \frac{F}{A2} = \rho h2$$

De modo que al simplificar la ecuación e igualar la ecuación en base a la fuerza.

$$\rho h1 * A1 = \rho h2 * A2$$

$$\frac{(h1 * A1)}{A2} = h2 \quad (1)$$

Donde la variación de la altura en la segunda cámara estará determinada por la relación entre el producto de la altura 1 y el área de la cámara 1 y el área 2.

De este modo las dimensiones de las cámaras son propuestas en base a las características de la ola incidente.

Entre estas características de ola podemos encontrar la longitud de onda, el periodo, la amplitud y la profundidad del agua donde se propaga, en base a estos parámetros se pueden determinar algunos otros como la velocidad y la aceleración.

Entre estos parámetros la longitud de onda es una característica principal ya que determina la distancia horizontal de separación entre las cámaras. Para el cálculo de esta característica se utiliza la **teoría lineal de oleaje** sin temor a un error porcentual significativo. En este sentido la longitud de onda se puede determinar en base a la **ecuación de dispersión** [8] la cual relaciona el número de onda y la superficie libre asociadas a la onda.

$$\omega^2 = gk \tanh kh$$

Con un arreglo matemático la ecuación queda de la forma:

$$\frac{\omega^2 h}{g(kh)} = \tanh kh$$

Donde el número de onda k se puede determinar a partir de la relación de 2π y la longitud de onda:

$$k = \frac{2\pi}{L} \quad (2)$$

La solución de estas raíces no da lugar a una solución que cumpla con las condiciones de prioridad. Esta ecuación es trascendente, por lo que existen varias aproximaciones de forma explícita entre las cuales se destacan la de **Fenton y McKee** según [8]

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \left(\tanh\left(2\pi \frac{\sqrt{\frac{h}{g}}}{T}\right)^{\frac{3}{2}} \right)^{2/3} \quad (3)$$

Donde:

L = Longitud de la ola

g = gravedad

h = profundidad a la que se propagan las partículas de la ola

T = periodo de oscilación de la ola

De este modo, la gravedad, la profundidad y el periodo son características propias de la ola las cuales se pueden obtener bajo registros de monitoreo de las mismas o algunos cálculos de aproximación, entre otras que dependen del lugar donde se realice el estudio; sin embargo, en este caso se supone que ya se conocen para continuar con el modelo es necesario esta suposición, dichas serán comentadas con mayor importancia más adelante al momento de la evaluación del modelo.

7.2 ANÁLISIS HIDRODINÁMICO

Con base a las características de la ola que se conocen, ahora corresponde a el análisis del fluido que interactúa con el dispositivo, para esto es necesario la evaluación del movimiento que realizan estas partículas, es decir sus trayectorias junto con sus velocidades y aceleraciones partiendo de la Teoría lineal nuevamente la cual describe las trayectorias de la partícula como elipses[8]. De esta manera será posible determinar el campo de velocidades y aceleraciones al consideran el potencial de flujo, tal y como lo dice [8]de la siguiente forma

$$\Phi(x, y, z) = -\frac{H g k \cosh(k(h+z))}{2\omega \cosh(kh)} \sin(kx - \omega t) \quad (4)$$

Donde:

H = representa la amplitud de la ola

ω = frecuencia angular de la ola

z =posición vertical de la partícula inicial

x = posición horizontal de la partícula inicial

t = tiempo

Teniendo en cuenta que las trayectorias son linealmente independientes una de la otra se pueden obtener sus velocidades y aceleraciones, sin embargo, la única trayectoria de importancia para nuestro caso de estudio será la trayectoria vertical, ya que dentro de las cámaras el movimiento es netamente vertical y están descritas por:

$$u = -\frac{\delta\Phi}{\delta z} = -\frac{H g k \sinh(k(h+z))}{2\omega \cosh(kh)} \sin(kx - \omega t) \quad (5)$$

$$\frac{\delta u}{\delta t} = -\frac{H g k \sinh(k(h+z))}{2 \cosh(kh)} \cos(kx - \omega t) \quad (6)$$

Donde u y su derivada respecto al tiempo representan la velocidad y aceleración respectivamente.

Ahora conociendo que la teoría lineal de olas afirma que las trayectorias de las partículas son elípticas y se encuentran en función de la profundidad a la que se encuentran, necesitamos definir sus puntos máximos especialmente de la vertical. Para la vertical z según [8] conocemos que su punto máximo estará dado por

$$B = \frac{H}{2} \left(1 + \left(\frac{z}{h} \right) \right) \quad (7)$$

De este modo afirmamos que las partículas realizan de igual forma un movimiento oscilatorio en trayectorias independientes tanto x y z y su ecuación de desplazamiento vertical estará dada por:

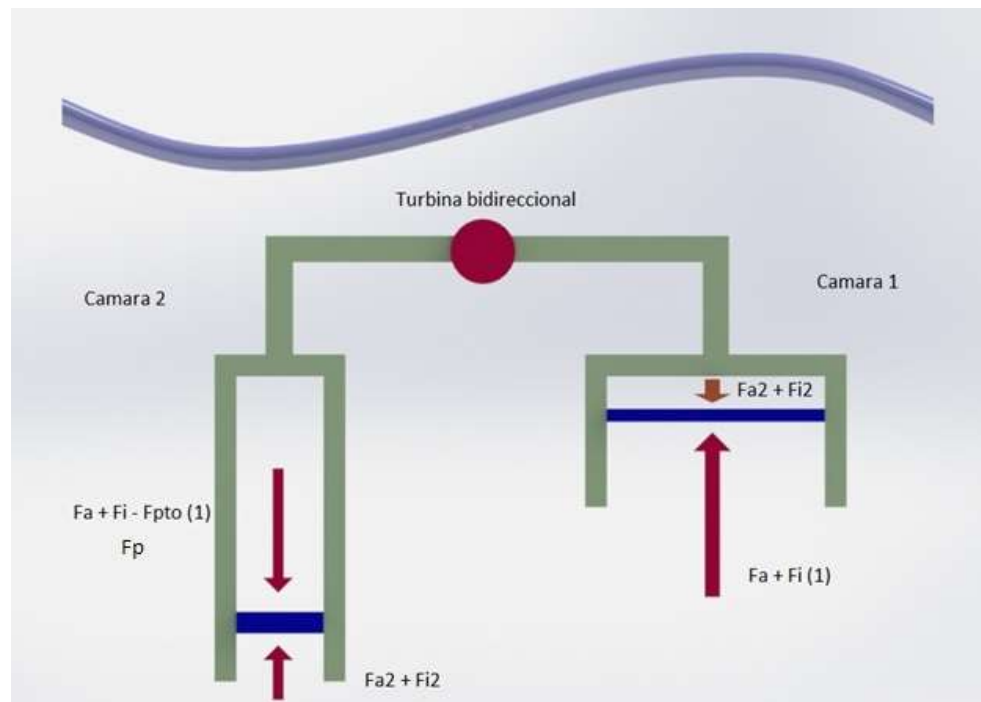
$$Z = B \cos(kx - \omega t) \quad (8)$$

7.3 ANÁLISIS DE FUERZAS SOBRE EL DISPOSITIVO

Una vez estudiado y descrito el comportamiento de las partículas de las olas a una profundidad determinada, se procede al análisis del dispositivo, con el fin de definir la influencia de estos sobre el dispositivo.

Cabe recalcar nuevamente que se utiliza la teoría lineal de oleaje, completamente rígida y perfectamente anclada, con esto se procede al diagrama de cuerpo libre

Figura 10. Diagrama de cuerpo libre sobre las dos cámaras



Fuente: Autor

En la figura x, las líneas azules al interior de las cámaras representan las superficies del agua al interior de las cámaras las cuales separan las interfaces agua aire, estas superficies se enterarán como cuerpos rígidos para un análisis de fuerzas sobre ellas semejante a un pistón en movimiento. En esta imagen F_a representa la fuerza de arrastre que ejercen las partículas del agua sobre la superficie del agua o pistón

y F_i representa la fuerza de inercia en el pistón de igual forma, ambas pertenecientes a la cámara 1

En la cámara 2 se encuentran las fuerzas F_{a2} y F_{i2} las cuales representan las fuerzas de arrastre e inercia sobre la superficie 2 ejercidas por las partículas de agua, y la fuerza F_{pto} representa la fuerza de la toma de fuerza que en este caso será una turbina bidireccional.

Tal y como se observa en las figuras, las magnitudes de las fuerzas son diferentes, dado a que estas dependen del movimiento de la ola lo que implica que en la cámara la cual se encuentre debajo de la cresta de la ola presentara mayor magnitud en sus fuerzas y será la que direcciona el flujo del aire en las cámaras; y la que se encuentre por debajo de su valle será la que tenga magnitudes inferiores.

La superficie de la cámara numero dos será el objeto de análisis para este estudio, donde como se muestra en la figura, influyen en ella las fuerzas de la cámara 1, ya que ambas cámaras se encuentran conectadas a través de un tubo también lleno de aire considerado para este estudio incompresible.

La fuerza F_p representa la fuerza hidrodinámica originaria de la ley de Pascal ejercida de entre los líquidos de las cámaras 1 y 2.

Bajo estos parámetros, la ecuación que describa su movimiento es:

$$F_{a2} + F_{i2} - (F_a + F_i + F_p - F_{pto}) = ma \quad (9)$$

Donde m es la masa del pistón aparente en la superficie 2 y a representa su aceleración y las fuerzas de arrastre e inercia vienen dadas por la ecuación de Morrison:

$$F_a + F_i = \frac{Cd}{2} \rho A u^2 + \int_A P_x dA + k \rho V \frac{\delta u}{\delta t} \quad (10)$$

Donde:

u : velocidad del en la dirección del movimiento de las partículas de agua que inciden en el pistón

$\frac{\delta u}{\delta t}$: Aceleración de las partículas de agua que inciden en el pistón

ρ : densidad del fluido (agua)

V : volumen desplazado por el fluido

Cd : coeficiente de dragado o arrastre

K : coeficiente adimensional

A : área de contacto

m : masa del pistón aparente

De esta forma el coeficiente de arrastre Cd se encuentra en la teoría[9] y representa aquel sobre una placa plana perpendicular al flujo, al igual que el coeficiente k , los cuales según esto tienen valores de 2 y 1 respectivamente.

El término integral de presión en función del área representa el esfuerzo de corte por fricción y presión normal ejercida. Los otros dos términos de la ecuación son consecuencia de la aceleración del flujo a causa del gradiente de presiones y la fuerza originaria de la masa añadida. También el campo de presiones se puede representar:

$$\int_A P_x dA = \rho V \frac{\delta u}{\delta t} \quad (11)$$

Que al traslapar la ecuación (11) en el número (10) se obtiene:

$$F_a + F_i = \frac{Cd}{2} \rho A u^2 + \rho V \frac{\delta u}{\delta t} + k \rho V \frac{\delta u}{\delta t} \quad (12)$$

Con respecto a la fuerza F_p se conoce que esta proviene de la relación entre las fuerzas de según la ley de pascal y estar descrita de forma tal que:

$$F = \rho g (h_2 - h_1)$$

Donde h_1 y h_2 hacen referencia a la altura desde la superficie libre de la ola hasta el pistón aparente de cada cámara. Teniendo en cuenta la ecuación (1) se obtiene

$$Fp = \rho g h_1 \left(\frac{A_1}{A_2} - 1 \right)$$

Finalmente, para esta ecuación, donde A1 y A2 hacen referencia a las áreas transversales de las cámaras 1 y 2, se entiende como h1 a la ecuación que describe el movimiento del pistón de la cámara 1 que en términos de su aceleración será:

$$Fp = \rho g \left(\frac{A_1}{A_2} - 1 \right) \frac{\delta^2 a}{\delta t^2} \quad (13)$$

Donde las ecuaciones (12) y (13) complementan la ecuación (9)

$$\begin{aligned} & \left(\frac{Cd}{2} \rho A_2 u_2^2 + \rho V_2 \frac{\delta u_2}{\delta t} + k \rho V_2 \frac{\delta u_2}{\delta t} \right) \\ & - \left(\frac{Cd}{2} \rho A_1 u_1^2 + \rho V_1 \frac{\delta u_1}{\delta t} + k \rho V_1 \frac{\delta u_1}{\delta t} - F_{pto} + \rho g \left(\frac{A_1}{A_2} - 1 \right) \frac{\delta^2 a}{\delta t^2} \right) \\ & = ma \quad (14) \end{aligned}$$

Donde los subíndices 1 y 2 hacen referencia a los factores influyentes de cada cámara y donde "a" es la aceleración del pistón de la cámara 2

Con respecto a la fuerza Fpto que proviene de la turbina bidireccional, se tomara como una caída de presión representada por un cambio de área en un agujero, es decir:

$$F_{pto} = \frac{k_2 \rho C_2}{2} \left(\frac{\delta a}{\delta t} \right)^2 \quad (15)$$

Donde:

K2: coeficiente de perdidas por cambio de área debido a un agujero en la tubería

C2: coeficiente de pérdidas por cambio de área entre la cámara y la tubería

Finalmente, la ecuación que describe el movimiento del pistón aparente en la cámara 2 es:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{Cd}{2} \rho A_2 u_2^2 + (\rho V_2 + k \rho V_2) \frac{\delta u_2}{\delta t} \right) \\ & - \left(\frac{Cd}{2} \rho A_1 u_1^2 + (\rho V_1 + k \rho V_1) \frac{\delta u_1}{\delta t} - \frac{k_2 \rho C_2}{2} \left(\frac{\delta a}{\delta t} \right)^2 \right) \\ & + \rho g \left(\frac{A_1}{A_2} - 1 \right) \frac{\delta^2 a}{\delta t^2} = ma \quad (16) \end{aligned}$$

Al resolver la ecuación (16) se puede conocer la aceleración del pistón el cual nos dará la velocidad del mismo y servirá para el cálculo de la potencia consumida por el dispositivo pto, es decir la turbina bidireccional a través de la siguiente ecuación:

$$P = 4 C1 \int_0^{T/4} F_{pto} \frac{\delta a}{\delta t} \quad (17)$$

La ecuación es multiplicada por un factor de 4, ya que, en una sola oscilación de la ola, el pistón tendrá dos secciones de velocidades positivas y dos secciones de velocidades negativas, de modo que al integrarse en el tiempo completo su respuesta sería cero, así que se separa en una única sección y se multiplica por 4 ya que son exactamente iguales junto con el coeficiente de cambio de sección.

8. SOLUCIÓN DE LA ECUACIÓN DIFERENCIAL Y

El presente capítulo cumple la parte final del tercer objetivo y el cuarto a su vez, los cuales tienen como fin la evaluación del dispositivo seleccionado bajo las condiciones de las costas del Caribe colombiano en el software de Matlab

8.1 SOLUCIÓN DE LA ECUACIÓN DIFERENCIAL

Para la solución de la ecuación número (15) se realiza un pequeño software en Matlab, en el cual se ingresan los datos característicos de oleaje como es la amplitud de la ola, su periodo y la profundidad donde se encontrará el dispositivo mencionado anteriormente.

En la siguiente figura se muestra un diagrama de operación del guión elaborado en Matlab, los datos de entrada necesarios y los datos de salida.

Figura 11. Descripción de parámetros de entrada y salida del programa

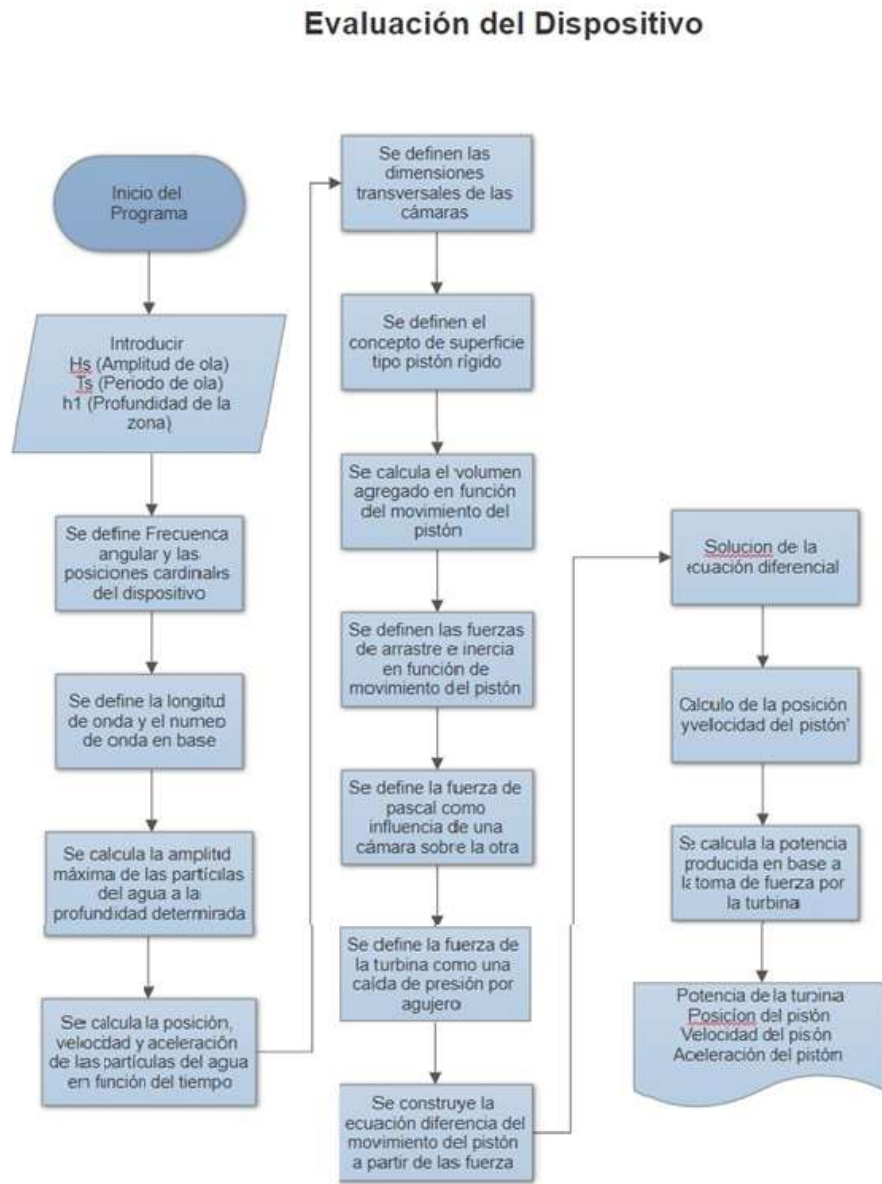


Fuente: Autor

Estos son los parámetros necesarios para evaluar el mismo dispositivo en diferentes sitios, y obtener la potencia extraída por el mismo.

Para describir cómo funciona el programa se describe mediante un diagrama de flujo:

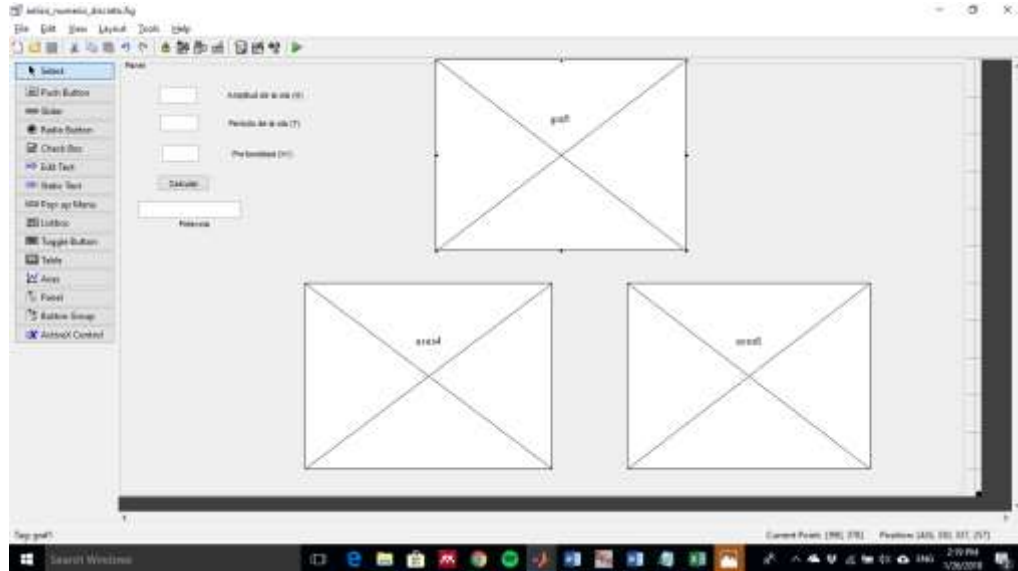
Figura 12. Diagrama de flujo del programa



Fuente: Autor

Una vez conocido el esquema de funcionamiento del programa se procede a la elaboración del guide en Matlab tal y como se muestra en la siguiente figura:

Figura 13. Interfaz de entrada



Fuente: Autor

Para la solución interna del software se utilizaron las ecuaciones descritas anteriormente, como lo fue la longitud de onda (ecuación (3)), la velocidad vertical y aceleración de las partículas del agua que inciden en el pistón (ecuaciones (5) y (6)), las amplitudes máximas del movimiento de las partículas y su movimiento (ecuaciones (7) y (8)). Todas estas al interior de la ecuación número (15). **Ver código en el anexo H.**

Dicho software utiliza los siguientes parámetros supuestos para una evaluación futura sobre un tanque de oleaje con dimensiones de mínimo 2 [m] de profundidad, capacidad de variar el periodo de las olas entre un rango mínimo (0-3 [s]), con una profundidad de 2 [m], un ancho de [1] y una capacidad de generar olas entre un rango de (0-0.5 [m]).

- $X1 = 0$ [m], posición del centro de la cámara 2

- $Z1 = -1.7$ [m] posición inicial de la partícula de agua que interactúa con el pistón de la cámara 1, la cual tiene de punto de referencia la superficie libre del agua por encima del dispositivo
- $H1 = 2$ [m] este factor representa la profundidad del tanque de olas
- 0.12 [m], representa cada uno de los lados de la cámara 2 que forman el área transversal de la misma
- $Z2 = -1.5$ [m], posición inicial de la partícula de agua que interactúa con el pistón de la cámara 2, la cual tiene de punto de referencia la superficie libre del agua por encima del dispositivo
- 0.12 [m] y 0.45 [m], representan el ancho y la profundidad respectivamente de la cámara 1 que forman el área transversal de la misma
- $X2 = L$, la posición central del pistón de la cámara 1 debe estar separado a una distancia igual a la longitud de onda de la ola incidente

Se conocen también los parámetros iniciales como:

- $g = 9.81$ [m/s²] aceleración de la gravedad
- $\rho = 1000$ [kg/m³] densidad del agua

Con respecto a la altura de ola y el periodo del mismo en el canal de oleaje, se asumen los siguientes valores:

- $H = 0.1$ [m] amplitud de la ola
- $T = 1$ [s] periodo de la ola

Los resultados de la evaluación numérica del dispositivo en los tanques se muestran en las **figuras 7, 8 y 9**

9. EVALUACIÓN DEL DISPOSITIVO SEGÚN CARACTERÍSTICAS COLOMBIANAS

Una vez evaluado el comportamiento del dispositivo en el canal de olas, se prosigue a la evaluación según las características de las zonas colombianas, teniendo en cuenta las mismas dimensiones del dispositivo las cuales se han mencionado en la fase 2 las cuales deben experimentar un incremento entre los parámetros de sus dimensiones internas:

H: 0.1 [m] Amplitud de las olas en el mar caribe

T: 1 [s] Periodo de ola en el mar caribe

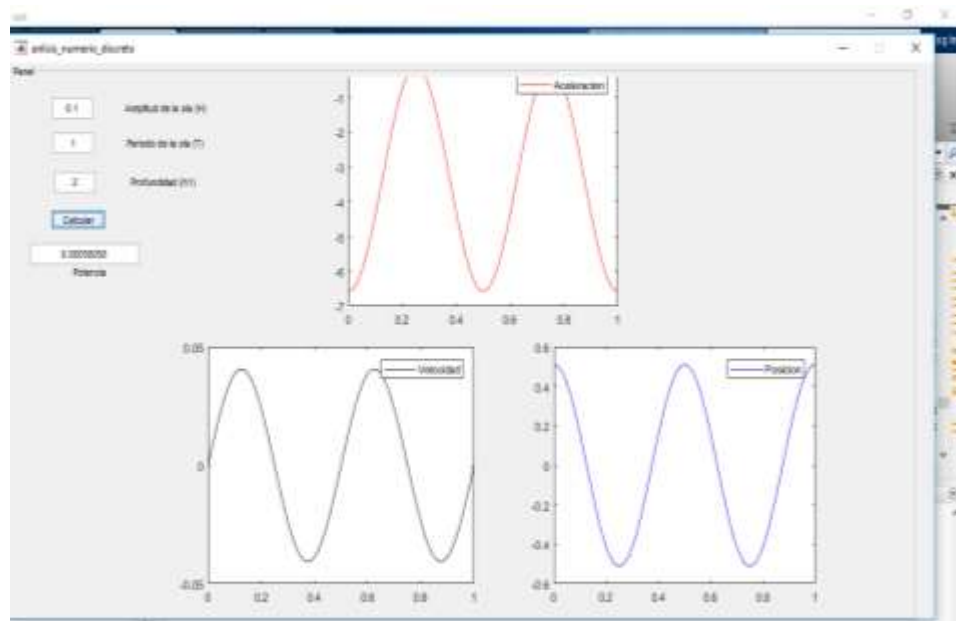
De esta manera al remplazar todos los parámetros mencionados anteriormente, el software se encarga de resolver la ecuación diferencial de segundo orden que se forma a partir de la ecuación de movimiento, posteriormente una vez hallada su aceleración, esta se deriva para obtener la velocidad que al multiplicarse por los términos de pérdidas por cambios de secciones y los demás parámetros de la toma de fuerza de la turbina, se obtiene la potencia que esta produce en una hora..

Finalmente se obtienen las siguientes graficas correspondientes a las aceleraciones, velocidades y posiciones del pistón aparente en un ciclo de tiempo 0-T.

9.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Modelo evaluado según condiciones para laboratorio

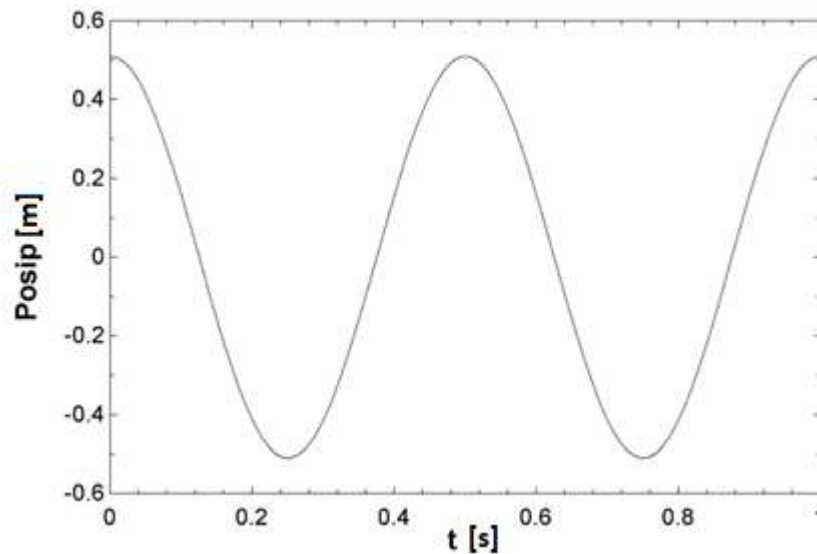
Figura 14. Interfaz evaluada en las condiciones de laboratorio



Fuente: Autor

La grafica anterior muestra el sistema evaluado bajo las condiciones imaginarias de laboratorio en canal de oleaje, donde se muestra su potencia, movimiento, velocidad y aceleración respecto al tiempo, estas graficas corresponden al movimiento de la interfaz del agua aire dentro de las cámaras.

Figura 15. Gráfica de la posición del pistón en un tiempo de un periodo

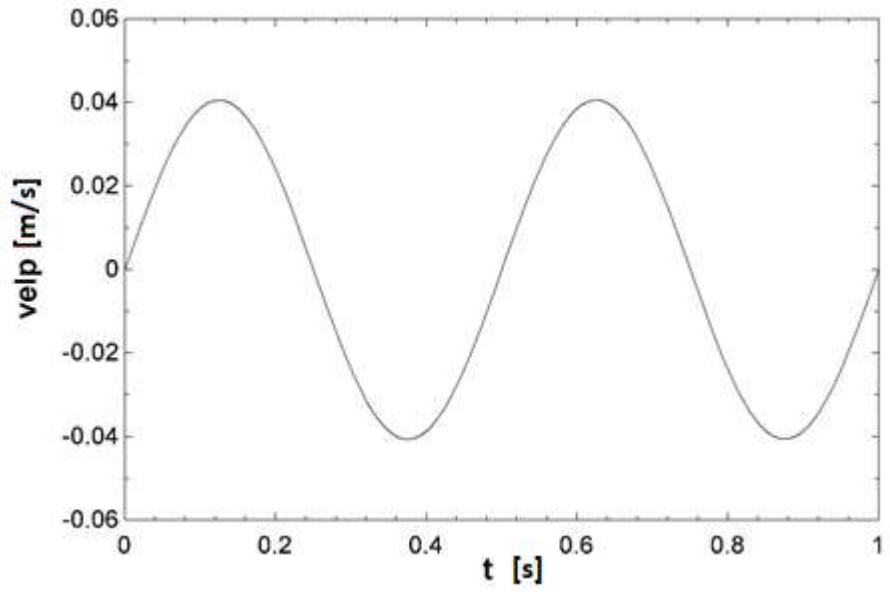


Fuente: Autor

La grafica anterior muestra la posición de la interfaz de agua aire dentro de las cámaras, de esta grafica hay que recalcar que la amplitud máxima de oscilación debe ser inferior a las dimensiones de altura de la cámara, de modo que la cámara también pueda ajustarse a estas dimensiones, en este caso su amplitud es de aproximadamente 0.5 m lo cual no tiene alguna interferencia de con las dimensiones iniciales del dispositivo.

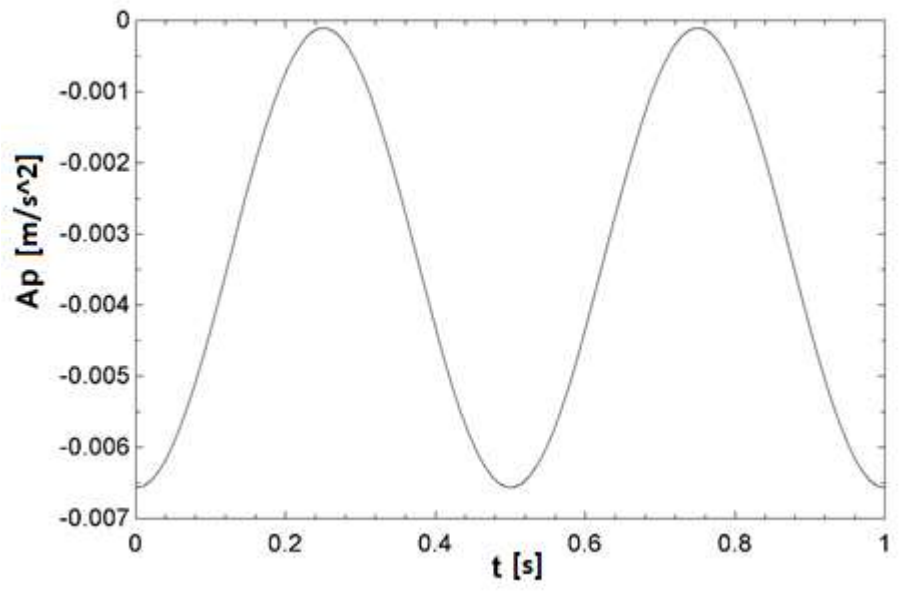
A continuación, se encuentra la gráfica de velocidad del mismo cuerpo, en el cual se debe asegurar que sus valores máximos correspondan a un comportamiento real como por ejemplo en este caso su amplitud de velocidad es de 4 cm/s lo cual es muy razonable respecto a las dimensiones del dispositivo

Figura 16. Gráfica de la velocidad del pistón en un tiempo de un periodo



Fuente: Autor

Figura 17. Gráfica de la aceleración del pistón en un tiempo de un periodo



Fuente: Autor

Esta grafica de aceleración se encuentra en el área negativa ya que, en el momento de la descripción de la ecuación diferencial de movimiento, el movimiento en ese instante se supuso en dirección opuesta.

De esta manera se puede hacer la estimación de que el nivel del agua dentro de las cámaras tenga una amplitud de oscilación de aproximadamente 0.5 m

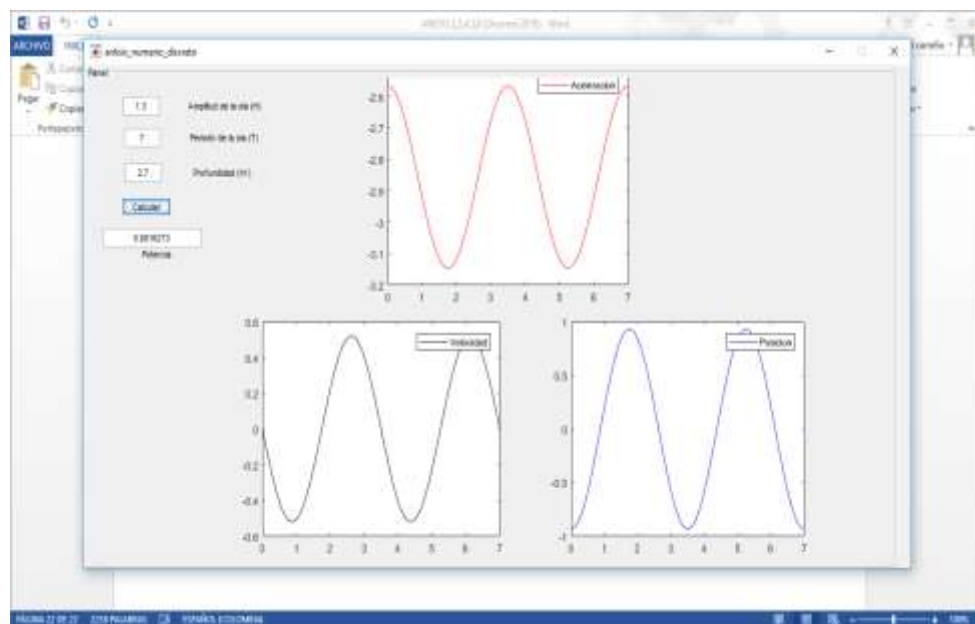
De esta manera se obtiene una potencia de:

$$P = 5.6 \times 10^{-6} \left[\frac{W}{h} \right]$$

9.2 MODELO EVALUADO A CONDICIONES DEL MAR DE COLOMBIA

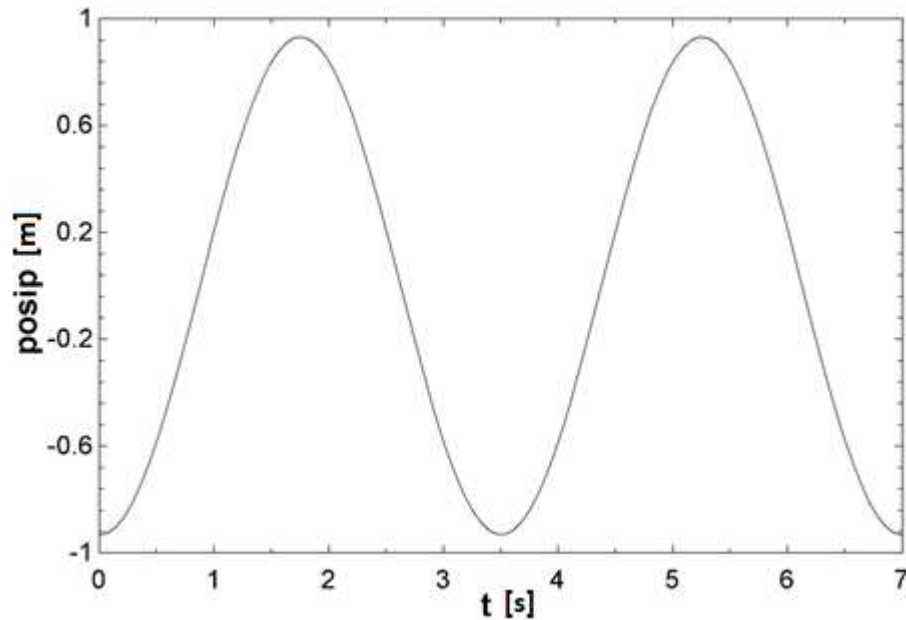
la siguiente grafica muestra los resultados obtenidos tras la evaluación del mismo dispositivo en condiciones marítimas del mar caribe colombiano, donde se obtienen resultados con las condiciones mencionadas anteriormente.

Figura 18. Interfaz evaluada en condiciones de Colombia



Fuente: Autor

Figura 19. Gráfica de la posición del pistón en un tiempo de un periodo

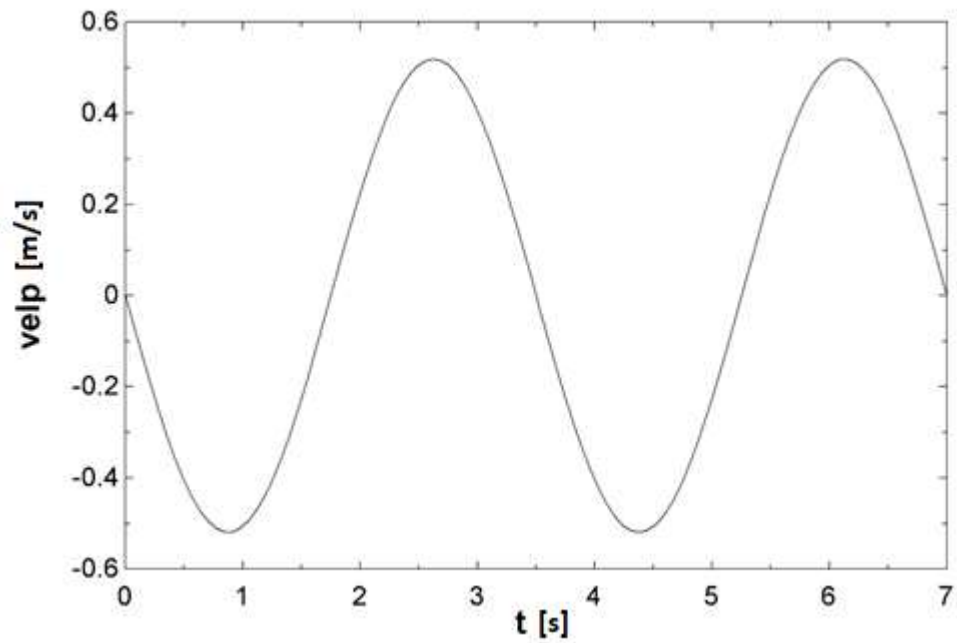


Fuente: Autor

La grafica anterior muestra la posición de la interfaz de agua aire dentro de las cámaras, de esta grafica hay que recalcar que la amplitud máxima de oscilación debe ser inferior a las dimensiones de altura de la cámara, de modo que la cámara también pueda ajustarse a estas dimensiones, en este caso su amplitud es de aproximadamente 0.9 m lo cual genera se recomienda un aumento en la altura de la cámara o en el área transversal de la misma.

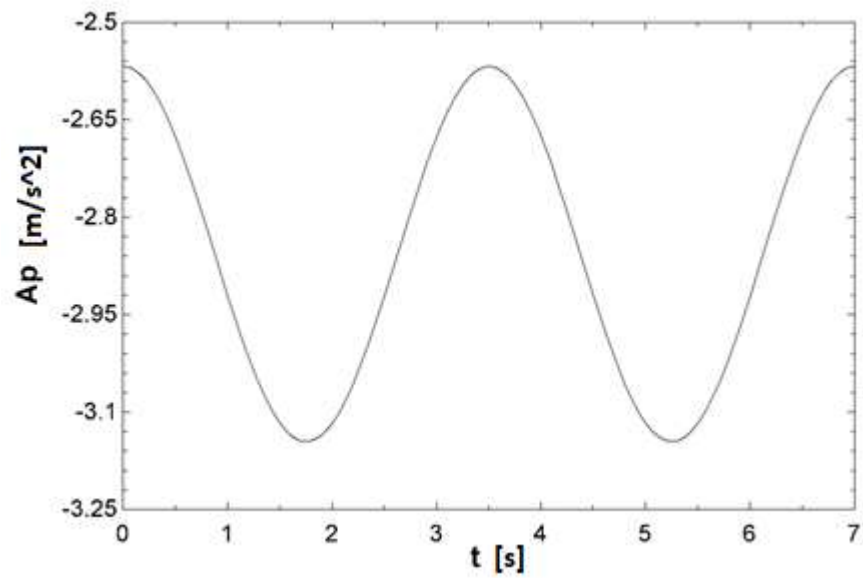
A continuación, se encuentra la gráfica de velocidad del mismo cuerpo, en el cual se debe asegurar que sus valores máximos correspondan a un comportamiento real como por ejemplo en este caso su amplitud de velocidad es de 5 cm/s lo cual es muy razonable respecto a las dimensiones del dispositivo

Figura 20. Gráfica de la velocidad del pistón en un tiempo de un periodo



Fuente: Autor

Figura 21. Gráfica de la aceleración del pistón en un tiempo de un periodo



Fuente: Autor

Esta grafica de aceleración se encuentra en el área negativa ya que, en el momento de la descripción de la ecuación diferencial de movimiento, el movimiento en ese instante se supuso en dirección opuesta.

De esta manera se puede observar que la superficie al interior de las cámaras tendrá una amplitud máxima de 0.9 [m] si el mismo dispositivo se llevara al mar bajo las condiciones especificadas anteriormente.

Para este análisis también es necesario cambiar la profundidad a la que se encuentra el dispositivo a una de 2.5 [m], ya que esta también afecta los resultados sobre la potencia y dado a que la amplitud y periodo de ola también han variado, su profundidad no puede ser la misma.

De esta manera se estima una obtención de potencia a la salida de la turbina por un valor de:

$$P = 5.8 \times 10^{-4} \left[\frac{W}{h} \right]$$

Como se puede observar en las gráficas del modelo para condiciones de laboratorio y el modelo a escala real, el comportamiento de los parámetros posición, velocidad y aceleración, son de carácter armónico y sinusoidal en gran parte gracias a la suposición de la teoría de onda lineal realizada en un principio de la descripción del modelo.

También se puede observar de estas graficas que, dentro de un periodo de la ola, la superficie libre de la cámara en su interior (pistón aparente) realiza dos oscilaciones, confirmando que efectivamente este no se mueve bajo las mismas características de las partículas del agua que influyen sobre él.

10. CONCLUSIONES

- Se propuso una clasificación extra denominada POMC (convertidor de movimiento de orbital de partícula), basado en los 52 artículos seleccionados, para abarcar los dispositivos que no se entran en las categorías mencionadas por el autor Mustapa en su artículo “**Wave energy device and breakwater integration: A review**”, debido a que en ninguna de estas categorías se ordenan dispositivos de funcionamiento de tipo orbital, es decir, dispositivos los cuales giran en torno a su mismo eje y no se adaptan al movimiento de la ola como los hacen los WAB.
- Se selecciono la tipología **OWC, columna de agua oscilante**, como la tipología apropiada para la conversión de energía undimotriz en las costas del mar caribe colombiano según la información recolectada; basado en los filtros de potencia disponible en el mar de los 52 dispositivos en comparación con el del caribe colombiano de 4-14 [kw/m] y los filtros de altura de ola y periodo de los dispositivos sobre los del mar colombiano de 1.3 [m] y 7 [s] respectivamente
- Se desarrollo programa en el software de Matlab el cual calcula la potencia producida por la turbina y describe el movimiento de la superficie libre al interior de las cámaras con base al modelo matemático propuesto en el trabajo del funcionamiento del dispositivo físico desarrollado por la UNAM de tipología OWC, tomando de referencia el modelo matemático basado en la teoría lineal de ola propuesto por el libro “Documento de Referencia” del grupo de ingeniería oceanográfica y costas de la Universidad de Cantabria, que describen las fuerzas que actúan sobre un cuerpo sumergido sometido al oleaje.
- Se obtuvo una potencia de 5.8×10^{-4} W en la turbina bidireccional junto con las gráficas del comportamiento cinético del dispositivo de la UNAM evaluado bajo las condiciones de ola de las costas del mar caribe colombiano que

corresponden a una altura de ola de 1.3 [m], periodo de 7 [s] y profundidad de 2.7 [m].la altura

11. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Se recomienda la utilización de una turbina direccional específica para obtener resultados de potencia obtenida más específicos y considerar la absorción del aire dentro de las cámaras por el agua

Los trabajos futuros pueden ir enfocados a varios parámetros que no se tuvieron en cuenta para la evaluación de este modelo como su estudio bajo condiciones más reales sin utilizar la teoría lineal de olas, también se recomienda la construcción del dispositivo para su evaluación en un canal de oleaje y validar los resultados con el presente junto con una evaluación en simulación CFD que avale las características, para la evaluación bajo condiciones reales de oleaje, se recomienda una ampliación en las áreas transversales de las cámaras, de modo que se pueda obtener mayor potencia y disminución en la elevación de la columna de agua al interior de la cámara.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. A. Mustapa, O. B. Yaakob, Y. M. Ahmed, C. K. Rheem, K. K. Koh, and F. A. Adnan, "Wave energy device and breakwater integration: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 77, no. September 2015, pp. 43–58, 2017.
- [2] A. Mirzaei, F. Tangang, and L. Juneng, "Wave energy potential along the east coast of Peninsular Malaysia," *Energy*, vol. 68, pp. 722–734, 2014.
- [3] F.-C. Chiu, W.-Y. Huang, and W.-C. Tiao, "The spatial and temporal characteristics of the wave energy resources around Taiwan," *Renew. Energy*, vol. 52, pp. 218–221, 2013.
- [4] A. Gonzalez-Carrillo, R. Ruiz-Cabrera, Q. C. Hernandez-Escobedo, A. Fernández-García, and F. Manzano-Agugliaro, "Wave energy resource assessment at southern coast of the Gulf of Mexico," *Dyna*, vol. 82, no. 193, pp. 49–55, 2015.
- [5] L. Di Fresco and A. Traverso, "Energy conversion of orbital motions in gravitational waves: Simulation and test of the Seaspoon wave energy converter," *Energy Convers. Manag.*, vol. 86, pp. 1164–1172, 2014.
- [6] I. López, J. Andreu, S. Ceballos, I. Martínez De Alegría, and I. Kortabarria, "Review of wave energy technologies and the necessary power-equipment," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 27, pp. 413–434, 2013.
- [7] A. F. Osorio, R. D. Montoya, J. C. Ortiz, and D. Peláez, "Construction of synthetic ocean wave series along the Colombian Caribbean Coast: A wave climate analysis," *Appl. Ocean Res.*, vol. 56, pp. 119–131, 2016.
- [8] D. G. de C. Universidad de Cantabria, grupo de energias osceanicas, Ministerio de Medio Ambiente, *Dinámicas*. 2000.
- [9] Universidad de Chile, "Mecanica de Fluidos: Coeficientes de Arrastre y Sustentación."

- [10] R. P. F. Gomes, J. C. C. Henriques, L. M. C. Gato, and A. F. O. Falcão, "Wave power extraction of a heaving floating oscillating water column in a wave channel," *Renew. Energy*, vol. 99, pp. 1262–1275, 2016.
- [11] J. C. C. Henriques, R. P. F. Gomes, L. M. C. Gato, A. F. O. Falcão, E. Robles, and S. Ceballos, "Testing and control of a power take-off system for an oscillating-water-column wave energy converter," *Renew. Energy*, vol. 85, pp. 714–724, 2016.
- [12] S. G. Siegel, "Wave climate scatter performance of a cycloidal wave energy converter," *Appl. Ocean Res.*, vol. 48, pp. 331–343, 2014.
- [13] L. Wan, Z. Gao, T. Moan, and C. Lugni, "Experimental and numerical comparisons of hydrodynamic responses for a combined wind and wave energy converter concept under operational conditions," *Renew. Energy*, vol. 93, pp. 87–100, 2016.
- [14] G. Bracco, A. Cagninei, E. Giorcelli, G. Mattiazzo, D. Poggi, and M. Raffero, "Experimental validation of the ISWEC wave to PTO model," *Ocean Eng.*, vol. 120, pp. 40–51, 2016.
- [15] K. Liu and J. P. Ou, "A novel tuned heave plate system for heave motion suppression and energy harvesting on semi-submersible platforms," *Sci. China Technol. Sci.*, vol. 59, no. 6, pp. 897–912, 2016.
- [16] B. Bahmanifirouzi, E. Farjah, T. Niknam, and E. Azad Farsani, "A new hybrid hbmo-sfla algorithm for multi-objective distribution feeder reconfiguration problem considering distributed generator units," *Iran. J. Sci. Technol. - Trans. Electr. Eng.*, vol. 36, no. E1, pp. 51–66, 2012.
- [17] D. T. Dung, W. Koo, K. K. Ahn, N. M. Tri, S. Kim, and P. C. Binh, "Analysis, design and experiment investigation of a novel wave energy converter," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 10, no. 2, pp. 460–469, 2016.
- [18] G. Moretti, M. Fontana, and R. Vertechy, "Model-based design and optimization of a dielectric elastomer power take-off for oscillating wave surge energy converters," *Meccanica*, vol. 50, no. 11, pp. 2797–2813, 2015.
- [19] B. H. Kim, J. Wata, M. A. Zullah, M. R. Ahmed, and Y. H. Lee, "Numerical

- and experimental studies on the PTO system of a novel floating wave energy converter,” *Renew. Energy*, vol. 79, no. 1, pp. 111–121, 2015.
- [20] T. Börner and M. Alam, “Real time hybrid modeling for ocean wave energy converters,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 43, pp. 784–795, 2015.
- [21] R. Sánchez-Dirzo, R. G. González-Huerta, E. Mendoza, R. Silva, and J. M. Sandoval Pineda, “From wave to jet and from jet to hydrogen: A promising hybrid system,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 39, no. 29, pp. 16628–16636, 2014.
- [22] G. Malara and F. Arena, “Analytical modelling of an U-Oscillating Water Column and performance in random waves,” *Renew. Energy*, vol. 60, pp. 116–126, 2013.
- [23] R. V. Chaplin, “Seaweaver: A new surge-resonant wave energy converter,” *Renew. Energy*, vol. 57, pp. 662–670, 2013.
- [24] M. T. MacNicoll, K. P. Thiagarajan, and J. Rohrer, “Modeling of the Efficiency of a Semisubmerged Ocean Wave Energy Converter,” *Mar. Technol. Soc. J.*, vol. 47, no. 4, pp. 177–186, 2013.
- [25] T. K. A. Brekken, K. Rhinefrank, A. Von Jouanne, A. Schacher, J. Prudell, and E. Hammagren, “Scaled development of a novel wave energy converter including numerical analysis and high-resolution tank testing,” *Proc. IEEE*, vol. 101, no. 4, pp. 866–875, 2013.
- [26] H. Heikkinen, M. J. Lampinen, and J. Böling, “Analytical study of the interaction between waves and cylindrical wave energy converters oscillating in two modes,” *Renew. Energy*, vol. 50, pp. 150–160, 2013.
- [27] H. He, Q. Qu, and J. Li, “Numerical simulation of section systems in the Pelamis wave energy converter,” *Adv. Mech. Eng.*, vol. 2013, pp. 1–8, 2013.
- [28] A. Pecher, J. P. Kofoed, and T. Larsen, “Design specifications for the hanstholm WEPTOS wave energy converter,” *Energies*, vol. 5, no. 4, pp. 1001–1017, 2012.
- [29] L. Margheritini, D. Vicinanza, and P. Frigaard, “SSG wave energy converter: Design, reliability and hydraulic performance of an innovative overtopping

- device,” *Renew. Energy*, vol. 34, no. 5, pp. 1371–1380, 2009.
- [30] B.-H. Cho *et al.*, “Modeling and control of a 75kW class variable liquid-column oscillator for highly efficient wave energy converter,” *Ocean Eng.*, vol. 38, no. 2–3, pp. 436–443, 2011.
- [31] D. Valério, P. Beirão, and J. Sá da Costa, “Optimisation of wave energy extraction with the Archimedes Wave Swing,” *Ocean Eng.*, vol. 34, no. 17–18, pp. 2330–2344, 2007.
- [32] A. P. McCabe, A. Bradshaw, J. A. C. Meadowcroft, and G. Aggidis, “Developments in the design of the PS Frog Mk 5 wave energy converter,” *Renew. Energy*, vol. 31, no. 2, pp. 141–151, 2006.
- [33] A. I. Vakis and J. S. Anagnostopoulos, “Mechanical design and modeling of a single-piston pump for the novel power take-off system of a wave energy converter,” *Renew. Energy*, vol. 96, pp. 531–547, 2016.
- [34] J. Kim, H. M. Kweon, W. M. Jeong, I. H. Cho, and H. Y. Cho, “Design of the dual-buoy wave energy converter based on actual wave data of east sea,” *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.*, vol. 7, no. 4, pp. 739–749, 2015.
- [35] H. Fernandez *et al.*, “The new wave energy converter WaveCat: Concept and laboratory tests,” *Mar. Struct.*, vol. 29, no. 1, pp. 58–70, 2012.
- [36] V. Risorgimento, “and significant wave height H,” pp. 1–12, 2009.
- [37] V. Heller, J. Chaplin, and F. Farley, “Physical model tests of the anaconda wave energy converter,” *Proc. 1st IAHR Eur. Congr.*, vol. 1, no. March, pp. 3–8, 2000.
- [38] J. Cordonnier, F. Gorintin, A. De Cagny, A. H. Clément, and A. Babarit, “SEAREV: Case study of the development of a wave energy converter,” *Renew. Energy*, vol. 80, pp. 40–52, 2015.
- [39] R. Alamian, R. Shafaghat, S. J. Miri, N. Yazdanshenas, and M. Shakeri, “Evaluation of technologies for harvesting wave energy in Caspian Sea,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 32, pp. 468–476, 2014.
- [40] J. Wu *et al.*, “Performance analysis of solo Duck wave energy converter arrays under motion constraints,” *Energy*, vol. 139, pp. 155–169, 2017.

- [41] T. W. Thorpe, "A Brief Review of Wave Energy," *Tech. Rep. ETSU-R120*, no. May, p. 200, 1999.
- [42] J. Lucas, M. Livingstone, M. Vuorinen, and J. Cruz, "Development of a wave energy converter (WEC) design tool – application to the WaveRoller WEC including validation of numerical estimates," *Proc. 4th Int. Conf. Ocean Energy*, 2012.
- [43] T. Whittaker, D. Collier, M. Folley, M. Osterried, and A. Henry, "The development of Oyster - A shallow water surging wave energy converter ,” *7th Eur. Wave Tidal Energy Conf.*, no. January 2017, 2007.
- [44] T.-F. Chan and L. L. Lai, "Renewable energy utilization in China," *2011 IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, pp. 1–4, 2011.
- [45] S. Osanai, H. Kondo, Y. Mizuno, and T. Watabe, "CHAPTER 357 FAESIBILITY TESTS OF NEW PENDULAR-TYPE WAVE,” pp. 1–3.
- [46] F. He, Z. Huang, and A. W. K. Law, "An experimental study of a floating breakwater with asymmetric pneumatic chambers for wave energy extraction,” *Appl. Energy*, vol. 106, pp. 222–231, 2013.
- [47] R. F. Luri, "OTC 2313 Applicatio on of Pow erBuoy Wave En ergy Co nverter T Technolog y to Rem mote Power Re equireme ents in Oi l and Gas s Field De evelopme ents.”
- [48] A. Weinstein, G. Fredrikson, M. J. Parks, and K. Nielsen, "AquaBuOY - The Offshore Wave Energy Converter Numerical Modeling and Optimization,” *MTTS/IEEE Techno-Ocean*, pp. 1854–1859, 2004.
- [49] R. Waters *et al.*, "Experimental results from sea trials of an offshore wave energy system,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. 90, no. 3, pp. 2012–2015, 2007.
- [50] M. Leijon *et al.*, "Wave energy from the north sea: Experiences from the lysekil research site,” *Surv. Geophys.*, vol. 29, no. 3, pp. 221–240, 2008.
- [51] M. M. Kramer, L. Marquis, P. Frigaard, W. S. a S, and P. Allé, "Performance Evaluation of the Wavestar Prototype,” *9th Eur. Wave Tidal Energy Conf.*, 2011.
- [52] T. Queen, "1 November 1998 to 30 April 2002 Research funded in part by

- THE EUROPEAN COMMISSION In the framework of the Non Nuclear Energy Programme JOULE III,” no. April, pp. 1–62, 2002.
- [53] T. J. T. Whittaker, W. Beattie, M. Folley, C. Boake, a Wright, and M. Osterried, “The Limpet Wave Power Project – The First Years Of Operation,” *Scottish Hydraul. Study Gr. - Semin. Hydraul. Asp. Renew. Energy*, no. 1997, pp. 1–8, 2004.
- [54] B. jun Wu, M. Li, R. kang Wu, Y. qiu Zhang, and W. Peng, “Experimental study on primary efficiency of a new pentagonal backward bent duct buoy and assessment of prototypes,” *Renew. Energy*, vol. 113, pp. 774–783, 2017.
- [55] Y. Torre-Enciso, I. Ortubia, L. I. López de Aguilera, and J. Marqués, “Mutriku Wave Power Plant: from the thinking out to the reality,” *8th Eur. Wave Tidal Energy Conf. (EWTEC 2009)*, pp. 319–328, 2009.
- [56] N. Town and W. District, “The Offshore Floating Type Wave Power Device ‘ Mighty Whale ’ Open Sea Tests ; Part1 : An overview of the experimental system and the mooring operations,” no. July, pp. 579–585, 1998.
- [57] H. Hotta, Y. Washio, H. Yokozawa, and T. Miyazaki, “R&D on wave power device ‘Mighty Whale,’” *Renew. energy*, vol. 9, no. 1–4, pp. 1223–1226, 1996.
- [58] R. Tractor, “Media Release,” *Media*, vol. 61, no. November, 2010.
- [59] A. von Jouanne and T. Brekken, “Wave energy research, development and demonstration at Oregon State University,” *2011 IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, pp. 1–7, 2011.
- [60] B. G. Cahill and A. W. Lewis, “Wavelet analysis applied to the wave energy resource at an irish west coast site,” *Ocean. 2010 Mts/IEEE Seattle*, pp. 1–7, 2010.
- [61] M. Previsic, R. Bedard, and G. Hagerman, “E2I EPRI Assessment Offshore Wave Energy Conversion Devices,” *E2I EPRI WP – 004 – US – Rev 1*, pp. 1–52, 2004.
- [62] J. P. Kofoed, P. Frigaard, E. Friis-Madsen, and H. C. Sørensen, “Prototype

testing of the wave energy converter wave dragon,” *Renew. Energy*, vol. 31, no. 2, pp. 181–189, 2006.

- [63] H. Osawa, T. Miyazaki, and S. Miyajima, “Characteristics of Hydrodynamics and Generating Output of the Offshore Floating Wave Energy Device ‘Mighty Whale,’” *J. Offshore Mech. Arct. Eng.*, vol. 135, no. 1, p. 11901, 2013.

BIBLIOGRAFÍA

ALIANZA EL HERALDO. “Crisis Energética en Colombia es por Falta de Planeación”. En: periódico el Heraldo. 2016

ANDREAS, Uihlein. “Wave and tidal current energy – A review of the current state of research beyond technology”. En: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elseiver, 2016

BORG, Michael. “Use of a Wave Energy Converter as a Motion Suppression Device for Floating Wind Turbines”. En: *Energy Procedia*. Elseiver, 2015

CHANDRASEKARAN. “Design, Development and Experimentation of Deep Ocean Wave Energy Converter System”. En: *Energy Procedia*. Elseiver, 2015

CONSORCIO ENERGÉTICO CORPOEMA. En: *Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE)*. UPME, 2010

CORSINI, Alessandro. TORTORA, Eileen. "Preliminary Assessment of Wave Energy Use in an Off-grid Minor Island Desalination Plant". En: Energy Procedia. Elsevier,2015

CUERVO. Javier. "Daños Ambientales, Los Pecados de las hidroeléctricas". En: UN Periódico, Universidad Nacional de Colombia. 2012

CUEVAS. Angélica. "Las Cuentas Pendientes de la Represa

DNP. "Plan Nacional de Desarrollo 2015-2018" 2016

EDITOR. "El Dilema de la Energía Eléctrica en la Guajira y el Caribe". En: Diario del Norte. 2009

Falnes J. "Ocean waves and oscillating systems: linear interactions including wave energy extraction". Cambridge University Press. 2005.

GÓMEZ, Luis Alexander. En: actualización del inventario de posibilidades de generación de energía mareomotriz en Colombia. Universidad De La Salle, 2008.

GÓMEZ. Luis. "Actualización Del Inventario De Posibilidades De Generación De Energía Mareomotriz En Colombia". Universidad de la Salle. Bogotá D.C. 2008

GONZALES, María Camila. En: El país empieza a pensar en las energías alternativas. Periódico el tiempo, 2016

HURTADO, Samir. En: Localización técnica de una pequeña central mareomotriz en la costa colombiana. Universidad industrial de Santander,2006

HURTADO. Holmer. "Localización Técnica de una Pequeña Central Mareomotriz en la Costa Colombiana". Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga 2006

I.Lopez,J.Andreu, S.Ceballos, I. Martinez De Alegria, and I. Kortabarria, "Review of wave energy technologies and the necessary power-equipment," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol 27, pp. 413-434, 2013

ISAGEN S.A. "Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Parque Eólico"

KIM, Jeongrok. KWEON, Hyuck-Min. JEONG, Weon-Mu. CHO, Il-Hyoung. CHO, Hong-Yeon. "Design of the dual-buoy wave energy converter based on actual wave data of East Sea". En: *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*. Ijnaoe snak, 2015

KWEON. Hyuck-Min. "*Design of the Dual-Buoy Wave Energy Converter Based on Actual Wave Data of East Sea*". *Gyeongju University, Gyeongju. Korea. 2015*

M. D. Torres, *Energías renovables y eficiencia energética*

MARCIAS, Ana. UPME, "Estudio de Generación Eléctrica Bajo Escenario de Cambio Climático",2013

OSORIO Andrés, MONTOYA Ruben, ORTIZ Juan, PELÁEZ Daniel. "*Construction of synthetic ocean wave series along the Colombian Caribbean Coast: A wave climate analysis*" Grupo OCEANICOS, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellin Colombia. 2015

OSORIO, Andrés Fernando. En: *Potencial de producción de energías marinas en Colombia*. Grupo de Investigación en Oceanografía e Ingeniería Costera (OCEÁNICOS), 2011.

PONGDUANG, Sathit. "Experimental Investigation of Helical Tidal Turbine Characteristics with Different Twists". En: Renewable Energy. Elseiver,2015
Ranchería". En Periódico El Espectador. 2015

SIEL. Informes de Cobertura. Cobertura de Energía Eléctrica a 2014.

STANSBY, Peter. "Fast optimisation of tidal stream turbine positions for power generation in small arrays with low blockage based on superposition of self-similar far-wake velocity deficit profiles". En: Renewable Energy. Elseiver,2015

STANSBY. "Three-float broad-band resonant line absorber with surge for wave energy conversión". En: Renewable Energy. Elseiver,2015

UPME. Ministerio de Minas y Energía. "Proyección de Demanda de Energía en Colombia". 2010

VELÁZQUEZ, Ramiro. En: Antioquia piensa en la energía del oleaje. Periódico el colombiano, 2010.

ANEXOS

ANEXO A. OTRAS BIBLIOGRAFÍAS

Se muestran la bibliografía de los demás artículos analizados para la selección del dispositivo

- Diamond, C. A., Reilly, O. M. O., & Sava, Ö. (2013). The impulsive effects of momentum transfer on the dynamics of a novel ocean wave energy converter, *332*, 5559–5565. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2013.05.030>
- Folley, M., & Whittaker, T. J. T. (2009). The effect of sub-optimal control and the spectral wave climate on the performance of wave energy converter arrays. *Applied Ocean Research*, *31*(4), 260–266. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2009.10.006>
- Yu-hsien, L. I. N., & Ming-chung, F. (2012). The Assessment of Ocean Wave Energy Along the Coasts of Taiwan *, *26*(3), 413–430. <https://doi.org/10.1007/s13344-012-0031-3>
- Bostro, C., Savin, A., & Waters, R. (2017). Temperature Measurements in a Linear Generator and Marine Substation for Wave Power, *134*(May 2012), 1–6. <https://doi.org/10.1115/1.4004629>
- Murray, D. B., Member, G. S., Hayes, J. G., Sullivan, D. L. O., & Egan, M. G. (2012). Supercapacitor Testing for Power Smoothing in a Variable Speed Offshore Wave Energy Converter, *37*(2), 301–308.
- Ching-piao, T., Ching-her, H., Chien, H., & Hao-yuan, C. (2012). Study on the wave climate variation to the renewable wave energy assessment. *Renewable Energy*, *38*(1), 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.06.041>
- Ashok, A., Shah, J., Warikoo, V., & Chakraborty, A. (2017). Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma Surgical management of pelvic bone sarcoma with internal hemipelvectomy : Oncologic and Functional outcomes. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, 5–7. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2017.04.004>
- Gunn, K., & Stock-williams, C. (2012). Quantifying the global wave power resource. *Renewable Energy*, *44*, 296–304. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.01.101>
- Teillant, B., Costello, R., Weber, J., & Ringwood, J. (2012). Productivity and economic assessment of wave energy projects through operational simulations. *Renewable Energy*, *48*, 220–230. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.05.001>
- Yavuz, H., Mistiko, S., & Stallard, T. (2011). Processing irregular wave measurements to enhance point absorber power capture performance, *38*, 684–698. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2010.12.016>

- Leybourne, M., Batten, W. M. J., Bahaj, A. S., Minns, N., & Nians, J. O. (2014). Preliminary design of the OWEL wave energy converter pre-commercial demonstrator. *RENE*, *61*, 51–56. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.08.019>
- Taylor, P., & Tiao, W. (2013). Ships and Offshore Structures Preliminary assessments of the anti-roll tank as a wave energy converter, (March 2015), 37–41. <https://doi.org/10.1080/17445302.2012>.
- Sjolte, J., Tjensvoll, G., & Molinas, M. (2013). Power Collection from Wave Energy Farms, 420–436. <https://doi.org/10.3390/app3020420>
- 718195
- Costa, P. R., Ã, P. B. G., & Estefen, S. F. (2010). Phase control strategy for a wave energy hyperbaric converter. *Ocean Engineering*, *37*(17–18), 1483–1490. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2010.07.007>
- Wave, P. (2012). Pelamis : experience from concept to connection, 365–380. <https://doi.org/10.1098/rsta.2011.0312>
- Pascal, R., Payne, G., Theobald, C. M., & Bryden, I. (2012). Parametric models for the performance of wave energy converters *. *Applied Ocean Research*, *38*, 112–124. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2012.06.003>
- Mccabe, A. P., Aggidis, G. A., & Widden, M. B. (2010). Optimizing the shape of a surge-and-pitch wave energy collector using a genetic algorithm. *Renewable Energy*, *35*(12), 2767–2775. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.04.029>
- Babarit, A., & Cl, A. H. (2006). Optimal latching control of a wave energy device in regular and irregular waves, *28*, 77–91. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2006.05.002>
- Abraham, E., Member, S., & Kerrigan, E. C. (2013). Optimal Active Control and Optimization of a Wave Energy Converter, *4*(2), 324–332.
- Bostro, C., & Leijon, M. (2011). Operation analysis of a wave energy converter under different load conditions, (December 2010), 245–250. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2010.0153>
- Orazov, B., & Reilly, O. M. O. Ã. (2010). *Journal of Sound and Vibration*, *329*, 5058–5069. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2010.07.007>
- Price, A. A. E., Dent, C. J., & Wallace, A. R. (2009). On the capture width of wave energy converters. *Applied Ocean Research*, *31*(4), 251–259. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2010.04.001>

- Henriques, J. C. C., Lopes, M. F. P., Gomes, R. P. F., Gato, L. M. C., & Falcão, A. F. O. (2012). On the annual wave energy absorption by two-body heaving WECs with latching control. *Renewable Energy*, *45*, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.01.102>
- Orazov, B., & Reilly, O. M. O. (2012). On forced oscillations of a simple model for a novel wave Non-resonant instability , limit cycles , and bounded oscillations, 1135–1146. <https://doi.org/10.1007/s11071-011-0058-7>
- Taylor, P., & Yavuz, H. (2011). International Journal of Green Energy On Control of a Pitching and Surging Wave Energy Converter, (January 2015), 37–41. <https://doi.org/10.1080/15435075.2011.576291>
- Waters, R., Eriksson, M. R. M., & Stro, O. S. E. (2011). Ocean wave energy absorption in response to wave period and amplitude – offshore experiments on a wave energy converter, (May), 465–469. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2010.0124>
- Heidelberg, S. B. (2013). Numerical Modeling on Hydrodynamic Performance of A Bottom-Hinged Flap Wave Energy Converter *, *27*(1), 73–86. <https://doi.org/10.1007/s13344-013-0007-y>
- Beels, C., Troch, P., Backer, G. De, Vantorre, M., & Rouck, J. De. (2010). Numerical implementation and sensitivity analysis of a wave energy converter in a time-dependent mild-slope equation model. *Coastal Engineering*, *57*(5), 471–492. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2009.11.003>
- Ransley, E., Hann, M., Greaves, D., Raby, A., Simmonds, D., Ransley, E., ... Simmonds, D. (n.d.). Numerical and physical modeling of extreme waves at Wave Hub Numerical and physical modeling of extreme waves at Wave Hub, *65*, 1645–1650. <https://doi.org/10.2112/SI65-278.1>
- Rhinefrank, K., Prudell, J., Stillinger, C., Jouanne, A. Von, & Yjm, S. (2013). Numerical Analysis and Scaled High Resolution Tank Testing of a Novel Wave Energy Converter, *135*. <https://doi.org/10.1115/1.4024886>
- Generators, S. (2012). Non Breaking Wave Forces at the Front Face of Seawave Slotcone Generators, 4779–4803. <https://doi.org/10.3390/en5114779>
- Fadaeenejad, M., Shamsipour, R., Rokni, S. D., & Gomes, C. (2014). New approaches in harnessing wave energy : With special attention to small islands. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *29*, 345–354. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.077>
- Alberdi, M., Amundarain, M., Garrido, A., & Garrido, I. (2012). Neural control for voltage dips ride-through of oscillating water column-based wave energy converter equipped

- with doubly-fed induction generator. *Renewable Energy*, 48, 16–26.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.04.014>
- Hughes, M. G., & Heap, A. D. (2010). National-scale wave energy resource assessment for Australia. *Renewable Energy*, 35(8), 1783–1791.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.11.001>
- Nunes, G., Valério, D., Beirão, P., & Sá, J. (2011). Modelling and control of a wave energy converter. *Renewable Energy*, 36(7), 1913–1921. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.07.018>
- Tedd, J., & Kofoed, J. P. (2009). Rougirel, A. (Boström, C., Ekergård, B., Waters, R., Member, S., & Eriksson, M. (2013). Linear Generator Connected Korde, U. A. (2002). Latching control of deep water wave energy devices using an active reference, 29, 1343–1355.
- to a Resonance-Rectifier Circuit, 38(2), 255–262.
- 2013). Nonlinear Analysis : Real World Applications. *Nonlinear Analysis: Real World Applications*, 14(1), 434–454. <https://doi.org/10.1016/j.nonrwa.2012.07.007>
- Measurements of Amon, E. A., Member, S., Brekken, T. K. A., & Schacher, A. A. (2012). Maximum Power Point Tracking for Ocean Wave Energy Conversion, 48(3), 1079–1086.
- overtopping flow time series on the Wave Dragon , wave energy converter. *Renewable Energy*, 34(3), 711–717. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.036>
- 1016/j.renene.2010.12.018
- Bracco, G., Giorcelli, E., & Mattiazzo, G. (2011). ISWEC : A gyroscopic mechanism for wave power exploitation. *MAMT*, 46(10), 1411–1424.
<https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2011.05.012>
- Beatty, S. J., Wild, P., & Buckham, B. J. (2010). Integration of a wave energy converter into the electricity supply of a remote Alaskan island. *Renewable Energy*, 35(6), 1203–1213. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.11.040>
- Barbariol, F., Benetazzo, A., Carniel, S., & Sclavo, M. (2013). Improving the assessment of wave energy resources by means of coupled wave-ocean numerical modeling. *Renewable Energy*, 60, 462–471. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.05.043>
- Valério, D., Mendes, M. J. G. C., Beirão, P., & Sá, J. (2008). Identification and control of the AWS using neural network models. *Applied Ocean Research*, 30(3), 178–188.
<https://doi.org/10.1016/j.apor.2008.11.002>

- Renzi, E., & Dias, F. (2013). European Journal of Mechanics B / Fluids Hydrodynamics of the oscillating wave surge converter in the open ocean. *European Journal of Mechanics B/Fluids*, *41*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.euromechflu.2013.01.007>
- Pereira, P. E. R., Henriques, J. C. C., Gato, L. M. C., & Falc, A. F. D. O. (2010). Hydrodynamic simulation of a floating wave energy converter by a U-tube rig for power take-off testing, *37*, 1253–1260. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2010.05.007>
- Environment, W. (2013). Experimentally Based Model to Size the Geometry of a New OWC Device, with Reference to the Mediterranean Sea Wave Environment, 4696–4720. <https://doi.org/10.3390/en6094696>
- Siegel, S. G., Fagley, C., & Nowlin, S. (2012). Experimental wave termination in a 2D wave tunnel using a cycloidal wave energy converter. *Applied Ocean Research*, *38*, 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2012.07.003>
- Bostro, M. R. O. S. C., & Leijon, R. W. M. (2012). Experimental results from the operation of aggregated wave energy converters, (November 2011), 149–160. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2010.0234>
- Mueller, J. K. H. S. D. E. M. M. A. (2010). Experimental verification of linear generator control for direct drive wave energy conversion, (October 2009), 395–403. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2009.0158>
- Hals, J., & Moan, T. (2009). Experimental and numerical investigation of non-predictive phase-control strategies for a point-absorbing wave energy converter, *36*, 386–402. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2009.01.015>
- Silva, D., Rusu, E., & Soares, C. G. (2013). Evaluation of Various Technologies for Wave Energy Conversion in the Portuguese Nearshore, 1344–1364. <https://doi.org/10.3390/en6031344>
- Savin, A., Svensson, O., & Leijon, M. (2012). Peer-Reviewed Technical Communication, *37*(2), 309–317.
- Dunnett, D., & Wallace, J. S. (2009). Electricity generation from wave power in Canada, *34*, 179–195. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.034>
- Iglesias, G. (2014). Efficiency of OWC wave energy converters : A virtual laboratory, *44*, 63–70. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2013.11.001>
- Patel, S. K., Ram, K., & Ahmed, M. R. (2013). Effect of turbine section orientation on the performance characteristics of an oscillating water column device. *Experimental*

Thermal and Fluid Science, 44, 642–648.
<https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2012.09.004>

- Alberti, L., Tedeschi, E., Bianchi, N., & Fasolo, A. (n.d.). Effect of the generator sizing on a wave energy converter considering different control strategies, 32(1), 233–247.
<https://doi.org/10.1108/03321641311293867>
- Posner, A. J., Sullivan, K. O., Murphy, J., Posner, A. J., Sullivan, K. O., & Murphy, J. (n.d.). Economic and Environmental Impact Appraisal of Commercial Scale Offshore Renewable Energy Installations on the west coast of Ireland Economic and Environmental Impact Appraisal of Commercial Scale Offshore Renewable Energy Installations on the west coast of Ireland, 65, 1639–1644.
<https://doi.org/10.2112/SI65-277.1>
- Jaya, M., Karimirad, M., & Moan, T. (2013). Dynamic response and power performance of a combined Spar-type floating wind turbine and coaxial floating wave energy converter. *Renewable Energy*, 50, 47–57. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.05.025>
- Krivtsov, V., & Linfoot, B. (2012). Disruption to benthic habitats by moorings of wave energy installations : A modelling case study and implications for overall ecosystem functioning. *Ecological Modelling*, 245, 121–124.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.02.025>
- Wave, W., & Converter, E. (2013). Discrete Displacement Hydraulic Power Take-Off System for the Wavestar Wave Energy Converter, (Ddc), 4001–4044.
<https://doi.org/10.3390/en6084001>
- Université, L., Nantes, E. C. De, & Mécanique, L. De. (2012). Discrete control of resonant wave energy devices, 288–314. <https://doi.org/10.1098/rsta.2011.0132>
- Sullivan, D. O., Grif, J., Egan, M. G., & Lewis, A. W. (2011). Development of an electrical power take off system for a sea-test scaled offshore wave energy device, 36, 1236–1244. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.10.007>
- Hsieh, M., Member, S., Lin, I., Member, S., Dorrell, D. G., Member, S., ... Lin, C. (2012). Two Chamber Oscillating Water Column, 3(3), 482–497.
- Renewable, S., & Reviews, S. E. (2006). 13 Alternative energy supplies (others , including economics) 06102358 Dynamic life cycle assessment (LCA) of renewable energy technologies 06 • 02355 An agro-economic analysis of willow cultivation in Poland 06 • 02359 Evaluation of alternative fuels for residential heating in Turkey using analytic network process (ANP) with group decision-making 06 / 02356 Design , simulation ,

and testing of a novel hydraulic power take-off system for the Pelamis wave energy converter 06 / 02360 GIS-based evaluation of multifarious local renewable energy sources : a case study of the Chigu area of southwestern Taiwan 06 • 02357
Developments in the design of the PS Frog Mk 5 wave energy converter Fuel and Energy Abstracts September 2006, (September), 2006.

Pascoal, R., Morais, T., Dias, R., & Fonseca, N. (2010). Design pressure distributions on the hull of the FLOW wave energy converter, *37*, 611–626.
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2010.01.007>

Zhang, H., Nie, Z., Xiao, X., Aggarwal, R., Kang, Q., Ainslie, M., ... Yuan, W. (2013). Design and Simulation of SMES System Using YBCO Tapes for Direct Drive Wave Energy Converters, *23*(3), 0–3.

Mccabe, A. P. (2013). Constrained optimization of the shape of a wave energy collector by genetic algorithm. *Renewable Energy*, *51*, 274–284.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.09.054>

Hals, J. (2016). Constrained Optimal Control of a Heaving Buoy Wave-Energy, *133*(February 2011), 1–15. Impacts, P. E. (2013) Savin, A., Svensson, O., & Leijon, M. (2012). Azimuth-inclination angles and snatch load on a tight mooring system. *Ocean Engineering*, *40*, 40–49. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2011.12.007>

). Characteristics of the Operational Noise from Full Scale Wave Energy Converters in the Lysekil Project: Estimation of Potential Environmental Impacts, 2562–2582.
<https://doi.org/10.3390/en6052562>

https Lenee-bluhm, P., Paasch, R., & Özkan-haller, H. T. (2011). Characterizing the wave energy resource of the US Pacific Northwest. *Renewable Energy*, *36*(8), 2106–2119.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.01.016>

[://doi.org/10.1115/1.4001431](https://doi.org/10.1115/1.4001431)

Lewis, A. (2012). Assessment of Wave Energy Extraction From Seas : Numerical Validation, *134*(December). <https://doi.org/10.1115/1.4007193>

Thies, P. R., Johanning, L., & Smith, G. H. (2011). Assessing mechanical loading regimes and fatigue life of marine power cables in marine energy applications, *226*, 18–32.
<https://doi.org/10.1177/1748006X11413533>

Muliawan, M. J. (2013). Application of the Contour Line Method for Estimating Extreme Responses in the Mooring Lines of a Two-Body Floating Wave Energy Converter, *135*. <https://doi.org/10.1115/1.4024267>

- Bachynski, E. E., Lu, Y., & Yeung, R. W. (2012). Analysis and optimization of a tethered wave energy converter in irregular waves. *Renewable Energy*, *48*, 133–145. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.04.044>
- Reeve, D. E., Chen, Y., Pan, S., Magar, V., Simmonds, D. J., & Zacharioudaki, A. (2011). An investigation of the impacts of climate change on wave energy generation : The Wave Hub , Cornwall , UK. *Renewable Energy*, *36*(9), 2404–2413. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.02.020>
- Temeev, A. A., Belokopytov, V. P., & Temeev, S. A. (2006). An integrated system of the floating wave energy converter and electrolytic hydrogen producer, *31*, 225–239. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.08.026>
- Folley, M., Peñate, B., & Whittaker, T. (2008). An autonomous wave-powered desalination system, *220*, 412–421. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.044>
- Li, Y., & Yu, Y. (2012). A synthesis of numerical methods for modeling wave energy converter-point absorbers, *16*, 4352–4364. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.008>
- Crowley, S., Porter, R., & Evans, D. V. (2013). A submerged cylinder wave energy converter, 566–596. <https://doi.org/10.1017/jfm.2012.557>
- Drew, B., Plummer, A. R., & Sahinkaya, M. N. (2009). A review of wave energy converter technology, *223*, 887–902. <https://doi.org/10.1243/09576509JPE782>
- Khare, N., & Singh, P. (2012). Modeling and optimization of a hybrid power system for an unmanned surface vehicle. *Journal of Power Sources*, *198*, 368–377. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2011.09.080>
- Prudell, J., Stoddard, M., Amon, E., Member, S., Brekken, T. K. A., & Jouanne, A. Von. (2010). A Permanent-Magnet Tubular Linear Generator for Ocean Wave Energy Conversion, *46*(6), 2392–2400.
- Choi, Y., Kim, C., Kim, Y., Song, J., & Lee, Y. (2010). A performance study on a direct drive hydro turbine for wave energy converter †, *24*(11), 2197–2206. <https://doi.org/10.1007/s12206-010-0903-5>
- Beels, C., Troch, P., Peter, J., Frigaard, P., Vindahl, J., Carsten, P., ... Backer, G. De. (2011). A methodology for production and cost assessment of a farm of wave energy converters. *Renewable Energy*, *36*(12), 3402–3416. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.05.019>
- Kofoed, J. P., Pecher, A., Margheritini, L., Antonishen, M., Bittencourt, C., Holmes, B., ... Myers, L. E. (2013). A methodology for equitable performance assessment and

- presentation of wave energy converters based on sea trials. *Renewable Energy*, 52, 99–110. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.10.040>
- Generation, P. T., Brekken, T. K. A., Özkan-haller, H. T., & Simmons, A. (2012). A Methodology for Large-Scale Ocean Wave, 37(2), 294–300.
- Belmont, M. R. (2010). A lower bound estimate of the gains stemming from quiescent period predictive control using conventional sea state statistics, 1–9. <https://doi.org/10.1063/1.3259168>
- Filianoti, P., & Camporeale, S. M. (2008). A linearized model for estimating the performance of submerged resonant wave energy converters, 33, 631–641. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.03.018>
- Guerber, E., Benoit, M., & Grilli, S. T. (2012). Engineering Analysis with Boundary Elements A fully nonlinear implicit model for wave interactions with submerged structures in forced or free motion, 36, 1151–1163. <https://doi.org/10.1016/j.enganabound.2012.02.005>
- Parker, R. P. M., Harrison, G. P., & Chick, J. P. (2007). Energy and carbon audit of an offshore wave energy converter, 221, 1119–1130. <https://doi.org/10.1243/09576509JPE483>
- Neill, S. P., & Hashemi, M. R. (2013). Wave power variability over the northwest European shelf seas. *Applied Energy*, 106, 31–46. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.01.026>
- Carballo, R., & Iglesias, G. (2013). Wave farm impact based on realistic wave-WEC interaction. *Energy*, 51, 216–229. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.12.040>
- Jan, Æ., Olle, S. Æ., Simon, S. Æ., & Waters, R. (2008). Wave Energy from the North Sea : Experiences from the Lysekil Research Site, 221–240. <https://doi.org/10.1007/s10712-008-9047-x>
- Sierra, J. P., González-marco, D., Sospedra, J., Gironella, X., Mösso, C., & Sánchez-arcilla, A. (2013). Wave energy resource assessment in Lanzarote (Spain). *Renewable Energy*, 55, 480–489. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.01.004>
- Utku, S. (2012). Wave energy extraction by an oscillating water column with a gap on the fully submerged front wall, 37, 174–182. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2012.05.004>
- Engström, J., Eriksson, M., Isberg, J., Leijon, M., Engström, J., Eriksson, M., ... Leijon, M. (2014). Wave energy converter with enhanced amplitude response at frequencies coinciding with Swedish west coast sea states by use of a supplementary submerged

body Wave energy converter with enhanced amplitude response at frequencies coinciding with Swedish west coast sea states by use of a, *64512*(2009).
<https://doi.org/10.1063/1.3233656>

- Li, G., Weiss, G., Mueller, M., Townley, S., & Belmont, M. R. (2012). Wave energy converter control by wave prediction and dynamic programming. *Renewable Energy*, 48, 392–403. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.05.003>
- Czech, B., & Bauer, P. (2012). Design Challenges and Classification ©, (June), 4–16.
- Mackay, E. B. L., Bahaj, A. S., & Challenor, P. G. (2010). Uncertainty in wave energy resource assessment . Part 1 : Historic data. *Renewable Energy*, 35(8), 1792–1808. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.10.026>
- Mackay, E. B. L., Bahaj, A. S., & Challenor, P. G. (2010). Uncertainty in wave energy resource assessment . Part 2 : Variability and predictability. *Renewable Energy*, 35(8), 1809–1819. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.10.027>
- Tedeschi, E., & Molinas, M. (2012). Tunable Control Strategy for Wave Energy Converters With Limited Power Takeoff Rating, 59(10), 3838–3846.
- Yavuz, H. Ã., Stallard, T. J., McCabe, A. P., & Aggidis, G. A. (2007). Time series analysis-based adaptive tuning techniques for a heaving wave energy converter in irregular seas, 221, 77–90. <https://doi.org/10.1243/09576509JPE291>
- Andrés, A. D. De, Guanche, R., Armesto, J. A., Jesus, F., Vidal, C., & Losada, I. J. (2013). Time domain model for a two-body heave converter : Model and applications. *Ocean Engineering*, 72, 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2013.06.019>
- Developments, R. (2012). The SSG Wave Energy Converter: Performance, Status and Recent Developments, 193–226. <https://doi.org/10.3390/en5020193>
- Ramos, V., Fraguera, J. A., & Iglesias, G. (2015). The intra-annual variability in the performance of wave energy converters : A comparative study in N Galicia (Spain), 82, 138–146. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.01.020>
- Bozzetto, A., Christian, O., Elisabetta, S., Bozzetto, A., Christian, O., & Elisabetta, S. (2015). COMPEL : The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering Article information :
- Nie, R., & Scruggs, J. T. (2014). *Disturbance-adaptive stochastic optimal control of energy harvesters , with application to ocean wave energy conversion. IFAC Proceedings Volumes* (Vol. 47). IFAC. <https://doi.org/10.3182/20140824-6-ZA-1003.02703>

- Harnois, V., Weller, S. D., Johanning, L., Thies, P. R., Boulluec, M. Le, & Roux, D. Le. (2015). Numerical model validation for mooring systems : Method and application for wave energy converters, 75. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.063>
- Liu, Z., Cui, Y., Zhao, H., Shi, H., & Hyun, B. (2015). Effects of Damping Plate and Taut Line System on Mooring Stability of Small Wave Energy Converter, 2015.
- Castellucci, V., Abrahamsson, J., Kamf, T., & Waters, R. (2015). Nearshore Tests of the Tidal Compensation System for Point-Absorbing Wave Energy Converters, 3272–3291. <https://doi.org/10.3390/en8043272>
- Sheng, W., Alcorn, R., & Lewis, A. (2014). On improving wave energy conversion , part I : Optimal and control technologies. *Renewable Energy*, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.09.048>
- Amann, K. U., Magaña, M. E., Member, S., & Sawodny, O. (2014). Model Predictive Control of a Nonlinear 2-Body Point Absorber Wave Energy Converter With Estimated State Feedback, 1–10.
- Akimoto, H., Tanaka, K., & Yook, Y. (2015). Drag-type cross- fl ow water turbine for capturing energy from the orbital fl uid motion in ocean wave. *Renewable Energy*, 76, 196–203. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.016>
- Cabanes, I., Estensoro, P., Lasa, J., Marcos, M., Unit, E., Control, A., & Bilbao, A. U. (2015). *Modeling Innovative Power Take-Off Based on Double-Acting Hydraulic Cylinders Array for Wave Energy Conversion*. <https://doi.org/10.3390/en8032230>
- Iglesias, G., & Carballo, R. (2014). Wave farm impact : The role of farm-to-coast distance. *Renewable Energy*, 69, 375–385. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.03.059>
- Stratigaki, V., Troch, P., Stallard, T., Forehand, D., & Kofoed, J. P. (2014). Wave Basin Experiments with Large Wave Energy Converter Arrays to Study Interactions between the Converters and Effects on Other Users in the Sea and the Coastal Area, (February), 701–734. <https://doi.org/10.3390/en7020701>
- Li, G., & Belmont, M. R. (2014). Model predictive control of sea wave energy converters e Part I : A convex approach for the case of a single device. *Renewable Energy*, 69, 453–463. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.03.070>
- Li, G., & Belmont, M. R. (2014). Model predictive control of sea wave energy converters e Part II : The case of an array of devices. *Renewable Energy*, 68, S68–S74. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.02.028>

- Robertson, B. R. D., Hiles, C. E., & Buckham, B. J. (2014). Characterizing the near shore wave energy resource on the west coast of Vancouver Island , Canada. *Renewable Energy*, *71*, 665–678. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.06.006>
- Richter, M., Magaña, M. E., Sawodny, O., & Brekken, T. K. A. (2014). Power optimisation of a point absorber wave energy converter by means of linear model predictive control, (June 2013), 203–215. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2012.0214>
- Wave, P., & Converter, E. (2014). Numerical Study on the Effect of Submerged Depth on the Horizontal, *28*(5), 687–700. <https://doi.org/10.1007/s13344-014-0056-x>
- Gonz, D. (2014). Wave energy resource assessment in Menorca (Spain), *71*. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.05.017>
- Mota, P., & Pinto, J. P. (2014). Wave energy potential along the western Portuguese coast. *Renewable Energy*, *71*, 8–17. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.02.039>
- Svensson, O., & Leijon, M. (2014). Peer-Reviewed Technical Communication, *39*(2), 398–403.
- Harne, R. L., Schoemaker, M. E., Dussault, B. E., & Wang, K. W. (2014). Wave heave energy conversion using modular multistability. *APPLIED ENERGY*, *130*, 148–156. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.05.038>
- Carballo, R., Sánchez, M., Ramos, V., & Castro, A. (2014). A tool for combined WEC-site selection throughout a coastal region : Rias Baixas , NW Spain. *APPLIED ENERGY*, *135*, 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.068>
- Goggins, J., & Finnegan, W. (2014). Shape optimisation of floating wave energy converters for a specified wave energy spectrum, *71*, 208–220. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.05.022>
- Citiroglu, H. K., & Okur, A. (2014). An approach to wave energy converter applications in Eregli on the western Black Sea coast of Turkey. *Applied Energy*, *135*, 738–747. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.05.053>
- Truong, D. Q., & Ahn, K. K. (2014). Development of a novel point absorber in heave for wave energy conversion. *Renewable Energy*, *65*, 183–191. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.08.028>
- Luo, Y., Wang, Z., Peng, G., Xiao, Y., & Zhai, L. (2014). Numerical simulation of a heave-only floating OWC (oscillating water column) device. *Energy*, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.08.079>

- Beels, C., Troch, P., Visch, K. De, Peter, J., & Backer, G. De. (2010). Application of the time-dependent mild-slope equations for the simulation of wake effects in the lee of a farm of Wave Dragon wave energy converters. *Renewable Energy*, 35(8), 1644–1661. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.12.001>
- Yang, L., & Moan, T. (2011). Dynamic analysis of wave energy converter by incorporating the effect of hydraulic transmission lines. *Ocean Engineering*, 38(16), 1849–1860. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2011.09.010>
- Tom, N. M., Lawson, M. J., Yu, Y. H., & Wright, A. D. (2016). Development of a nearshore oscillating surge wave energy converter with variable geometry, 96, 410–424. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.04.016>
- Wang, L., Engström, J., Leijon, M., Isberg, J., Wang, L., Engström, J., ... Isberg, J. (2016). Performance of arrays of direct-driven wave energy converters under optimal power take-off damping Performance of arrays of direct-driven wave energy converters under optimal power take-off damping, 85313. <https://doi.org/10.1063/1.4961498>
- Mestres, M., & Jebbad, R. (2016). Wave energy potential along the Atlantic coast of Morocco, 96, 20–32. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.04.071>
- Viviano, A., Naty, S., Foti, E., Bruce, T., Allsop, W., & Vicinanza, D. (2016). Large-scale experiments on the behaviour of a generalised Oscillating Water Column under random waves. *Renewable Energy*, 99, 875–887. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.07.067>
- Gaspar, J. F., Kamarlouei, M., Sinha, A., Xu, H., Calvário, M., Fay, F. X., ... Soares, C. G. (2016). Speed control of oil-hydraulic power take-off system for oscillating body type wave energy converters. *Renewable Energy*, 97, 769–783. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.06.015>
- Lejerskog, E., Savin, A., & Leijon, M. (2016). Study of the operation characteristics of a point absorbing direct driven permanent magnet linear generator deployed in the Baltic, 10, 1204–1210. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2015.05.003>
- Babarit, A., Duclos, G., & Cle, A. H. (2005). Comparison of latching control strategies for a heaving wave energy device in random sea, 26(2004), 227–238. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2005.05.003>
- [org/10.1049/iet-rpg.2015.0413](https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2015.0413)
- Santo, H., Taylor, P. H., Taylor, R. E., & Stansby, P. (2016). Decadal variability of wave power production in the North-East Atlantic and North Sea for the M4 machine. *Renewable Energy*, 91, 442–450. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.01.086>

- Taylor, R. E., Taylor, P. H., & Stansby, P. K. (2016). A coupled hydrodynamic – structural model of the M4 wave energy converter. *Journal of Fluids and Structures*, 63, 77–96. <https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2016.02.009>
- Sinha, A., Karmakar, D., & Soares, C. G. (2016). Performance of optimally tuned arrays of heaving point absorbers. *Renewable Energy*, 92, 517–531. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.043>
- Hedegaard, A., & Pedersen, H. C. (2016). Optimal configuration of a discrete fluid power force system utilised in the PTO for WECs. *Ocean Engineering*, 117, 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.03.032>
- Maria, F., Malara, G., & Arena, F. (2016). Performance optimization of a U-Oscillating-Water-Column wave energy harvester. *Renewable Energy*, 99, 1019–1028. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.07.080>
- Giorgi, S., Davidson, J., Ringwood, J. V., & Member, S. (2016). Identification of Wave Energy Device Models From Numerical Wave Tank Data — Part 2 : Data-Based Model Determination, (1949), 1–8.
- Schmitt, P., Windt, C., Nicholson, J., & Elsässer, B. (2016). European Journal of Mechanics B / Fluids Development and validation of a procedure for numerical vibration analysis of an oscillating wave surge converter. *European Journal of Mechanics B/Fluids*, 58, 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.euromechflu.2016.02.005>
- Kara, F. (2016). Time domain prediction of power absorption from ocean waves with wave energy converter arrays. *Renewable Energy*, 92, 30–46. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.01.088>
- Davidson, J., Giorgi, S., Ringwood, J. V., & Member, S. (2016). Identification of Wave Energy Device Models From Numerical Wave Tank Data — Part 1 : Numerical Wave Tank Identification Tests, 1–8.
- Ardakani, H. A., Bridges, T. J., & Turner, M. R. (2016). Shallow-water sloshing in a moving vessel with variable cross-section and wetting – drying using an extension of George ’ s well-balanced finite volume solver. *Journal of Computational Physics*, 314, 590–617. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2016.03.037>
- Cargo, C. J., Hillis, A. J., & Plummer, A. R. (2016). Strategies for active tuning of Wave Energy Converter hydraulic power take-off mechanisms. *Renewable Energy*, 94, 32–47. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.007>

- Hardy, P., Cazzolato, B. S., Ding, B., & Prime, Z. (2016). A maximum capture width tracking controller for ocean wave energy converters in irregular waves. *Ocean Engineering*, *121*, 516–529. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.05.045>
- Ivanova, I. A., Ågren, O., Bernhoff, H., & Leijon, M. (2005). Simulation of Wave-Energy Converter With Octagonal Linear Generator, *30*(3), 619–629.
- Michailides, C., Gao, Z., & Moan, T. (2016). Experimental study of the functionality of a semisubmersible wind turbine combined with flap-type Wave Energy Converters. *Renewable Energy*, *93*, 675–690. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.024>
- Tom, N., Lawson, M., Yu, Y., & Wright, A. (2016). Spectral modeling of an oscillating surge wave energy converter with control surfaces. *Physics Procedia*, *56*, 143–156. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2016.01.006>
- Delmonte, N., Barater, D., Giuliani, F., Cova, P., & Buticchi, G. (2015). Review of Oscillating Water Column Converters, *9994*(c). <https://doi.org/10.1109/TIA.2015.2490629>
- Hong, Y., Eriksson, M., Castellucci, V., & Waters, R. (2016). Linear generator-based wave energy converter model with experimental verification and three loading strategies, *10*(2), 349–359. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2015.0117>
- Kelly, J. F., Wright, W. M. D., Member, S., Sheng, W., & Sullivan, K. O. (2015). Implementation and Verification of a Wave-to-Wire Model of an Oscillating Water Column With Impulse Turbine, 1–8.
- Saadat, Y., Fernandez, N., Samimi, A., Reza, M., Shakeri, M., & Ghorbani, R. (2016). Investigating of Helmholtz wave energy converter. *Renewable Energy*, *87*, 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.09.066>
- Ikoma, T., Masuda, K., Omori, H., Osawa, H., & Maeda, H. (2017). Improvement of Performance of Wave Power Conversion Due to the Projecting Walls for Oscillating Water Column Type Wave Energy Converter, *138*(April 2016). <https://doi.org/10.1115/1.4032603>
- Zhang, D., Fan, W., Yang, J., Pan, Y., Chen, Y., Huang, H., & Chen, J. (2016). Reviews of power supply and environmental energy conversions for artificial upwelling. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *56*, 659–668. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.041>
- Gunawardane, S. P., Kankanamge, C. J., & Watabe, T. (2016). Study on the Performance of the “Pendulum” Wave Energy Converter in an Array Configuration, 1–26. <https://doi.org/10.3390/en9040282>

- Jakobsen, M. M., Beatty, S., Iglesias, G., & Kramer, M. M. (2016). Characterization of loads on a hemispherical point absorber wave energy converter. *INTERNATIONAL JOURNAL OF MARINE ENERGY*, *13*, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ijome.2016.01.003>
- Distributions, M., & Prediction, E. W. (2016). Mixed Distributions and Extreme Wave Prediction, (Figure 1), 1–17. <https://doi.org/10.3390/en9060396>
- Sergiienko, N. Y., Cazzolato, B. S., Ding, B., & Arjomandi, M. (2016). An optimal arrangement of mooring lines for the three-tether submerged point-absorbing wave energy converter. *Renewable Energy*, *93*, 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.048>
- Saincher, S., & Banerjee, J. (2016). Influence of wave breaking on the hydrodynamics of wave energy converters : A review, *58*, 704–717. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.301>
- Lemos, J. M. (2016). Peak-power control of a grid-integrated oscillating water column wave energy converter, *109*, 378–390. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.04.098>
- Yang, S., Ringsberg, J. W., Johnson, E., Hu, Z., & Palm, J. (2016). A comparison of coupled and de-coupled simulation procedures for the fatigue analysis of wave energy converter mooring lines. *Ocean Engineering*, *117*, 332–345. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.03.018>
- Cuadra, L., Salcedo-sanz, S., Nieto-borge, J. C., Alexandre, E., & Rodríguez, G. (2016). Computational intelligence in wave energy : Comprehensive review and case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *58*, 1223–1246. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.253>
- Iino, M., Miyazaki, T., Segawa, H., & Iida, M. (2016). Effect of inclination on oscillation characteristics of an oscillating water column wave energy converter. *Ocean Engineering*, *116*, 226–235. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.03.014>
- Lees, K. J., Guerin, A. J., & Masden, E. A. (2016). Using kernel density estimation to explore habitat use by seabirds at a marine renewable wave energy test facility. *Marine Policy*, *63*, 35–44. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.09.033>
- Ning, D., Wang, R., Zou, Q., & Teng, B. (2016). An experimental investigation of hydrodynamics of a fixed OWC Wave Energy Converter. *APPLIED ENERGY*, *168*, 636–648. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.107>

- Rusu, E., & Onea, F. (2016). Estimation of the wave energy conversion efficiency in the Atlantic Ocean close to the European islands. *Renewable Energy*, *85*, 687–703. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.042>
- Henriques, C. C., & T, I. S. (2015). Oscillating-water-column wave energy converters and air turbines : A review. Rahmati, M. T., & Aggidis, G. A. (2016). Numerical and experimental analysis of the power output of a point absorber wave energy converter in irregular waves. *Ocean Engineering*, *111*, 483–492. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.11.011>
- <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.086>
- Hadano, K., Lee, K. Y., & Moon, B. Y. (2016). A study on dynamic motion and wave power in multi-connected wave energy converter, *5302*(March). <https://doi.org/10.1080/17445302.2015.1045269>
- Losada, M. A., & Jal, M. L. (2016). Optimization at different time scales for the design and management of an oscillating water column system, *95*, 110–123. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.11.062>
- Garcia-rosa, P. B., Ringwood, J. V., & Member, S. (2015). On the Sensitivity of Optimal Wave Energy Device Geometry to the Energy Maximizing Control System, 1–8.
- Mendonça, H., Member, S., & Martinez, S. (2015). A Resistance Emulation Approach to Optimize the Wave Energy Harvesting for a Direct Drive Point Absorber, 1–9.
- Amarkarthik, A., & Sivakumar, K. (2016). Investigation on modeling of non-buoyant body typed point absorbing wave energy converter using Adaptive Network-based Fuzzy Inference System. *International Journal of Marine Energy*, *13*, 157–168. <https://doi.org/10.1016/j.ijome.2016.01.004>
- Besio, G., Mentaschi, L., & Mazzino, A. (2016). Wave energy resource assessment in the Mediterranean Sea on the basis of a 35-year hindcast. *Energy*, *94*, 50–63. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.10.044>
- Platform, S., Liu, K., Liang, H., & Ou, J. (n.d.). Numerical Investigation of a Tuned Heave Plate Energy-Harvesting System of. <https://doi.org/10.3390/en9020082>
- Wan, L., Gao, Z., Moan, T., & Lugni, C. (2016). Comparative experimental study of the survivability of a combined wind and wave energy converter in two testing facilities. *Ocean Engineering*, *111*, 82–94. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.10.045>

- Gaspar, F., & Calv, M. (2016). Power take-off concept for wave energy converters based on oil- hydraulic transformer units, *86*, 1232–1246. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.09.035>
- Robertson, B., Bailey, H., Clancy, D., Ortiz, J., & Buckham, B. (2016). Influence of wave resource assessment methodology on wave energy production estimates. *Renewable Energy*, *86*, 1145–1160. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.09.020>
- Kovaltchouk, T., Armstrong, S., Blavette, A., Ben, H., & Multon, B. (2016). Wave farm flicker severity : Comparative analysis and solutions. *Renewable Energy*, *91*, 32–39. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.01.034>
- Scruggs, J. T., Lattanzio, S. M., Taflanidis, A. A., & Cassidy, I. L. (2013). Optimal causal control of a wave energy converter in a random sea. *Elsevier*, *42*, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2013.03.004>
- Ekstro, R., Bostro, C., & Waters, R. (2016). Evaluating Constant DC-Link Operation of Wave Energy Converter, *136*(January 2014), 1–6. <https://doi.org/10.1115/1.4024789>
- Thies, P. R., Johanning, L., Harnois, V., Smith, H. C. M., & Parish, D. N. (2014). Mooring line fatigue damage evaluation for floating marine energy converters : Field measurements and prediction. *Renewable Energy*, *63*, 133–144. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.08.050>
- Hong, Y., Waters, R., Boström, C., Eriksson, M., & Engström, J. (2014). Review on electrical control strategies for wave energy converting systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *31*, 329–342. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.053>
- Fischer, B., & Kofoed, J. P. (2014). Balancing Power Output and Structural Fatigue of Wave Energy Converters by Means of Control Strategies. *1*, 2246–2273. <https://doi.org/10.3390/en7042246>
- Aoun, N. S., Harajli, H. A., & Queffeuilou, P. (2013). Preliminary appraisal of wave power prospects in Lebanon. *Renewable Energy*, *53*, 165–173. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.11.008>
- Tiao, W. (2013). Estimated electricity production for an anti-roll tank deployed offshore for use as a wave, *8*(5), 497–503.
- Falcão, A. F. O., Henriques, J. C. C., Gato, L. M. C., & Gomes, R. P. F. (2014). Air turbine choice and optimization for floating oscillating-water-column wave energy converter. *Ocean Engineering*, *75*, 148–156. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2013.10.019>

- Andrés, A. D. De, Guanche, R., Meneses, L., Vidal, C., & Losada, I. J. (2014). Factors that influence array layout on wave energy farms. *Ocean Engineering*, 82, 32–41. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2014.02.027>
- Gargov, N. P., Zobaa, A. F., & Pisica, I. (2014). Separated magnet yoke for permanent magnet linear generator for marine wave energy converters. *Electric Power Systems Research*, 109, 63–70. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2013.11.021>
- Cappelli, L., Member, S., Marignetti, F., Member, S., Mattiazzo, G., Giorcelli, E., ... Member, S. (2014). Linear Tubular Permanent-Magnet Generators for the Inertial Sea Wave Energy Converter, 50(3), 1817–1828.
- Carballo, R., Sánchez, M., Ramos, V., Taveira-pinto, F., & Iglesias, G. (2014). A high resolution geospatial database for wave energy exploitation. *Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.093>
- Jama, M., Wahyudie, A., Assi, A., Noura, H., Ain, A., & Engineering, E. (2014). An Intelligent Fuzzy Logic Controller for Maximum Power Capture of Point Absorbers, 4033–4053. <https://doi.org/10.3390/en7064033>
- De, A., Jaén, V., García-santana, A., & Montoya-andrade, D. El. (2014). Maximizing output power of linear generators for wave energy conversion, (April 2013), 875–890. <https://doi.org/10.1002/etep>
- Leo, G., Manno, M., Manzi, G., Salvatori, M., & Serpella, D. (2014). Preliminary study on a kinetic energy recovery system for sailing yachts. *Renewable Energy*, 62, 216–225. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.06.051>
- Vicinanza, D., Contestabile, P., Quvang, J., Nørgaard, H., & Lykke, T. (2014). Innovative rubble mound breakwaters for overtopping wave energy conversion. *Coastal Engineering*, 88, 154–170. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2014.02.004>
- Kelly, J., & Sullivan, D. O. (n.d.). Challenges and lessons learned in the deployment of an offshore oscillating water column, (213663). <https://doi.org/10.1108/COMPEL-09-2013-0307>
- Cargo, C. J., Hillis, A. J., & Plummer, A. R. (2014). Optimisation and control of a hydraulic power take-off unit for a wave energy converter in irregular waves, 228(4), 462–479. <https://doi.org/10.1177/0957650913519619>
- Sjolte, J., Ntnu, F. O., Olsen, F., & Molinas, M. (2014). Self-sustained all-electric wave energy converter system, 33(5), 1705–1721. <https://doi.org/10.1108/COMPEL-09-2013-0306>

- Nolte, J. D., & Ertekin, R. C. (2015). Wave power calculations for a wave energy conversion device connected to a drogue Wave power calculations for a wave energy conversion device connected to a drogue, *13117*(2014).
<https://doi.org/10.1063/1.4862785>
- Wahyudie, A., Jama, M. A., Saeed, O., Noura, H., Assi, A., & Harib, K. (2015). Robust and low computational cost controller for improving captured power in heaving wave energy converters. *Renewable Energy*, *82*, 114–124.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.09.021>
- Li, W., Isberg, J., Waters, R., & Leijon, M. (2015). Study of the foundation design for a linear generator wave energy converter using stochastic methods, *63112*.
<https://doi.org/10.1063/1.4936420>
- Kirkegaard, J. (2015). Sea-state modification and heaving float interaction factors from physical modelling of arrays of wave energy converters, *616010616*.
<https://doi.org/10.1063/1.4938030>
- Guanche, R., Weber, J., & Costello, R. (2015). Finding gaps on power production assessment on WECs : Wave definition analysis, *83*.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.04.026>
- Sarkar, D., Renzi, E., & Dias, F. (2015). Effect of a straight coast on the hydrodynamics and performance of the Oscillating Wave Surge Converter. *Ocean Engineering*, *105*, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.05.025>
- Arena, F., Laface, V., Malara, G., & Romolo, A. (2015). Estimation of Downtime and of Missed Energy Associated with a Wave Energy Converter by the Equivalent Power Storm Model, 11575–11591. <https://doi.org/10.3390/en81011575>
- Brando, G., Dannier, A., Pizzo, A. Del, Pio, L., Noia, D., & Pisani, C. (2015). Grid connection of wave energy converter in heaving mode operation by supercapacitor storage technology, 1–10. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2015.0093>
- Wolgamot, H. A., & Fitzgerald, C. J. (2015). Nonlinear hydrodynamic and real fluid effects on wave energy converters, *0(0)*, 1–23. <https://doi.org/10.1177/0957650915570351>
- Lin, Y., Bao, J., Liu, H., Li, W., Tu, L., & Zhang, D. (2015). Review of hydraulic transmission technologies for wave power generation, *50*, 194–203.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.141>
- Sproul, A., Member, G. S., & Weise, N. (2015). Analysis of a Wave Front Parallel WEC Prototype, (6), 1–7.

- Bull, D. (2015). An improved understanding of the natural resonances of moonpools contained within floating rigid-bodies : Theory and application to oscillating water column devices. *Ocean Engineering*, *108*, 799–812. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.07.007>
- Ren, N., Gao, Z., Moan, T., & Wan, L. (2015). Long-term performance estimation of the Spar – Torus-Combination (STC) system with different survival modes. *Ocean Engineering*, *108*, 716–728. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.08.013>
- Piscopo, V., Benassai, G., Cozzolino, L., Morte, R. Della, & Scamardella, A. (2016). A new optimization procedure of heaving point absorber hydrodynamic performances. *Ocean Engineering*, *116*, 242–259. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.03.004>
- Cagninei, A., Raffero, M., Bracco, G., Giorcelli, E., Mattiazzo, G., Cagninei, A., ... Bracco, G. (2015). Productivity analysis of the full scale inertial sea wave energy converter prototype : A test case in Pantelleria Island Productivity analysis of the full scale inertial sea wave energy converter prototype : A test case in Pantelleria Island, *61703*. <https://doi.org/10.1063/1.4936343>
- Binh, P. C., Ngoc, D., Nam, C., & Ahn, K. K. (2015). Design and Modeling of an Innovative Wave Energy Converter Using Dielectric Electro-active Polymers Generator, *16*(8), 1833–1843. <https://doi.org/10.1007/s12541-015-0239-2>
- Teixeira, L., & Alonso, R. (2015). Wave energy resource assessment in Uruguay, *93*. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.08.114>
- Garcia-rosa, P. B., Bacelli, G., & Ringwood, J. V. (2015). Control-Informed Geometric Optimization of Wave Energy Converters : The Impact of Device Motion and Force Constraints, 13672–13687. <https://doi.org/10.3390/en81212386>
- Kassem, A. M., Besheer, A. H., & Atawi, I. E. (2015). IEEJ TRANSACTIONS ON ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING Kalman Estimator as a Robust Solution for Output Power Maximization of Wave Energy Converter, 390–395. <https://doi.org/10.1002/tee.22098>
- Zhang, D., George, A., & Wang, Y. (2015). Wave tank experiments on the power capture of a multi-axis wave energy converter. <https://doi.org/10.1007/s00773-015-0306-5>
- Wang, L., Engström, J., Göteman, M., & Isberg, J. (2015). generator Constrained optimal control of a point absorber wave energy converter with linear generator, *43127*. <https://doi.org/10.1063/1.4928677>

- Andres, A. De, Guanche, R., Vidal, C., & Losada, I. J. (2015). Adaptability of a generic wave energy converter to different climate conditions. *Renewable Energy*, 78, 322–333. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.01.020>
- Alevras, P., & Brown, I. (2015). Experimental investigation of a rotating parametric pendulum. <https://doi.org/10.1007/s11071-015-1982-8>
- Tougaard, J. (2015). Underwater Noise from a Wave Energy Converter Is Unlikely to Affect Marine Mammals, 1–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132391>
- Kracht, P., Perez-becker, S., Richard, J. B., & Fischer, B. (2015). Performance Improvement of a Point Absorber Wave Energy Converter by Application of an Observer- Based Control : Results from Wave Tank Testing, 9994(c). <https://doi.org/10.1109/TIA.2015.2405892>
- Zhang, X., & Yang, J. (2015). Power capture performance of an oscillating-body WEC with nonlinear snap through PTO systems in irregular waves. *Physics Procedia*, 52, 261–273. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2015.06.012>
- Wei, Y., Ra, A., Henry, A., & Dias, F. (2015). Wave interaction with an oscillating wave surge converter , Part I : Viscous effects, 104, 185–203. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.05.002>
- Mirzaei, A., Tangang, F., & Juneng, L. (2015). Wave energy potential assessment in the central and southern regions of the South China Sea. *Renewable Energy*, 80, 454–470. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.02.005>
- Wageck, B., Noronha, M. De, Nunes, G. S., Bohen, N., & Santos, G. M. (2015). ABNORMAL PAIN RESPONSE TO VISUAL FEEDBACK IN CHRONIC WHIPLASH : AN EXPERIMENTAL STUDY QUALITY OF LIFE IN THE ELDERLY WITH. *Physiotherapy*, 101, e304–e305. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2015.03.502>
- Buccino, M., Stagonas, D., & Vicinanza, D. (2015). Development of a composite sea wall wave energy converter system. *Renewable Energy*, 81, 509–522. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.03.010>
- Bosma, B., Lewis, T., Brekken, T., & Jouanne, A. Von. (2015). Wave Tank Testing and Model Validation of an Autonomous Wave Energy Converter, 8857–8872. <https://doi.org/10.3390/en8088857>
- Bacelli, G., Genest, R., & Ringwood, J. V. (2015). Annual Reviews in Control Nonlinear control of flap-type wave energy converter with a non-ideal power take-off system R.

- Annual Reviews in Control*, 40, 116–126.
<https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2015.09.006>
- Behrens, S., Hayward, J. A., Woodman, S. C., Hemer, M. A., & Ayre, M. (2015). Wave energy for Australia's National Electricity Market. *Renewable Energy*, 81, 685–693. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.03.076>
- Castellucci, V., Abrahamsson, J., Svensson, O., Waters, R., Castellucci, V., Abrahamsson, J., ... Waters, R. (2014). generators Algorithm for the calculation of the translator position in permanent magnet linear generators, 63102.
<https://doi.org/10.1063/1.4900553>
- Le, H. R., Collins, K. M., Greaves, D. M., & Bellamy, N. W. (2015). Mechanics and materials in the design of a buckling diaphragm wave energy converter, 79, 86–93.
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.04.041>
- Rusu, E. (2014). Evaluation of the Wave Energy Conversion Efficiency in Various Coastal Environments †, 4002–4018. <https://doi.org/10.3390/en7064002>
- Bracco, G., Giorcelli, E., Mattiazzo, G., Orlando, V., & Raffero, M. (2015). Mechatronics Hardware-In-the-Loop test rig for the ISWEC wave energy system. *Mechatronics*, 25, 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2014.10.007>
- Siegel, S. G. (2015). Wave radiation of a cycloidal wave energy converter. *Physics Procedia*, 49, 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2014.10.006>
- Bridier, L., David, M., Lauret, P., Hern, D., & Ardiale, T. (2015). Technico-economical analysis of a hybrid wave power-air compression storage system, 74, 708–717.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.08.070>
- López, I., Andreu, J., Ceballos, S., Martínez De Alegría, I., & Kortabarria, I. (2013). Review of wave energy technologies and the necessary power-equipment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 413–434.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.009>
- Gao, H. (2015). ESTABLISHMENT OF MOTION MODEL FOR WAVE CAPTURE BUOY AND RESEARCH ON HYDRODYNAMIC PERFORMANCE OF FLOATING-TYPE WAVE ENERGY CONVERTER, 22, 106–111.
- Bedard, R. (n.d.). Economic and Social Benefits from Wave Energy Conversion Marine Technology, 44–50.
- Engineering, M., Id, A., & Wells, I. (2006). Design Method of Guide Vane for Wells Turbine M asami SUZUKI, 15(2).

- Veigas, M., López, M., & Iglesias, G. (2014). Assessing the optimal location for a shoreline wave energy converter. *APPLIED ENERGY*, *132*, 404–411.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.07.067>
- Yang, L., Hals, J., & Moan, T. (2010). Analysis of dynamic effects relevant for the wear damage in hydraulic machines for wave energy conversion. *Ocean Engineering*, *37*(13), 1089–1102. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2010.04.005>
- Ahn, K. K., Truong, D. Q., Tien, H. H., & Yoon, J. Il. (2012). An innovative design of wave energy converter. *Renewable Energy*, *42*, 186–194.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.08.020>
- Jouanne, A. Von, Lettenmaier, T., & Brekken, T. (2013). A Novel Ocean Sentinel Instrumentation Buoy for Wave Energy Testing, *47*(1), 47–54.
- Vicinanza, D., Contestabile, P., & Ferrante, V. (2013). Wave energy potential in the north-west of Sardinia (Italy). *Renewable Energy*, *50*, 506–521.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.07.015>
- Leijon, M. (2017). Three-Dimensional Oscillation Dynamics of the In Situ Piston Rod Transmission Between Buoy Line and the Double Hinge- Connected Translator in an Offshore Linear Wave Energy Converter, *138*(June 2016).
<https://doi.org/10.1115/1.4031972>
- Shi, H., Cao, F., Liu, Z., & Qu, N. (2016). Theoretical study on the power take-off estimation of heaving buoy wave energy converter, *86*, 441–448.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.08.027>
- Green, B. E., & Macdonald, D. G. (2013). The Use of Numerical Modeling to Optimize a New Wave Energy Converter Technology, *47*(4), 151–163.
- Venugopal, V., & Smith, G. H. (2007). The effect of wave period filtering on wave power extraction and device tuning, *34*, 1120–1137.
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2006.08.003>
- Lettenmaier, T., Jouanne, A. Von, Moran, S., & Gardiner, A. (2012). Testing the WET-NZ Wave Energy, 164–176.
- Danielsson, O., Eriksson, M., & Leijon, M. (2006). Study of a longitudinal flux permanent magnet linear generator for wave energy converters, (January), 1130–1145.
<https://doi.org/10.1002/er.1209>

- Wu, S., Liu, C., & Chen, X. (2015). Offshore wave energy resource assessment in the East China Sea. *Renewable Energy*, 76, 628–636. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.054>
- Gavassoni, E., Gonçalves, P. B., & Roehl, D. M. (2013). Nonlinear vibration modes and instability of a conceptual model of a spar platform. <https://doi.org/10.1007/s11071-013-1171-6>
- Seas, I. (2013). Modeling of a Point Absorber for Energy Conversion in Italian Seas, 3033–3051. <https://doi.org/10.3390/en6063033>
- Eriksson, M., Isberg, J., & Leijon, M. (2005). Hydrodynamic modelling of a direct drive wave energy converter, 43, 1377–1387. <https://doi.org/10.1016/j.ijengsci.2005.05.014>

ANEXO B. ARTÍCULOS SELECCIONADOS DE TECNOLOGÍAS EXISTENTES

El presente anexo muestra los artículos los cuales fueron seleccionados para la extracción de la tecnología y sus condiciones de operación

1. Artículos Seleccionados

1.1 *“Wave power extraction of a heaving floating oscillating water column in a wave channel”*[10]:

La evaluación del rendimiento de un convertidor de energía de ola en el canal de la ola está influenciada por los efectos hidrodinámicos causados por la presencia, cerca de las paredes laterales. Dado que este fenómeno no se observa en el océano abierto, es importante para evaluar la influencia de las paredes en la dinámica del convertidor en el análisis de los resultados experimentales. En este trabajo se estudia la dinámica y la potencia de aspiración de una simetría axial en un dispositivo oscilante de columna de agua (OWC), el Spar-boya flotante OWC (peso extra que ayuda a la estabilidad del sistema), a partir de datos experimentales obtenidos en un canal de ola. Un modelo de cuerpo de dos agitado (SPAR-boya y OWC) sobre la base de las fuerzas lineales se formula en el dominio de la frecuencia. Coeficientes lineales hidrodinámicos se obtienen a partir del método de la ecuación integral de contorno. La presencia de las paredes laterales de los canales se simula aproximadamente por una matriz periódica de los dispositivos, y alternativamente por dos paredes de longitud finita. Las fuerzas de arrastre linealizadas se derivan de ensayos con modelos a pequeña escala. Resultados de la extracción de energía se presentan para las olas regulares e irregulares. Las simulaciones numéricas muestran que el efecto de pared puede amplificar la captura de energía, hasta un máximo de 15% para las ondas regulares y 10% para condiciones de las olas irregulares, para una relación de canal de anchura a dispositivo de diámetro igual a 5,25.

1.2” *Testing and control of a power take-off system for an oscillating-water-column wave energy converter*”[11]:

El trabajo se refiere al desarrollo del control PTO (power take-off) de un convertidor de energía de ola OWC (columna de agua oscilante). La boya de eslabón de OWC es un dispositivo axisimétrico que consiste en un tubo de cola vertical sumergido abierto en ambos extremos, rígidamente fijado a un flotador que se mueve esencialmente en el aire. El movimiento oscilante de la superficie libre interna con respecto al conjunto de tubos flotantes, producido por las olas incidentes, hace que el aire fluya a través de una nueva turbina de aire auto-rectificadora: la turbina biradial. Para reducir las pérdidas del sistema de toma de fuerza a carga parcial, se adoptó un generador eléctrico con una potencia nominal dos veces superior a la conversión de potencia media esperada máxima de la boya. El control del grupo turbina-generador bajo condiciones de estado de mar altamente energético fue investigado experimentalmente mediante pruebas realizadas en una plataforma de prueba de PTO. En los ensayos reportados se simuló numéricamente en tiempo real la hidrodinámica de la boya de eslabón de OWC y la aerodinámica de la turbina de aire, junto con el modelo experimental del conjunto de generador de turbina / electricidad en una configuración de hardware en el bucle. Los resultados experimentales permitieron caracterizar el comportamiento dinámico de la TDF y proporcionaron la validación de los algoritmos de control propuestos que aseguran el funcionamiento dentro de límites seguros.

1.3“*Wave climate scatter performance of a cycloidal wave energy converter*”[12]: Se investigó un convertidor de energía de ola cicloidal (WEC) basado en la elevación utilizando simulaciones numéricas de flujo potencial en combinación con estimaciones de pérdidas viscosas basadas en datos de hidro-alas publicadas. Este tipo de convertidor de energía de ola consiste en

un eje con uno o más hidroplanos unidos excéntricamente en un radio. El eje principal está alineado paralelamente a las crestas de las olas y sumergido a una profundidad fija. El funcionamiento del WEC como un convertidor de energía de onda a eje interactuando con olas con cresta recta fue estimado para un clima real de olas oceánicas. El clima elegido fue el clima registrado por una boya en la costa noreste de Oahu / Hawaii, que era un clima típico de olas moderadas con una potencia de onda anual promedio $P-W = 17 \text{ kWh / m}$ de cresta de olas. Se analizó el impacto de las variables de diseño radio, acorde y potencia máxima del generador sobre el rendimiento medio anual del eje, el factor de capacidad y la fracción de tiempo de producción de energía. En el clima de onda seleccionado, se encontró que un radio $R = 5 \text{ m}$, un acorde $C = 5 \text{ m}$ y una amplitud de $S = 60 \text{ m}$ junto con una potencia máxima de generador de $P-G = 1,25 \text{ MW}$ eran óptimos en términos de rendimiento anual de energía del eje. En el punto de diseño, el CycWEC alcanzó una eficiencia de potencia de ola a eje del 70%. En el promedio anual, el 40% de la energía de las olas entrantes se convirtió en energía del eje y se logró un factor de capacidad del 42%. Estos números excedieron el rendimiento típico de las energías renovables competidoras como la energía eólica y demostraron que el WEC fue capaz de convertir la energía de las olas a la energía del eje eficientemente para una variedad de periodos de onda y alturas de olas como se encuentran en un clima de olas típico.

1.4 “*Experimental and numerical comparisons of hydrodynamic responses for a combined wind and wave energy converter concept under operational conditions*”[13]

El concepto de la combinación del “The Spar Torus” (STC) es un concepto combinado del convertidor de la energía del viento y de la ola que se compone de una turbina de viento flotante del paraguas y de un convertidor de la energía de la ola del cuerpo oscilante. El WEC está instalado en el flotador de eslabón. La potencia de las olas puede ser absorbida por un sistema de toma de fuerza (PTO) a través de los movimientos relativos entre el larguero y el

toro. Se estableció un modelo numérico para predecir las respuestas dinámicas del concepto STC bajo diferentes estados del mar. Para validar el modelo numérico, se realizó un modelo de prueba del concepto STC en condiciones operativas. Se construyó un modelo físico de dos cuerpos con una proporción de escala de 1:50. Se realizó una serie de pruebas para evaluar el rendimiento del concepto. Durante los ensayos se aplicaron diferentes niveles de amortiguación de la PTO. Cuando se obtuvo una gran potencia de salida, la compresibilidad de aire del amortiguador PTO en el modelo es importante, haciendo relevante un modelo de toma de fuerza no lineal adecuado en las simulaciones numéricas. Las condiciones de viento se consideraron para modelar el efecto de la fuerza de empuje en el rotor usando un disco de arrastre de viento. Se presentan y comparan los resultados numéricos y experimentales. Se logran buenos acuerdos.

1.5 “*Experimental validation of the ISWEC wave to PTO model*”[14]

El poder de las olas representa un campo muy prometedor en el área más amplia de la energía verde y actualmente es objeto de una creciente investigación e inversiones. El convertidor de energía de ola (WEC) que se estudia en este documento es un prototipo escalado 1: 8 del ISWEC, un dispositivo capaz de cosechar la energía del mar que explora el efecto inercial de un giroscopio. El objetivo de este trabajo es validar el modelo de simulación numérica del dispositivo frente a los resultados de una campaña de pruebas de tanques de oleaje realizada en las instalaciones de INSEAN en Roma. En la primera parte del artículo se describen e implementan las leyes gobernantes dinámicas e hidrodinámicas del ISWEC en un modelo numérico. Se proporciona una descripción detallada de las características del prototipo a escala 1: 8 junto con la configuración experimental para las pruebas de tanque. Se considera una amplia gama de condiciones de funcionamiento teóricas para probar la dinámica del sistema, así como su estrategia de control, y se discute cómo las diferentes estrategias de control influyen en el comportamiento del sistema y su producción de energía. En la última parte se

comparan los resultados experimentales con la salida del modelo numérico, lo que da una buena predicción del comportamiento del dispositivo.

1.6 “A novel tuned heave plate system for heave motion suppression and energy harvesting on semi-submersible platforms”[15]

Las estructuras en alta mar de aguas profundas, como las plataformas semisumergibles, sufren fuertes olas oceánicas debido a su ubicación y condición del sitio. La larga distancia de la costa también trae muchas dificultades para el suministro de energía para la operación de la plataforma. Cómo reducir la respuesta de la plataforma y convertir la energía de las olas en energía eléctrica es un tema significativo. En este trabajo, se presenta un sistema de placa de talón afinado (THP) y diseñado para ser empleado en una plataforma semi-sumergible para la supresión de movimiento y la cosecha de energía. Este sistema THP está compuesto de soportes de resorte, un sistema de toma de fuerza (PTO) y una placa de apoyo. El sistema de toma de fuerza es un generador lineal de imanes permanentes (PMLG), que podría convertir directamente la energía cinética de la placa de impulso en potencia electrónica. La rigidez de los soportes del resorte se diseña basado en el principio del amortiguador de masa templado (TMD). El modelo numérico de la plataforma y el sistema THP se establece de acuerdo con los resultados del análisis hidrodinámico de la plataforma. El modelo es probado y modificado por pruebas de modelo a escala en la plataforma en el tanque de olas. Un estudio de parámetros, que incluye el tamaño, el período sintonizado y la relación de amortiguamiento del sistema THP, se realiza sistemáticamente en base al modelo numérico. Los parámetros óptimos del THP se seleccionan debido a la reducción máxima del movimiento de los brazos bajo condiciones de olas severas en el Mar de China Meridional. Se analiza el rendimiento del semi-sumergible con y sin el sistema THP bajo diferentes condiciones de onda. Se demuestra que este nuevo sistema de placa de alzamiento sintonizado podría reducir significativamente el movimiento de movimiento de

la plataforma semisumergible y generar una potencia considerable, lo que hace que el sistema THP tenga una amplia perspectiva de desarrollo.

1.7” Direct drive surge wave energy converter with grid integration functionality”[16]

Este artículo aborda el diseño y la validación de la simulación de un convertidor de energía de onda de onda de impulsión directa (DDSWEC) como un dispositivo eficiente para aprovechar la energía de las olas marinas en lugares cercanos a la costa. La DDSWEC propuesta está compuesta por una placa rectangular rígida que produce movimientos lineales en respuesta a las fuerzas de oleaje de las olas oceánicas. Se diseña un traductor para transferir la energía de ola a un generador síncrono de imán permanente lineal, que forman conjuntamente el sistema de toma de fuerza (PTO). En el esquema propuesto, la sencillez mecánica del sistema PTO es una característica superior en la reducción de las pérdidas de potencia en la cadena de conversión de energía ondulada-eléctrica. Además, los grados de libertad mecánicos adecuados conducen a un aumento impresionante en la eficiencia de conversión de potencia. Además, el modelo matemático de los sistemas mecánicos y eléctricos que gobiernan DDSWEC es interrogado en profundidad. Además, a través de un exhaustivo análisis de contenido de frecuencia, se analiza el ancho de captura de DDSWEC y la eficiencia del dispositivo para validar su rendimiento. Debido a que el comportamiento estocástico de las ondas induce voltajes con frecuencia y magnitud variables, que son características indeseables para la integración de rejilla, se implementa en consecuencia un convertidor de espalda con espalda a escala completa con controles tanto del generador como del lado de la rejilla. Para validar el rendimiento general del DDSWEC propuesto, se diseña un sistema de prueba en la plataforma Matlab / Simulink mediante el cual se realizan varias simulaciones en el dominio del tiempo tanto para las ondas monocromáticas como irregulares.

1.8 “Analysis, design and experiment investigation of a novel wave energy converter”[17]

Este estudio presenta un diseño innovador para un convertidor de energía de ola (WEC). El sistema se basa en un dispositivo novedoso de toma de fuerza mecánica (PTO) que puede absorber la energía de las olas convirtiendo el movimiento bidireccional de una ola oceánica en la rotación unidireccional de un generador eléctrico. En primer lugar, se describen en detalle el mecanismo y la configuración de la TDF. Se modeló en MATLAB ((R)) / Simulink ((R)) una simulación de tiempo acoplada mecánica e hidrodinámica de una boya flotante hemisférica conectada a una caja de cambios bidireccional y dispositivo de generación de par bajo olas regulares. Las fuerzas hidrodinámicas que actúan sobre la boya flotante semi-sumergida se calculan empleando la teoría lineal de olas potenciales. El comportamiento de fricción en el sistema PTO se modela utilizando el método de Brian Armstrong. A continuación, se aplicó un cálculo medio de la energía de las olas y de la energía absorbida para investigar la eficiencia de conversión del WEC. Por último, la configuración experimental se lleva a cabo en un tanque de agua en diversas condiciones para evaluar el rendimiento de WEC y validar el modelado. Los resultados indican que la eficiencia de conversión de alta energía de generación de electricidad de las ondas es accesible, gracias a la alta eficiencia del dispositivo propuesto.

1.9 “Model-based design and optimization of a dielectric elastomer power take-off for oscillating wave surge energy converters”[18]

Este artículo investiga un nuevo tipo de dispositivo para producir electricidad a partir de la energía mecánica transportada por las olas oceánicas. La máquina propuesta, denominada poli-surge, se basa en un concepto de colgajo de mariposa existente en el fondo del mar que está equipado con un nuevo sistema de toma de fuerza (PTO) basado en un nuevo transductor de

elastómero dieléctrico blando (DE). Los DE son materiales poliméricos altamente deformables que se pueden utilizar para concebir generadores electrostáticos que dependen de la variación de capacitancia. Este tipo de generadores muestra una serie de características que se ajustan bien a los requisitos de un convertidor de energía de onda, ya que son ligeros, de bajo costo, tolerante a salado / ambiente marino agresivo, libre de ruido durante el funcionamiento y fácil de fabricar e instalar. El convertidor de polinucleótido considerado emplea un generador de DE en paralelogramo (PS-DEG) dispuesto en una configuración agonista-antagonista doble, lo que permite proporcionar a la aleta toros bidireccionales controlables. En este trabajo, primero se describe un modelo multifísico onda-alambre completa del sistema global que asume una respuesta hidrodinámica simplificada para la aleta articulada y un comportamiento electro-hiperelástico del PS-DEG. En segundo lugar, se presenta un procedimiento para el dimensionado y la optimización de la PS-DEG para conjuntos dados de dimensiones de colgajo de poliestireno, información de clima de onda y restricciones tanto en variables de diseño como operacionales. Por último, se proporcionan resultados de simulación para demostrar que la poli-oleada puede conseguir una producción de energía casi óptima con un sistema agonista-antagonista DEG PTO propiamente diseñado.

1.10 “Numerical and experimental studies on the PTO system of a novel floating wave energy converter”[19]

Se realizaron experimentos y varios estudios numéricos en un sistema de toma de fuerza de un nuevo convertidor de energía de ola flotante. El convertidor de energía de la ola utiliza los cambios en la elevación superficial de las olas para hacer que una columna de agua se eleve y caiga periódicamente en el cajón que crea un flujo bidireccional. Una turbina de flujo cruzado dentro del dispositivo utiliza este flujo bidireccional para girar en una

dirección. Se utilizó un simulador de océano de 6 DOF para llevar a cabo experimentos en el sistema PTO en un modelo a escala de prototipo de 1: 3, para condiciones sin carga y condiciones cargadas. En el experimento, se variaron los parámetros como ángulos de cabeceo del dispositivo, momento de inercia en el eje, periodos de onda y velocidades de rotación de la turbina. Se encontró que para todos los ángulos de cabeceo, el dispositivo tenía una respuesta óptima en un periodo de onda de 3 s. Se encontró que un momento de inercia de 0,053 kg m² era apropiado para todos los casos de prueba. Se obtuvieron eficiencias hidráulicas máximas entre 35% y 45% para el intervalo de 40-50 RPM para la mayoría de los casos de prueba. Las pruebas de velocimetría de imagen de partículas (PIV) se realizan para documentar e investigar el flujo alrededor de la turbina y las toberas de entrada y salida. Se utilizó un software CFD comercial para realizar los cálculos numéricos y observar el flujo interno. Finalmente, se realizó una simulación de cuerpo flotante para calcular el movimiento del dispositivo en el mar y así calcular el rendimiento global del dispositivo.

1.11 “Real time hybrid modeling for ocean wave energy converters”[20]

El modelado exacto de los convertidores de energía de las olas oceánicas está limitado principalmente debido a la naturaleza alternante de la fuerza de excitación y las consiguientes complicaciones, particularmente en el dominio fluido. La simulación directa suele ser costosa desde el punto de vista computacional, y los experimentos están restringidos por reglas de escala que no pueden satisfacerse simultáneamente y, por supuesto, por los costos. Muchos problemas de modelado, incluyendo varios en la energía de las olas oceánicas, se pueden dividir en subdominios que para cada uno, un esquema de modelado (por ejemplo, simulación numérica o experimento) es práctico y

preferido. La idea detrás de la simulación híbrida es resolver cada subdominio utilizando el método preferido, mientras que los subdominios se comunican entre sí en sus límites comunes a través de sensores y actuadores, con el objetivo principal de resolver el problema principal en su conjunto. Estamos particularmente interesados en el conjunto de problemas en los que los subdominios están fuertemente acoplados y, por tanto, influyen significativamente entre sí. El desafío es cuando uno de los sub-problemas debe ser modelado experimentalmente y, por lo tanto, como resultado de todo el híbrido de simulación de modelado tiene que llevarse a cabo en tiempo real. Revisamos aquí el fondo y los detalles del esquema de simulación híbrida en tiempo real con el enfoque específico en el modelado de los dispositivos de energía de las olas oceánicas. Elaboramos grandes retos a través de un estudio de caso de un nuevo convertidor de energía de ola de presión diferencial montado en los fondos marinos denominado "Wave Carpet". Encontramos los parámetros óptimos de las unidades de despegue de potencia así como su posicionamiento óptimo para lograr la máxima eficiencia total de la alfombra Wave.

1.12 “From wave to jet and from jet to hydrogen: A promising hybrid system”[21]

Uno de los principales desafíos que nuestra sociedad debe superar en este siglo es el de encontrar fuentes de energía alternativas a los combustibles fósiles. Estos, idealmente, deben ser baratos, menos contaminantes que los combustibles actuales y disponibles durante un tiempo sustancial. Una alternativa prometedora es el hidrógeno, que tiene la gran ventaja de que puede producirse mediante el acoplamiento de dispositivos de energía renovable con la electrólisis del agua. Varios proyectos dedicados a la conexión de sistemas fotovoltaicos y eólicos con dispositivos de electrólisis han tenido éxito; Sin embargo, se ha hecho poca investigación sobre el acoplamiento de los convertidores de energía de las olas oceánicas con la

electrólisis del agua. El trabajo aquí propone un sistema básico que almacena la energía de las ondas en forma de hidrógeno. El WEC considerado es un nuevo diseño conocido como un Blow-Jet, que captura las olas y las convierte en un chorro de agua. El rendimiento del Blow-Jet se determina que depende más de la longitud de onda que de la altura de la ola. Los resultados del electrolizador muestran, a 0,200 A y 1,88 V, que la electrólisis del agua produce 0,082 Nm³ (-1) de hidrógeno y una eficiencia de corriente (η (I)) del 90,58%.

1.13 “Energy conversion of orbital motions in gravitational waves: Simulation and test of the Seaspoon wave energy converter”[5]

La conversión de la energía de las olas oceánicas en energía eléctrica sostenible representa una gran oportunidad para las naciones dotadas de ese tipo de recursos. En la actualidad, la mayoría de las innovaciones tecnológicas destinadas a la conversión de estos recursos se encuentran en una fase inicial de desarrollo, con sólo un puñado de dispositivos cerca de estar en la fase de demostración comercial. El dispositivo Seaspoon, pensado como una gran recolectora de energía, capta la energía cinética de las olas oceánicas con una prometedora eficiencia de conversión y una tecnología robusta, de acuerdo con un "clima de movimiento de olas" específico. La Universidad de Génova tiene como objetivo desarrollar un prototipo que se desplegará en mares de contenido energético medio (es decir, los mares del Mediterráneo o de Asia oriental). Este artículo presenta los primeros resultados de simulación y experimentación realizados en un modelo de prueba de concepto a escala reducida probado en el canal de ondas de laboratorio.

1.14 “Analytical modelling of an U-Oscillating Water Column and performance in random waves”[22]

La tecnología de columna de agua oscilante (OWC) es reconocida como una de las soluciones más eficaces para explotar la energía de las olas del mar en

un escenario que incluye cientos de dispositivos prometedores. En este contexto, el nuevo dispositivo U-OWC se ha introducido recientemente como un desarrollo adicional del OWC. Este dispositivo difiere del OWC convencional ya que utiliza un pequeño conducto en U vertical para conectar la bolsa de aire al campo de onda abierto. El objetivo de este trabajo es proponer una representación coherente del campo de onda que interactúa con el U-OWC en el contexto de una teoría linealizada de olas de agua y, a continuación, una descripción analítica de la dinámica de U-OWC. Tal representación supera los inconvenientes de los modelos analíticos propuestos, en la actualidad, en la literatura abierta. Además, permite incluir efectos de memoria previamente olvidados. A continuación, el rendimiento de la U-OWC es investigado por Monte Carlo simulaciones. En este sentido, se producen varias simulaciones para probar la eficiencia del dispositivo en ondas de mar compatibles con la densidad espectral de potencia de las ondas generadas por el viento y de las oleadas. La eficiencia se evalúa de acuerdo con una serie de parámetros, que permiten destacar la notable cantidad de energía absorbida por el sistema. También se investiga la influencia de la turbina comparando el rendimiento de las turbinas monoplano (con y sin paletas), biplano y contra-rotativas.

1.15 “Seaweaver: A new surge-resonant wave energy converter”[23]

Este artículo presenta un estudio experimental de un nuevo concepto de convertidor de energía de ola resonante en oleada que es un sucesor de los WECs "Fronde" y "Wraspa" investigados en la Universidad de Lancaster y en otros lugares. El concepto es de un diafragma flotante, rígido, perforador de superficie, cuyos bordes se mantienen inmóviles, pero cuya zona central se mueve en resonancia con el componente de oleaje de un sistema de olas oceánicas. Los dos cuerpos que forman este diafragma son pivotados sobre los brazos de un bastidor tubular en forma de Y que se mantiene en posición mediante cuatro líneas de amarre tensadas. Se propone mover el bastidor

para compensar los cambios de mareas y mantener el cojinete WEC de modo que siempre esté orientado hacia la dirección principal de hinchamiento. Los anchos de captura * encontrados en las pruebas de tanque, en ondas regulares de $0,5 W / m$, generalmente eran alrededor de 20 cm a 1/100 de escala y eran mayores que en ondas más pequeñas. Se demostró un método de ajuste lento y se describe también un método de ajuste rápido, previamente probado con Wraspa. En vista de los bajos costos estructurales y de instalación, combinados con una buena potencia, el trabajo futuro propuesto incluye ensayos de ondas mixtas en un diseño "mejor" a escalas que van desde 1/170 a 1/3, siendo este último un ensayo marino sobre I Año en el Mar de Irlanda en un punto donde las condiciones son conocidas para modelar de cerca las condiciones del Atlántico Norte. Tal ensayo incluiría la medición de cargas estructurales en mares extremos: éstos se discuten a continuación. * Ancho de captura o CW, m = WEC potencia, W / Incidente de onda de potencia, W / m.

1.16 “Modeling of the Efficiency of a Semisubmerged Ocean Wave Energy Converter”[24]

El RTI G2 es un convertidor de energía de onda de tipo terminador (WEO) que convierte la energía a través de un sistema power-take-off (PTO) ubicado dentro de una cámara de aire compresible alargada frente a frente de onda. La compresión y expansión de la cámara es impulsada tanto por la energía cinética como por la energía potencial debido a las fuerzas de oleada y de impulsos que actúan sobre una placa de accionamiento orientada paralelamente a las ondas que se aproximan. El convertidor RTI G2 está montado sobre un bastidor estabilizador, que puede flotar o fijarse al lecho marino y permite que la cámara de aire esté totalmente sumergida debajo de los canales de ondas durante mares severos. El presente trabajo examina el desempeño del RTI G2 en un marco fijo. Se revisan las pruebas modelo realizadas en una escala de 1: 8 y se desarrolla un modelo matemático para

describir el desempeño del RTI G2. Los resultados experimentales se utilizan para la calibración y validación del modelo matemático. Se modelan varios ángulos de orientación de la cámara de compresión, con ángulos de orientación más altos que proporcionan mejores eficiencias a frecuencias de onda más altas. El RTI G2 es un nuevo concepto WEC, y el presente trabajo proporciona la primera investigación analítica sobre su comportamiento.

1.17 “Scaled Development of a Novel Wave Energy Converter Including Numerical Analysis and High-Resolution Tank Testing”[25]

Este artículo presenta el desarrollo a escala de un nuevo convertidor de energía de olas de absorción de puntos (WEC) desarrollado por Columbia Power Technologies (COLUMBIA POWER, Corvallis, OR, EE.UU.), incluyendo análisis numéricos y pruebas de tanques de olas escalonadas. Cuatro herramientas de modelado hidrodinámicas se emplean para evaluar y optimizar el rendimiento del WEC, incluyendo WAMIT, GH WaveDyne, OrcaFlex y ANSYS AQWA de Garrad Hassan. Se evalúan y optimizan las estimaciones de rendimiento y amarre a escala completa, seguidas del desarrollo de modelos físicos de escala 1: 33, 1: 15 y 1: 7. Las pruebas físicas de los WEC de escala 1: 33 y 1: 15 se realizaron en las cuencas de onda de la O.H. de la Universidad Estatal de Oregón. Hinsdale Wave Research Laboratory, conjuntamente con el Centro Nacional Noroeste de Energía Renovable Marítima (NNMREC). Este trabajo concluye con el desarrollo de la escala 1: 7 WEC y las pruebas de campo asociadas.

1.18 “Analytical study of the interaction between waves and cylindrical wave energy converters oscillating in two modes”[26]

La energía de las olas oceánicas puede ser recuperada por los convertidores de energía de las ondas oscilantes. El convertidor de energía estudiado en este trabajo es un cilindro orientado horizontalmente que se puede colocar a diferentes profundidades en el mar. El cilindro puede oscilar en las direcciones

horizontal y vertical y transferir la energía mecánica hacia adelante por los cilindros hidráulicos. Para estudiar la interacción entre las ondas y el convertidor, hemos utilizado la teoría del flujo potencial separadamente para las ondas y el cilindro oscilante, y luego combinamos estas funciones potenciales utilizando el principio de superposición. Los campos combinados de flujo potencial, junto con las ecuaciones de Euler, nos permiten obtener la distribución de presión alrededor del cilindro. Cuando se conoce la distribución de presión, se puede calcular tanto la fuerza sobre el cilindro como la potencia mecánica neta transferida de las ondas al cilindro en movimiento. Con este modelo hemos analizado varios temas interesantes que afectan la eficiencia del convertidor de energía de las olas. El cambio de fase es el parámetro más importante con el cambio de fase $-\pi / 2$, se obtuvo la mejor eficiencia 0.5. Para lograr el cambio de fase correcto para diferentes ondas es esencial debido a la captura de energía. Además, se muestra que el control de realimentación es necesario para mantener constante el desplazamiento de fase. También el radio del cilindro tiene un gran efecto en la eficacia. Los otros parámetros importantes estudiados en este trabajo fueron la altura de las olas y el período de las olas.

1.19 “Numerical Simulation of Section Systems in the Pelamis Wave Energy Converter”[27]

En este trabajo se describe el principio de funcionamiento del convertidor de energía de ola Pelamis. El tamaño seccional adecuado para el mar exterior de la bahía de Xiamen se rediseña de acuerdo con los criterios de similitud de Froude y Strouhal. Los ángulos de oscilación, los coeficientes hidrodinámicos y las fuerzas de excitación de las olas se calculan sobre la base del software hidrodinámico AQWA y de la condición media del mar exterior de la bahía de Xiamen. Se concluye que los Pelamis, después de haber sido rediseñados por los criterios de similitud de Froude y Strouhal, pueden funcionar mejor en la zona marítima exterior de la bahía de Xiamen. Las tres secciones

indirectamente en contacto con el eje fijo tienen mayores ángulos de oscilación. El período de onda y la altura afectan la velocidad de la respuesta de la sección y su rango de ángulo de oscilación, respectivamente. Cuanto mayores sean las fuerzas totales, mayores serán los ángulos de oscilación. La frecuencia circular de la onda tiene un mayor efecto sobre la masa añadida y la fuerza de excitación de la onda que sobre la amortiguación de la radiación; La masa añadida de la protuberancia y la fuerza de excitación de la onda de levantamiento se reducirán cuando la amortiguación de la radiación del impulso se haga mayor con el aumento de la frecuencia circular de la ola.

1.20 “Design Specifications for the Hanstholm WEPTOS Wave Energy Converter”[28]

El WEPTOS Wave Energy Converter (WEC) es un dispositivo novedoso que combina un mecanismo de absorción de energía de onda establecido y eficiente con una estructura inteligente que puede regular la cantidad de energía de onda entrante y reducir cargas en condiciones de onda extremas. Esta estructura ajustable en forma de A floja y flotante absorbe la energía de las olas a través de una multitud de rotores. La forma de los rotores se basa en el famoso Salter's Duck. En cada pata, los rotores giran alrededor de un eje común, a través del cual los rotores transfieren la potencia absorbida a un sistema de toma de fuerza común. El estudio investiga la capacidad requerida del sistema de toma de fuerza (PTO) y las fuerzas estructurales en un prototipo WEPTOS WEC, destinado a la instalación en Hanstholm (Dinamarca), basado en pruebas experimentales a gran escala utilizando un modelo de laboratorio altamente realista del dispositivo completo. Los resultados de la presente invención incluyen la velocidad de rotación y el par transmitido (y por este medio) al sistema PTO utilizando diferentes estrategias de control de la PTO, el impacto de las fluctuaciones de la potencia mecánica disponible y el efecto de limitar la capacidad de la PTO en la producción anual de energía. La adquisición de fuerzas estructurales incluye fuerzas de amarre

y momentos de flexión estructurales en condiciones de producción y de onda extrema, ilustrando que la regulación del ángulo en la forma A asegura que fuerzas extremas sobre la estructura pueden mantenerse en el mismo orden de magnitud que en condiciones de producción.

1.21 “SSG wave energy converter: Design, reliability and hydraulic performance of an innovative overtopping device”[29]

El SSG (Sea Slot-cone Generator) es un convertidor de energía de ola del tipo overtopping (. La estructura consiste en una serie de depósitos uno encima de otro por encima del nivel medio de agua en el que el agua de las ondas entrantes se almacena temporalmente. En cada depósito, las hidroter-turbinas de cabeza baja de diseño expreso están convirtiendo la energía potencial del agua almacenada en energía. Una clave del éxito para el SSG será el bajo costo de la estructura y su robustez. La construcción de la planta piloto está programada y este trabajo tiene como objetivo describir el concepto del convertidor de energía de onda SSG y los estudios detrás del proceso que conduce a su construcción. La planta piloto es un módulo a escala completa en tierra en 3 niveles con una potencia prevista de 320 MWh / a en el Mar del Norte. Los resultados de la localización, clima de las olas y pruebas de laboratorio se utilizarán aquí para describir la planta piloto y sus características.

1.22 “Modeling and control of a 75 kW class variable liquid-column oscillator for highly efficient wave energy converter”[30]

Se presenta el modelado y control de un oscilador variable de columna líquida que tiene un tubo en U lleno de líquido con cámaras de aire en sus columnas verticales. Como un dispositivo de extracción de energía de las olas oceánicas, la estructura del oscilador variable de columna líquida (VLCO) es análoga a la del amortiguador de columna líquida sintonizado utilizado para suprimir el movimiento oscilatorio en estructuras grandes como edificios altos y buques de carga. Sin embargo, debido a un efecto de resorte neumático

causado por la presión dinámica de las cámaras de aire, la amplitud de respuesta del VLCO se amplifica significativamente durante un periodo de onda deseado. Las ecuaciones de gobierno para el movimiento de la estructura de VLCO bajo la excitación de la onda y el movimiento del líquido con un efecto de resorte de aire causado por una interacción aire-líquido se describen mediante una serie de ecuaciones diferenciales no lineales. Para el funcionamiento eficiente del VLCO se determina un conjunto de parámetros de control para extraer la máxima potencia de diversas condiciones de onda. Se observa que el efecto del resorte neumático tiene un papel importante que desempeñar para hacer que la oscilación del VLCO coincida con la ola oceánica. De esta manera, el VLCO proporciona el modo más efectivo para extraer energía de la ola oceánica.

1.23 “Optimisation of wave energy extraction with the Archimedes Wave Swing”[31]

Este artículo aborda el Wave Swing de Archimedes (un convertidor de energía de olas en alta mar, que produce electricidad a partir de las olas del mar). Compara las prestaciones del control de enclavamiento (una estrategia de control discreta, altamente no lineal, intrínsecamente sub-óptima), de control reactivo, de control de fase y amplitud (dos estrategias óptimas de control que implican funciones de transferencia no causales que tienen que ser implementado con aproximaciones, descomponiendo así el control sub-óptimo), y del control de linealización de retroalimentación (una estrategia de control no lineal). A partir de simulaciones extensas se concluye que este último desempeña claramente mejor independientemente del estado del mar, y conduce a un aumento significativo de la potencia de las ondas absorbidas.

1.24 “Developments in the design of the PS Frog Mk 5 wave energy converter”[32]

Este artículo describe uno de los innovadores convertidores de energía de olas en desarrollo del Grupo de Energías Renovables de la Universidad de Lancaster. El PS Frog Mk 5, un convertidor offshore de energía de ondas de absorción de puntos, consta de una gran paleta flotante con un "mango" lastrado que cuelga por debajo. Las ondas actúan sobre la pala de la paleta y el lastre debajo proporciona la reacción necesaria. Cuando el WEC está lanzando, la energía se extrae resistiendo parcialmente el deslizamiento de una masa de toma de fuerza, que se mueve en guías por encima del nivel del mar. Totalmente encerrado en un casco de acero, sin partes móviles externas, PS Frog Mk. 5 es al menos tan robusto como un buque y la capacidad de supervivencia del dispositivo está actualmente bajo investigación, aunque tal trabajo está fuera del alcance de este documento. Tal dispositivo podría ser muy económico en términos de potencia por unidad de coste de capital. Nuevos pasos inventivos con resultados experimentales y estudios de computadora han conducido a mejoras prometedoras a la forma del casco. El WEC se mantiene en un estado resonante mediante el uso de medios especiales para mantener una lupa dinámica alta en mares irregulares. Se ha desarrollado un robusto sistema de control de retroalimentación para asegurar la estabilidad y mantener una toma de fuerza eficiente. Algunos de estos desarrollos se describen e ilustran con los resultados de simulaciones por computadora que muestran las salidas de potencia y el movimiento del dispositivo en una gama de condiciones. Se demuestra que se han logrado avances útiles, con la captura de potencia que bordea los 2 MW en una proporción creciente de estados marinos.

1.25 “Mechanical design and modeling of a single-piston pump for the novel power take-off system of a wave energy converter”[33]

Se ha propuesto un convertidor de energía de olas de toma de fuerza de multi-bomba y multi-pistón (MPPTO) -P-2 WEC para su uso con una nueva máquina de cosecha de energía renovable denominada Ocean Grazer. El WEC

(MPPTO) -P-2 utiliza el movimiento de olas para bombear a través de boyas conectadas a los pistones que operan fluido dentro de un circuito cerrado y almacenarlo como energía potencial que puede convertirse en electricidad a través de turbinas. Este artículo presenta el diseño mecánico y la predicción de rendimiento basada en modelos de una bomba de pistón único que constituye el componente básico para el MPPTO -P-2 WEC. Los resultados proporcionan una validación preliminar de la lubricación acuosa como un medio viable para reducir la fricción y el desgaste, lo que sugiere que los fluidos hidráulicos a base de agua pueden prohibir el contacto sólido en la interfaz pistón-cilindro mientras se reducen las fugas volumétricas y permitir una estimación de la eficiencia de extracción de energía El sistema de bombeo mecánico. A la espera de investigaciones tribológicas más exhaustivas y amplias utilizando la metodología introducida en este trabajo, los resultados sugieren que la eficiencia general del sistema será dictada por la hidrodinámica de las boyas que accionan el sistema de bombeo.

1.26 “Design of the dual-buoy wave energy converter based on actual wave data of East Sea”[34]

Se sugiere un nuevo Convertidor de Energía de Onda (WEC) conceptual para la mejora de la eficiencia de la extracción de energía. Con base en los datos reales de las olas, el proceso de diseño del WEC sugerido se realiza de tal manera que sea adecuado en el mar real. Los datos de olas reales medidos en el Mar del Este de Corea (posición: 36,404 N grados y 129,274 grados E) del 1 de mayo de 2002 al 29 de marzo de 2005 se utilizaron como espectro de onda de entrada para la estimación del rendimiento del WEC de doble boya. El WEC sugerido, un tipo de amortiguador de punto, consta de dos cilindros circulares flotantes concéntricos (una boya exterior interna y otra hueca). Las múltiples frecuencias de resonancia en el WEC propuesto afectan

el rendimiento de Power Take-off (PTO) del WEC. Sobre la base de los resultados numéricos, se proponen varias estrategias de diseño para mejorar aún más la eficiencia de extracción, incluyendo el desajuste intencional entre las frecuencias naturales de las boyas duales, la frecuencia natural del fluido interno y la frecuencia máxima del espectro de ondas de entrada.

1.27 “The new wave energy converter WaveCat: Concept and laboratory tests”[35].

Para que la energía de las olas se convierta en una auténtica, renovable, eficiente y confiable Wave Energy Converters (WEC) debe ser desarrollado. Los objetivos de este artículo son presentar WaveCat, un WEC recientemente patentado, y su prueba de concepto mediante una campaña experimental en un tanque de grandes olas. WaveCat es un WEC flotante cuyo principio de operación es el desbordamiento oblicuo; Diseñado para el despliegue en alta mar (en 50-100 m de agua), tiene dos ventajas significativas: impacto mínimo (si es que existe) en el litoral y acceso a un recurso mayor que los ccc de costa o costa. Consiste en dos cascos, como un catamarán (de ahí su nombre); A diferencia de un catamarán, sin embargo, estos cascos no son paralelos sino convergentes. Usando un punto de amarre de un solo punto a una boya CALM, los arcos de WaveCat se mantienen al mar, por lo que las ondas incidentes se propagan en el espacio entre los cascos. Con el tiempo, las crestas de las olas sobrepasan los lados del casco interno y el agua de recolección se recoge en los embalses a un nivel más alto que el nivel del mar (externo). Como el agua se drena de nuevo al mar, impulsa los grupos de turbina-generator. El francobordo y el calado, así como el ángulo entre los cascos, se pueden variar dependiendo del estado del mar. Después de las pruebas preliminares con un modelo fijo de WaveCat en un canal de ondas, que constituyó el primer paso en el desarrollo de la patente WaveCat, en este trabajo se probó un modelo flotante en un tanque de ondas grandes. Además de servir como prueba de concepto del modelo WaveCat, esta campaña

experimental permitió recolectar datos que serán utilizados para calibrar y validar un modelo numérico con el que optimizar el diseño. Además, se encontró en las pruebas que las tasas de sobrecarga (y, por lo tanto, la potencia) dependían en gran medida del ángulo entre cascos, de modo que la posibilidad de variar este ángulo (tal como se contempla en la patente) El Prototipo.

2 Artículos Agregados

2.2 “NEAR-SHORE FLOATING WAVE ENERGY CONVERTERS: APPLICATIONS FOR COASTAL PROTECTION” [36]

El objetivo de esta nota es analizar la posible aplicación de un convertidor de energía de onda (WEC) como una herramienta combinada para proteger la costa y la energía de cosecha. Las pruebas del modelo físico se utilizan para evaluar la transmisión de ondas más allá de un WEC flotante cerca de la costa del tipo de cuerpo activado por onda, llamado DEXA. Las características de eficiencia y transmisión se aproximan a las funciones de altura de onda, período y oblicuidad. Su orden de magnitud es de 20% y 80%, respectivamente. Se imagina que una serie de DEXA se despliega frente a la playa de Marina di Ravenna (IT), un sitio altamente turístico de la costa

adriática. Sobre la base de la fórmula CERC, el transporte de sedimentos en la costa larga se evalúa en presencia y en ausencia de este conjunto de DEXAs. El transporte de sedimentos en este sitio es bastante grande y con frecuencia cambia de dirección durante el año. La mayor contribución norte dirigida y la más persistente dirigida hacia el sur son similares en magnitud y casi se compensan entre sí, con la última ligera prevalencia. Se ha demostrado que la DEXA podría diseñarse de manera que el efecto sobre el transporte de sedimentos sea bastante significativo y la dirección del transporte de la red pueda ser invertida.

2.3 “PHYSICAL MODEL TESTS OF THE ANACONDA WAVE ENERGY CONVERTER” [37]

Anaconda es un convertidor de energía de onda que consiste esencialmente de un tubo de goma cerrado lleno de agua anclada cabeza a las olas en el mar. Las variaciones de presión debidas a las ondas externas generan ondas de protuberancia en este tubo que pueden utilizarse para producir energía eléctrica con un sistema de toma de fuerza en la popa del tubo. Se diseñó un sistema de prueba que permite la generación de ondas de bulto tanto en agua inicialmente, mecánicamente con un pistón en movimiento dentro del tubo, como por ondas de agua externas. Este artículo presenta los resultados experimentales de 156 pruebas realizadas en una cuenca de 20 m de largo, 30 m de ancho y 3 m de profundidad en el Danish Hydraulic Institute. Las velocidades de las ondas de protuberancia medidas por medio de extensómetros montados en el tubo se encuentran en un acuerdo razonable con las predicciones basadas en la teoría lineal usando mediciones estáticas de la distensibilidad. El ancho de captura de Anaconda es óptimo si la velocidad de la onda de protuberancia está cerca de la celeridad de la onda externa. En esta condición, las mediciones de las ondas de agua producidas inicialmente en agua inmóvil por ondas de protuberancia generadas

mecánicamente sugieren que el Anaconda tiene la característica deseable de ondas radiales predominantemente en la dirección hacia delante.

2.4 “ SEAREV: Case study of the development of a wave energy converter”[38]

En este trabajo se presentan los estudios técnicos y económicos realizados sobre el Convertidor de Energía de Onda de SEAREV (WEC). Esta tecnología fue propuesta por primera vez en 2002 con el objetivo de abordar los desafíos críticos en la conversión de energía de las olas. Consiste en un casco flotante cerrado en el cual oscila un péndulo pesado. El movimiento relativo controlado del péndulo se utiliza para producir electricidad. El WEC de SEAREV se desarrolló durante doce años. A través del proceso de desarrollo, se definieron y estudiaron en detalle tres generaciones principales de la tecnología. Se presentan en el documento, mostrando cómo cada nueva generación trajo mejoras significativas respecto a la generación anterior con respecto a la producción y los costos. En 2013, se desarrolló un modelo económico para las granjas de energía de las olas para evaluar la viabilidad y competitividad de la tecnología SEAREV. Aunque los resultados demuestran que la tecnología de SEAREV es una solución técnica sólida, el costo de la proyección de energía sigue siendo demasiado alto para permitir el acceso directo al mercado de electricidad de masa en los países europeos a corto plazo. Finalmente, a la luz de las lecciones aprendidas del desarrollo del WEC de SEAREV, se discute la necesidad de tecnologías innovadoras con un nivel de rendimiento tecnológico más alto (TPL) o mercados alternativos en el contexto de la energía de las olas.

2.5 “Evaluation of technologies for harvesting wave energy in Caspian Sea” [39], [40]

Este artículo estudia el rendimiento de captura de potencia de los conjuntos de convertidores de energía de onda de pato solo (WEC). El método de

función de barrera combinado con un algoritmo de optimización de cuasi-Newton BFGS se aplica para encontrar la máxima potencia capturada de la matriz cuando los patos están bajo restricciones de movimiento. Sobre la base de esta potencia máxima capturada optimizada, se investigan los efectos de la distancia de separación, período de onda, dirección de onda incidente y anchura de pato en el rendimiento de la matriz. Para los dos Ducks, los resultados muestran que las bandas de interacción constructiva y destructiva alternativas en el gráfico de contorno de la variación del factor q con la distancia de separación no dimensional se obtienen a partir del patrón de onda difractada de cada pato y la fuerza de interacción hidrodinámica se reduce cuando las limitaciones afectan el rendimiento. Para el conjunto de tres Ducks, el pato medio muestra una mayor variabilidad de la potencia capturada que los patos laterales debido a experimentar la onda difractada doble en fase de los laterales. El poder capturado de la matriz de pato WEC solo es sensible a la dirección de la onda incidente, y arrays con patos de menor ancho se encuentran para tener un mejor rendimiento en la eficiencia de captura de energía.

2.6 “A Brief Review of Wave Energy” [41]

Capítulo del libro donde se hacen referencia a diferentes calcificaciones de los dispositivos undimotriz según sus características.

2.7 “Development of a wave energy converter (WEC) design tool – application to the WaveRoller WEC including validation of numerical estimates” [42]

El artículo describe una nueva herramienta de diseño WEC (Wave energy Converter) completamente acoplada, WaveDyn y su aplicación al diseño del WaveRoller WEC. GL Garrad Hassan (GH) ha estado apoyando a AWEnergy (AWE) en el desarrollo de su máquina 'WaveRoller' de escala comercial, derivando predicciones numéricas y experimentales relacionadas con el desempeño independiente, es decir, estimaciones de potencia de carga y absorbida. WaveDyn permite a los usuarios cargar datos hidrodinámicos para

una geometría específica, definir un modelo estructural de varios cuerpos con todos los enlaces físicos asociados y caracterizar la toma de fuerza (PTO) en detalle, incorporando potencialmente la dinámica de la toma de fuerza interna. El software también incorpora un módulo de amarres por el que como usuario puede aplicar perfiles de fuerza no lineal a puntos específicos de la estructura. Bajo este trabajo, todos los módulos de WaveDyn han sido utilizados para iterar en una gama de geometrías, teorías hidrodinámicas, perfiles de objetivo de PTO (incluyendo no linealidades) y restricciones técnicas (por ejemplo, par de torsión máxima permitida). El enfoque de modelado totalmente acoplado permite evaluar la influencia de las principales variables de diseño en el sistema completo. Algunos resultados clave se presentan aquí y se comparan con los experimentos realizados a escala 1:24.

2.8 “The development of Oyster – A shallow water surging wave energy converter” [43]

En 2005 Aquamarine Power Ltd. se formó para desarrollar Oyster, una colgadura cerca de la costa que es la bisagra conectada al fondo marino. Con una combinación de capital privado y subvención se ha diseñado un módulo Oyster de 350kW y se planea instalar un módulo prototipo en el sitio de pruebas de EMEC en Orkney cuando el muelle de prueba nearshore esté disponible. En esta versión de Oyster el agua de mar de alta presión será bombeada a tierra para conducir una rueda de Pelton. En última instancia, se prevé que las unidades Oyster se dispondrán en grupos que alimenten a una unidad de toma de potencia de entre 3,5 y 5 MW de potencia. Las matrices de clusters formarán centrales eléctricas de 20 a 100 MW de potencia. Un extenso programa de investigación y desarrollo ha producido una forma estructural muy eficiente, lo que da a Oyster una de las más altas relaciones de potencia y peso de todas las tecnologías actuales combinadas con altos factores de captura en los mares más comunes. Oyster se puede quitar fácilmente y volver a instalar para un mantenimiento importante cuando sea

necesario. Esta es una característica normalmente asociada con dispositivos amarrados. A pesar de que hay otros dispositivos de colgajo con bisagra inferior, Oyster es diferente en varias formas y ocupa una parte diferente del espacio de diseño. Por ejemplo, a diferencia de los otros sistemas, penetra completamente en la columna de agua desde la superficie del agua hasta el lecho marino. Aunque se podría considerar que un sistema de este tipo sería vulnerable en mares extremos, el modelado de tanques de oleaje extenso ha demostrado que la aleta se desacopla intrínsecamente de la onda a medida que la oscilación aumenta y que las cargas de onda experimentadas son manejables en los tres modos operativos; generando, undamped y estacionado en el fondo del mar. Sin embargo, las pruebas de modelos muestran que Oyster puede seguir generándose en todos los estados marinos, incluyendo los desbordadores. Este artículo muestra la evolución de Oyster presentando algunas de las investigaciones que han llevado al diseño actual. Un esquema de los inminentes ensayos en mar de un prototipo de unidad de demostración se da junto con los resultados proyectados.

2.9 “Renewable Energy Utilization in China” [44]

China sigue siendo un país en desarrollo según el estándar mundial, pero su crecimiento industrial y económico se está desarrollando a un ritmo sin precedentes. Esto ha dado lugar a un enorme consumo de energía eléctrica, un gran porcentaje de lo que está siendo producido por los combustibles fósiles. La excesiva dependencia de los combustibles fósiles ha causado preocupaciones a escala mundial y China está bajo una gran presión para reducir la producción de gases de efecto invernadero. El aumento del despliegue de recursos de energía renovable a escala nacional proporciona una solución factible para abordar los problemas ambientales y aumentar la seguridad energética. Este documento revisa los recientes desarrollos en la utilización de energías renovables en China. Se discuten los pros y contras de varias tecnologías renovables.

2.10 “FAESIBILITY TESTS OF NEW PENDULAR-TYPE WAVE ENERGY CONVERSION APPARATUS” and “An experimental study of a floating breakwater with asymmetric pneumatic chambers for wave energy extraction”[45],[46]

Con el fin de utilizar la energía natural, es esencial desarrollar un sistema totalmente compatible, en lugar de los sistemas convencionales de generación de energía. Los autores propusieron un nuevo dispositivo de generación de energía de onda tipo pendular. Se estudiaron los criterios de diseño para un nuevo sistema de bombas de paletas rotativas (NRVP) durante varios años y se estableció una planta de ensayo de 5 kW con un gran desplazamiento de 45,9 l / rev. Se consideró que este sistema pendular simplificado limitaba los costos de inversión. Este artículo describe el nuevo convertidor de tipo pendular y sus componentes y presenta los datos de observación obtenidos en pruebas de campo realizadas en el mar.

2.11 “Application of PowerBuoy Wave Energy Converter Technology to Remote Power Requirements in Oil and Gas Field Developments” [47]

Los descubrimientos de hidrocarburos en las regiones fronterizas distantes de la costa y / o en aguas profundas son los principales inventarios marginales de petróleo que carecen de suficiente gas de arrendamiento para satisfacer la demanda local de energía. Los diseños de los sistemas para la entrega de potencia terrestre (submarina) no han sido muy frecuentes en los últimos 50 años; el gas y el diésel siguen siendo los combustibles preferidos para la generación de energía. Dado el volátil mercado de materias primas actual y las inciertas regulaciones de cambio climático en torno al desarrollo de estas reservas restringidas de gas requerirá una mirada más crítica a las opciones de suministro eléctrico.

En general, estas reservas marginales pueden respaldar un proyecto de 2-4 pozos. y la economía de los negocios dicta que la demanda de energía de los proyectos está mejor atendida por la generación de energía local en comparación con la costosa transmisión de la distancia lejana de la energía desde el mar.

En una región seleccionada del mundo, el operador puede recurrir a la tecnología de energías renovables (eólica, ola, oleaje, corriente y ocena de energía térmica) para la generación de energía sin huella de carbono. Este documento se enfoca en una solución de tecnología de energía de las olas para energizar un campo petrolífero marginal frente a la costa de África occidental. Abordará el estado actual de la tecnología.

El resultado de este ejercicio indica que en ciertas aplicaciones, la energía de las olas parece ser una solución rentable. Un activo submarino sin bombeo tiene en gran medida la demanda máxima de carga de guisantes, por lo que la intermitencia de un recurso de energía renovable es tolerable. Donde se necesita satisfacer una carga base de bombeo, puede haber una necesidad de tecnología de almacenamiento de energía

2.12 “AquaBuOY - The Offshore Wave Energy Converter Numerical Modeling and Optimization” [48]

La energía oceánica y la conversión de energía de las olas en alta mar en los Estados Unidos se encuentran en un hito importante. Durante los próximos años, los desarrolladores de tecnología de energía oceánica y los funcionarios de energía tienen el potencial de implementar instalaciones de conversión de energía oceánica a escala piloto. Esta capacidad llega en un momento de mayor interés en la energía oceánica en todo el mundo. El documento describe la experiencia de AquaEnergy en el desarrollo de la planta piloto de la bahía Makah Bay y los resultados de los datos de rendimiento proyectados desarrollados utilizando las directrices E21 EPRI. La planta de energía piloto mar adentro de Makah Bay, WA utiliza el dispositivo de inversión de energía de onda absorbente puntual AquaEnergy: AquaBuOY. El dispositivo es la próxima generación de la tecnología que combina las tecnologías sueco de bomba de manguera y IPS Buoy para generar energía limpia a partir de las olas del océano. Actualmente, el proyecto está en proceso de obtención de permisos ambientales para las licencias FERC 8 NOAA. Realizó proyecciones de producción para corroborar el rendimiento esperado de la planta piloto de Makah Bay en apoyo del Proyecto de Demostración de Viabilidad de Energía Eólica E21 de Ondas Marinas. breve resumen de la legislación vigente que afecta a la industria. En 2004, los oceanógrafos, ingenieros y desarrolladores pueden seguir sentando las bases para el gasto gubernamental y el interés en las energías oceánicas.

2.13 ***“Wave Energy from the North Sea: Experiences from the Lysekil Research Site” and “Experimental results from sea trials of an offshore wave energy system”*** [49], [50]

Este documento proporciona una actualización de estado sobre el desarrollo del área de investigación de la energía de las olas sueca ubicada cerca de Lysekil en la costa oeste de Suecia. El proyecto Lysekil está a cargo del Centro de Conversión de Energía Eléctrica Renovable en la Universidad de Uppsala. El proyecto comenzó en 2004 y actualmente tiene permiso para ejecutarse hasta finales de 2013. Durante este período de tiempo 10 convertidores de energía de las olas conectados a la red, 30 boyas para estudios de impacto ambiental y una torre de vigilancia para monitorear la interacción entre las olas y los convertidores será instalada y estudiada. Hasta la fecha, el área de investigación tiene un convertidor de energía de onda completo conectado a una estación de medición en tierra a través de un cable marítimo, una boya Wave Rider™ para mediciones de olas, 25 boyas para estudios de impacto ambiental y una torre de vigilancia. El convertidor de energía de las olas se basa en un generador síncrono lineal que se coloca en el lecho marino y es impulsado por un absorbedor de puntos de elevación en la superficie del océano. El convertidor se acciona directamente, es decir, no tiene caja de cambios u otro sistema de conversión mecánica o hidráulica. Esto resulta en un sistema mecánico simple y robusto, pero también en un sistema eléctrico algo más complicado.

2.14 ***“Performance Evaluation of the Wavestar Prototype”*** [51]

Wave Star ha producido e instalado un Wave Energy Converter (WEC) de prueba y demostración por el muelle Roshage cerca de Hanstholm en la costa oeste de Dinamarca. La unidad de prueba es una sección de prueba prototipo de un WEC comercial completo. Después de un período inicial de finalización de la instalación y prueba, el WEC se lanzó para su producción en enero de 2010 y en mayo de 2010 se inició la operación automática no tripulada. El número de horas operacionales por mes ha aumentado significativamente durante los siguientes meses, pero la experiencia con el período inicial de operación automática no tripulada continua ha mostrado dificultades para garantizar la capacidad de estar en funcionamiento todos

los días, las 24 horas, todos los días de la semana. Durante el período de enero de 2010 a abril de 2011, el software de control se ha actualizado tres veces y se han confirmado aumentos significativos en los niveles de potencia medidos. Los puntos de medición han verificado el nivel esperado de potencia cosechada, aunque se espera que un mayor desarrollo del sistema de control aumente aún más el nivel.

2.15 “ISLAY LIMPET WAVE POWER PLANT” and “THE LIMPET WAVE POWER PROJECT – THE FIRST YEARS OF OPERATION”[52] [53]

Utilizando una combinación de fondos europeos y privados, el equipo de energía undimotriz de Queen's University Belfast en asociación con Wavegen Ireland Ltd, Charles Brand Ltd, Kirk McClure Morton y I.S.T. Portugal diseñó y construyó una planta de energía de oleaje costero de 500kW conocida como LIMPET (Transmisor de energía de energía marina instalada en tierra). Se instaló entre 1998 y 2000 en la isla de Islay, en la costa oeste de Escocia, y se puso en servicio en la primavera de 2001. La planta ha estado operando de forma remota desde entonces y está suministrando energía a la red eléctrica en el Reino Unido. El proyecto ha tenido mucho éxito a pesar de que la producción de energía es menor a la estimada originalmente. Se ha aprendido una cantidad considerable de compatibilidad de la capacidad instalada con el clima predominante de las olas, las técnicas de construcción y los procedimientos operativos. La planta es un generador conectado a la red completamente funcional que arranca y para automáticamente ya que la potencia del mar varía. Se han llevado a cabo una serie de experimentos de forma remota con datos transmitidos tanto a Belfast como a Inverness a través de líneas RDSI. En consecuencia, el equipo de desarrollo cuenta con el conjunto más extenso de datos de una planta de energía undimotriz en funcionamiento en el mundo. El bajo rendimiento de la planta se puede atribuir a la sobreestimación de la energía de las olas que llega a las columnas de agua. La sobrecapacidad resultante de la planta eléctrica mecánica significa que opera bajo carga parcial, lo que reduce significativamente la eficiencia de conversión de la entrada neumática a la salida eléctrica. En consecuencia, se concluye que hubiera sido mejor haber calificado la planta mucho más cerca de la potencia media de las olas y haber maximizado la eficiencia de conversión en los mares de relativamente baja energía con mayor frecuencia.

2.16 “Experimental study on primary efficiency of a new pentagonal backward bent duct buoy and assessment of prototypes” [54]

Para mejorar la eficiencia de conversión de energía de las olas de la boya de conducto doblada hacia atrás (BBDB), se diseñó y fabricó un modelo BBDB pentagonal para experimentos en un canal de onda (2D) y en una cuenca de onda (3D). Se midieron la altura de las olas de incidentes, el período de olas, la elevación del agua en la cámara de aire y la diferencia de presión entre el interior y el exterior de la cámara de aire. Los resultados de la prueba muestran que el valor máximo de la relación de ancho de captura (CWR) del modelo en el canal de onda es aproximadamente 119.1%, que es mucho mejor que el valor más alto 79.1% obtenido en las mismas condiciones experimentales en documentos históricos. Bajo onda normal, el valor máximo de CWR probado en la cuenca de onda es de aproximadamente 146.8%, que es equivalente al valor más alto en documentos históricos y tiene un ancho de banda relativamente ancho. Bajo olas irregulares, el valor promedio máximo de CWR probado en la cuenca de olas es de aproximadamente 87.2%, que es superior al valor más alto de 52% en documentos históricos. La combinación de los resultados experimentales del modelo y los últimos logros de investigación de la turbina de aire pueden ayudar a romper los pensamientos que la tecnología de utilización de la energía de las olas no puede equilibrar la conversión de bajo costo y alta eficiencia.

2.17 “Mutriku Wave Power Plant: from the thinking out to the reality”

[55]

Desde la primera concepción de la planta de energía de las olas en Mutriku hasta su finalización, este artículo comparte el proceso de maduración y cristalización de un proyecto completamente nuevo. No solo fue esta la primera instalación multiturbina que se instaló en un rompeolas, también fue el primer proyecto comercial del mundo: en otras palabras, un proyecto en el que una empresa de tecnología vendió una instalación generadora de energía a un inversor para su operación comercial. Además de abordar otras cuestiones, el artículo se centra en la naturaleza inusual del proceso de construcción involucrado en la ingeniería civil

2.18 “The Open Sea Tests of The Offshore Floating Type Wave Power Device “Mighty Whale” - Characteristics of Wave Energy Absorption and Power Generation” [56]

"Mighty Whale" es un dispositivo de energía de onda flotante basado en un principio de columna de agua oscilante (OWC). El prototipo de Mighty Whale

fue instalado en la ubicación de prueba, la desembocadura de la bahía de Gokasho en la prefectura de Mie, en julio de 1998. Las pruebas de mar abierto se iniciaron en septiembre de 1998 y seguimos midiendo muchos datos para mostrar las características económicas y de seguridad del dispositivo. Este documento muestra un informe provisional de las características de la absorción de energía de las olas y la generación de energía del prototipo mediante las pruebas de mar abierto. Los resultados del análisis de datos de las pruebas de mar abierto en este momento, la producción de potencia promedio es de 6-7 kWh y la eficiencia energética total máxima es de alrededor del 15% que oscila entre 6 segundos y 7 segundos de período de onda significativo. Estos son aproximadamente similares a los valores estimados por el análisis teórico y los experimentos con tanques de agua antes de las pruebas de mar abierto.

2.19 “R&D cm Wave Fcmr Device “Mighty Ihale”” [57]

"Mighty I & ale" es un dispositivo de potencia de olas flotante con turbinas de aire que pueden absorber la energía de las olas de manera eficiente y convertirse en energía eléctrica o aire. Dicha energía convertida se puede utilizar para la conservación del entorno costero. Estará amarrado por cadenas al borde de la costa de Japón en 1998, y la prueba de mar abierto será llevada a cabo por 2OfJD. En este documento, se presentará la línea de salida de I & B en este mosaico UMighty ".

2.20 “Innovative wave energy device lands at Port Fairy” [58]

El bioWAVE es un sistema de energía de las olas montado en la parte inferior que se balancea hacia adelante y hacia atrás bajo las olas de olas. La energía absorbida por la estructura pivotante se transforma en electricidad de calidad de red dentro de un módulo a bordo de servicio, llamado O-Drive. Cuando ocurren eventos de grandes olas o tormentas, el bioWAVE se dispara automáticamente para dejar de funcionar, y la estructura pivotante asume una posición horizontal contra el lecho marino para evitar daños. Esto mejora la estructura económica, lo que lleva a costos de generación más bajos. Las imágenes y videos del dispositivo están disponibles en línea.

2.21 “Wave Energy Research, Development and Demonstration at Oregon State University” [59]

Este documento presenta los esfuerzos de investigación, desarrollo y demostración de la energía de las olas en la Universidad Estatal de Oregón

(OSU), incluidas las actividades del Centro Nacional de Energía Renovable Marina del Noroeste (NNMREC) con sede en OSU. Se describen las instalaciones de NNMREC y los empujes de investigación, y se detalla un concepto de atracadero de pruebas oceánicas móviles a gran escala (MOTB). Además, se estableció un sistema de prueba de tanques de olas de alta precisión en O.H. Hinsdale Wave Research Laboratory (HWRL) se presenta. La instrumentación del tanque de ola crítica, el sistema de seguimiento de movimiento óptico, la adquisición de datos y los componentes relacionados se caracterizan. El documento concluye con un ejemplo de prueba de dispositivos de energía de onda escalada, así como las próximas pruebas de matriz de dispositivos.

2.22 “Wavelet Analysis Applied to the Wave Energy Resource at an Irish West Coast Site” [60]

La función de densidad espectral de onda, más comúnmente conocida como espectro de onda, ha sido ampliamente utilizada como una herramienta para medir el recurso de energía de onda en sitios posibles para el despliegue de convertidores de energía de onda (WEC). El espectro de ondas proporciona un medio útil para calcular estadísticas de resumen como la altura de ola significativa y el período promedio de series de tiempo medidas de elevación de superficie, lo que permite estimar la potencia incidente promediada en el tiempo. Sin embargo, este enfoque tiene una capacidad limitada para monitorear la variabilidad temporal tanto de la energía como de la frecuencia máxima, lo que puede afectar la potencia capturada por los WEC y, por lo tanto, es más adecuada para señales estacionarias que para las olas oceánicas. En este trabajo, la transformada wavelet se utiliza para evaluar la variabilidad temporal de la energía de las olas en una ubicación típica para un posible despliegue de WEC en la costa oeste de Irlanda, datos de onda reales obtenidos de boyas de medida Datawell Waverider. Las limitaciones del espectro de onda, y la transformada de Fourier en ventana asociada, para demostrar las fluctuaciones de energía incidente en un punto se ilustran por comparación con los resultados obtenidos del análisis de olas. La variación de la frecuencia máxima instantánea en el dominio del tiempo se cuantifica utilizando la transformada wavelet y se determina la relevancia de esta variación para la energía absorbida por los WEC. La transformación wavelet también se aplica a lecturas de elevación de onda tomadas de dos boyas desplegadas simultáneamente para evaluar si hay desviación en la variación

a corto plazo del recurso de onda debido a la separación espacial, que puede ser relevante para matrices de WEC.

2.23 “E2I EPRI Assessment Offshore Wave Energy Conversion Devices” [61]

Ha habido muchos intentos de aprovechar la energía de las olas a través de una multitud de tecnologías; turbinas de agua; recuperación de energía de las mareas; plataformas flotantes, etc. Todos han fallado en hacer la transición de prototipo a unidad de producción, la dureza del medio ambiente, el costo y otros factores que siempre resultan ser obstáculos demasiado grandes para superarlos. Sin embargo, Cegelec participa actualmente en el Proyecto OSPREY (Energía renovable con tecnología Ocean Swell), que se ilustra en la figura 1. El objetivo es implementar el primer sistema de recuperación de energía de las olas basado en el mar, a escala comercial, del mundo. La capacidad de generación de la unidad está programada para 2000kW, suficiente para sostener más de 1000 hogares.

2.24 “ Prototype testing of the wave energy converter wave dragon”[62]

The Wave Dragon es un convertidor de energía de las olas costa afuera del tipo de desbordamiento. Consiste en dos reflectores de onda que enfocan las ondas entrantes hacia una rampa, un depósito para recoger el agua de desbordamiento y varias turbinas hidráulicas para convertir la cabeza de presión en energía. En el período comprendido entre 1998 y 2001, se llevaron a cabo amplias pruebas de tanques de olas en una maqueta en la Universidad de Aalborg. Luego, un prototipo de 57 m 27 m de ancho y 237 toneladas pesadas (incluido el lastre) del Wave Dragon, colocado en Nissum Bredning, Dinamarca, se conectó a la red en mayo de 2003 como el primer convertidor de energía de las olas costa afuera del mundo. El prototipo está totalmente equipado con turbinas hidráulicas y sistemas de control automático, y está equipado con el fin de monitorear la producción de energía, el clima de las olas, las fuerzas en las líneas de amarre, las tensiones en la estructura y los movimientos del Wave Dragon. En el período comprendido entre mayo de 2003 y enero de 2005 se llevó a cabo un extenso programa de medición, estableciendo los antecedentes para el diseño óptimo de la estructura y regulación del sistema de toma de fuerza. La planificación para el despliegue de una unidad de producción de energía de 4 MW en el Atlántico para 2007 está en progreso.

2.25 “Characteristics of Hydrodynamics and Generating Output of the Offshore Floating Wave Energy Device “Mighty Whale” [63]

En este documento, se presenta un nuevo método de cálculo numérico; fue desarrollado para el análisis de las características hidrodinámicas de un dispositivo de energía de onda flotante y oscilante de columna de agua (OWC). El método se examina comparando los resultados calculados con el método con los resultados de los experimentos con tanques de agua. El examen se centró en la determinación de los coeficientes hidrodinámicos, las características de la presión del aire y el nivel del agua en una cámara de aire, y las características del movimiento del casco y la absorción de la energía de las olas. Los resultados calculados estuvieron de acuerdo con los resultados de las pruebas de tanque de agua; el método presentado estima adecuadamente las características hidrodinámicas del dispositivo de potencia de onda de tipo OWC flotante, incluidos los efectos de absorción de energía de onda. Se presenta un método de estimación para la potencia de salida de un sistema generador de turbina. El método fue desarrollado para el diseño del sistema de turbina-generador "Mighty Whale". Además, el método se evaluó comparando las predicciones con los resultados de pruebas de mar abierto. El valor medio de la potencia de salida se estimó razonablemente bien. En conclusión, los métodos de estimación presentados son útiles para el diseño de dispositivos de potencia de onda OWC flotantes. Dichas herramientas son útiles para el diseñador interesado en desarrollar dispositivos óptimos de energía de las olas.

3. Bibliografías:

- [1] M. A. Mustapa, O. B. Yaakob, Y. M. Ahmed, C. K. Rheem, K. K. Koh, and F. A. Adnan, “Wave energy device and breakwater integration: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 77, no. September 2015, pp. 43–58, 2017.
- [2] A. Mirzaei, F. Tangang, and L. Juneng, “Wave energy potential along the east coast of Peninsular Malaysia,” *Energy*, vol. 68, pp. 722–734, 2014.
- [3] F.-C. Chiu, W.-Y. Huang, and W.-C. Tiao, “The spatial and temporal characteristics of the wave energy resources around Taiwan,” *Renew. Energy*, vol. 52, pp. 218–221, 2013.

- [4] A. Gonzalez-Carrillo, R. Ruiz-Cabrera, Q. C. Hernandez-Escobedo, A. Fernández-García, and F. Manzano-Agugliaro, "Wave energy resource assessment at southern coast of the Gulf of Mexico," *Dyna*, vol. 82, no. 193, pp. 49–55, 2015.
- [5] L. Di Fresco and A. Traverso, "Energy conversion of orbital motions in gravitational waves: Simulation and test of the Seaspoon wave energy converter," *Energy Convers. Manag.*, vol. 86, pp. 1164–1172, 2014.
- [6] I. López, J. Andreu, S. Ceballos, I. Martínez De Alegría, and I. Kortabarria, "Review of wave energy technologies and the necessary power-equipment," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 27, pp. 413–434, 2013.
- [7] A. F. Osorio, R. D. Montoya, J. C. Ortiz, and D. Peláez, "Construction of synthetic ocean wave series along the Colombian Caribbean Coast: A wave climate analysis," *Appl. Ocean Res.*, vol. 56, pp. 119–131, 2016.
- [8] D. G. de C. Universidad de Cantabria, grupo de energias osceanicas, Ministerio de Medio Ambiente, *Dinámicas*. 2000.
- [9] Universidad de Chile, "Mecanica de Fluidos: Coeficientes de Arrastre y Sustentación."
- [10] R. P. F. Gomes, J. C. C. Henriques, L. M. C. Gato, and A. F. O. Falcão, "Wave power extraction of a heaving floating oscillating water column in a wave channel," *Renew. Energy*, vol. 99, pp. 1262–1275, 2016.
- [11] J. C. C. Henriques, R. P. F. Gomes, L. M. C. Gato, A. F. O. Falcão, E. Robles, and S. Ceballos, "Testing and control of a power take-off system for an oscillating-water-column wave energy converter," *Renew. Energy*, vol. 85, pp. 714–724, 2016.
- [12] S. G. Siegel, "Wave climate scatter performance of a cycloidal wave energy converter," *Appl. Ocean Res.*, vol. 48, pp. 331–343, 2014.

- [13] L. Wan, Z. Gao, T. Moan, and C. Lugni, "Experimental and numerical comparisons of hydrodynamic responses for a combined wind and wave energy converter concept under operational conditions," *Renew. Energy*, vol. 93, pp. 87–100, 2016.
- [14] G. Bracco, A. Cagninei, E. Giorcelli, G. Mattiazzo, D. Poggi, and M. Raffero, "Experimental validation of the ISWEC wave to PTO model," *Ocean Eng.*, vol. 120, pp. 40–51, 2016.
- [15] K. Liu and J. P. Ou, "A novel tuned heave plate system for heave motion suppression and energy harvesting on semi-submersible platforms," *Sci. China Technol. Sci.*, vol. 59, no. 6, pp. 897–912, 2016.
- [16] B. Bahmanifirouzi, E. Farjah, T. Niknam, and E. Azad Farsani, "A new hybrid hbmo-sfla algorithm for multi-objective distribution feeder reconfiguration problem considering distributed generator units," *Iran. J. Sci. Technol. - Trans. Electr. Eng.*, vol. 36, no. E1, pp. 51–66, 2012.
- [17] D. T. Dung, W. Koo, K. K. Ahn, N. M. Tri, S. Kim, and P. C. Binh, "Analysis, design and experiment investigation of a novel wave energy converter," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 10, no. 2, pp. 460–469, 2016.
- [18] G. Moretti, M. Fontana, and R. Vertechy, "Model-based design and optimization of a dielectric elastomer power take-off for oscillating wave surge energy converters," *Meccanica*, vol. 50, no. 11, pp. 2797–2813, 2015.
- [19] B. H. Kim, J. Wata, M. A. Zullah, M. R. Ahmed, and Y. H. Lee, "Numerical and experimental studies on the PTO system of a novel floating wave energy converter," *Renew. Energy*, vol. 79, no. 1, pp. 111–121, 2015.
- [20] T. Börner and M. Alam, "Real time hybrid modeling for ocean wave energy converters," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 43, pp. 784–795, 2015.
- [21] R. Sánchez-Dirzo, R. G. González-Huerta, E. Mendoza, R. Silva, and J. M. Sandoval Pineda, "From wave to jet and from jet to hydrogen: A promising

- hybrid system,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 39, no. 29, pp. 16628–16636, 2014.
- [22] G. Malara and F. Arena, “Analytical modelling of an U-Oscillating Water Column and performance in random waves,” *Renew. Energy*, vol. 60, pp. 116–126, 2013.
- [23] R. V. Chaplin, “Seaweaver: A new surge-resonant wave energy converter,” *Renew. Energy*, vol. 57, pp. 662–670, 2013.
- [24] M. T. MacNicoll, K. P. Thiagarajan, and J. Rohrer, “Modeling of the Efficiency of a Semisubmerged Ocean Wave Energy Converter,” *Mar. Technol. Soc. J.*, vol. 47, no. 4, pp. 177–186, 2013.
- [25] T. K. A. Brekken, K. Rhinefrank, A. Von Jouanne, A. Schacher, J. Prudell, and E. Hammagren, “Scaled development of a novel wave energy converter including numerical analysis and high-resolution tank testing,” *Proc. IEEE*, vol. 101, no. 4, pp. 866–875, 2013.
- [26] H. Heikkinen, M. J. Lampinen, and J. Böling, “Analytical study of the interaction between waves and cylindrical wave energy converters oscillating in two modes,” *Renew. Energy*, vol. 50, pp. 150–160, 2013.
- [27] H. He, Q. Qu, and J. Li, “Numerical simulation of section systems in the Pelamis wave energy converter,” *Adv. Mech. Eng.*, vol. 2013, pp. 1–8, 2013.
- [28] A. Pecher, J. P. Kofoed, and T. Larsen, “Design specifications for the hanstholm WEPTOS wave energy converter,” *Energies*, vol. 5, no. 4, pp. 1001–1017, 2012.
- [29] L. Margheritini, D. Vicinanza, and P. Frigaard, “SSG wave energy converter: Design, reliability and hydraulic performance of an innovative overtopping device,” *Renew. Energy*, vol. 34, no. 5, pp. 1371–1380, 2009.
- [30] B.-H. Cho *et al.*, “Modeling and control of a 75kW class variable liquid-

column oscillator for highly efficient wave energy converter,” *Ocean Eng.*, vol. 38, no. 2–3, pp. 436–443, 2011.

- [31] D. Valério, P. Beirão, and J. Sá da Costa, “Optimisation of wave energy extraction with the Archimedes Wave Swing,” *Ocean Eng.*, vol. 34, no. 17–18, pp. 2330–2344, 2007.
- [32] A. P. McCabe, A. Bradshaw, J. A. C. Meadowcroft, and G. Aggidis, “Developments in the design of the PS Frog Mk 5 wave energy converter,” *Renew. Energy*, vol. 31, no. 2, pp. 141–151, 2006.
- [33] A. I. Vakis and J. S. Anagnostopoulos, “Mechanical design and modeling of a single-piston pump for the novel power take-off system of a wave energy converter,” *Renew. Energy*, vol. 96, pp. 531–547, 2016.
- [34] J. Kim, H. M. Kweon, W. M. Jeong, I. H. Cho, and H. Y. Cho, “Design of the dual-buoy wave energy converter based on actual wave data of east sea,” *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.*, vol. 7, no. 4, pp. 739–749, 2015.
- [35] H. Fernandez *et al.*, “The new wave energy converter WaveCat: Concept and laboratory tests,” *Mar. Struct.*, vol. 29, no. 1, pp. 58–70, 2012.
- [36] V. Risorgimento, “and significant wave height H,” pp. 1–12, 2009.
- [37] V. Heller, J. Chaplin, and F. Farley, “Physical model tests of the anaconda wave energy converter,” *Proc. 1st IAHR Eur. Congr.*, vol. 1, no. March, pp. 3–8, 2000.
- [38] J. Cordonnier, F. Gorintin, A. De Cagny, A. H. Clément, and A. Babarit, “SEAREV: Case study of the development of a wave energy converter,” *Renew. Energy*, vol. 80, pp. 40–52, 2015.
- [39] R. Alamian, R. Shafaghat, S. J. Miri, N. Yazdanshenas, and M. Shakeri, “Evaluation of technologies for harvesting wave energy in Caspian Sea,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 32, pp. 468–476, 2014.

- [40] J. Wu *et al.*, “Performance analysis of solo Duck wave energy converter arrays under motion constraints,” *Energy*, vol. 139, pp. 155–169, 2017.
- [41] T. W. Thorpe, “A Brief Review of Wave Energy,” *Tech. Rep. ETSU-R120*, no. May, p. 200, 1999.
- [42] J. Lucas, M. Livingstone, M. Vuorinen, and J. Cruz, “Development of a wave energy converter (WEC) design tool – application to the WaveRoller WEC including validation of numerical estimates,” *Proc. 4th Int. Conf. Ocean Energy*, 2012.
- [43] T. Whittaker, D. Collier, M. Folley, M. Osterried, and A. Henry, “The development of Oyster - A shallow water surging wave energy converter ,” *7th Eur. Wave Tidal Energy Conf.*, no. January 2017, 2007.
- [44] T.-F. Chan and L. L. Lai, “Renewable energy utilization in China,” *2011 IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, pp. 1–4, 2011.
- [45] S. Osanai, H. Kondo, Y. Mizuno, and T. Watabe, “CHAPTER 357 FAESIBILITY TESTS OF NEW PENDULAR-TYPE WAVE,” pp. 1–3.
- [46] F. He, Z. Huang, and A. W. K. Law, “An experimental study of a floating breakwater with asymmetric pneumatic chambers for wave energy extraction,” *Appl. Energy*, vol. 106, pp. 222–231, 2013.
- [47] R. F. Luri, “OTC 2313 Application of PowerBuoy Wave Energy Converter Technology to Remote Power Requirements in Oil and Gas Fields Development.”
- [48] A. Weinstein, G. Fredrikson, M. J. Parks, and K. Nielsen, “AquaBuOY - The Offshore Wave Energy Converter Numerical Modeling and Optimization,” *MTTS/IEEE Techno-Ocean*, pp. 1854–1859, 2004.
- [49] R. Waters *et al.*, “Experimental results from sea trials of an offshore wave energy system,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. 90, no. 3, pp. 2012–2015, 2007.

- [50] M. Leijon *et al.*, “Wave energy from the north sea: Experiences from the lysekil research site,” *Surv. Geophys.*, vol. 29, no. 3, pp. 221–240, 2008.
- [51] M. M. Kramer, L. Marquis, P. Frigaard, W. S. a S, and P. Allé, “Performance Evaluation of the Wavestar Prototype,” *9th Eur. Wave Tidal Energy Conf.*, 2011.
- [52] T. Queen, “1 November 1998 to 30 April 2002 Research funded in part by THE EUROPEAN COMMISSION In the framework of the Non Nuclear Energy Programme JOULE III,” no. April, pp. 1–62, 2002.
- [53] T. J. T. Whittaker, W. Beattie, M. Folley, C. Boake, a Wright, and M. Osterried, “The Limpet Wave Power Project – The First Years Of Operation,” *Scottish Hydraul. Study Gr. - Semin. Hydraul. Asp. Renew. Energy*, no. 1997, pp. 1–8, 2004.
- [54] B. jun Wu, M. Li, R. kang Wu, Y. qiu Zhang, and W. Peng, “Experimental study on primary efficiency of a new pentagonal backward bent duct buoy and assessment of prototypes,” *Renew. Energy*, vol. 113, pp. 774–783, 2017.
- [55] Y. Torre-Enciso, I. Ortubia, L. I. López de Aguilera, and J. Marqués, “Mutriku Wave Power Plant: from the thinking out to the reality,” *8th Eur. Wave Tidal Energy Conf. (EWTEC 2009)*, pp. 319–328, 2009.
- [56] N. Town and W. District, “The Offshore Floating Type Wave Power Device ‘ Mighty Whale ’ Open Sea Tests ; Part1 : An overview of the experimental system and the mooring operations,” no. July, pp. 579–585, 1998.
- [57] H. Hotta, Y. Washio, H. Yokozawa, and T. Miyazaki, “R&D on wave power device ‘Mighty Whale,’” *Renew. energy*, vol. 9, no. 1–4, pp. 1223–1226, 1996.
- [58] R. Tractor, “Media Release,” *Media*, vol. 61, no. November, 2010.

- [59] A. von Jouanne and T. Brekken, "Wave energy research, development and demonstration at Oregon State University," *2011 IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, pp. 1–7, 2011.
- [60] B. G. Cahill and A. W. Lewis, "Wavelet analysis applied to the wave energy resource at an irish west coast site," *Ocean. 2010 Mts/IEEE Seattle*, pp. 1–7, 2010.
- [61] M. Previsic, R. Bedard, and G. Hagerman, "E2I EPRI Assessment Offshore Wave Energy Conversion Devices," *E2I EPRI WP – 004 – US – Rev 1*, pp. 1–52, 2004.
- [62] J. P. Kofoed, P. Frigaard, E. Friis-Madsen, and H. C. Sørensen, "Prototype testing of the wave energy converter wave dragon," *Renew. Energy*, vol. 31, no. 2, pp. 181–189, 2006.
- [63] H. Osawa, T. Miyazaki, and S. Miyajima, "Characteristics of Hydrodynamics and Generating Output of the Offshore Floating Wave Energy Device 'Mighty Whale,'" *J. Offshore Mech. Arct. Eng.*, vol. 135, no. 1, p. 11901, 2013.

ANEXO C. LISTADO DE TECNOLOGÍAS TIPO CUERPO ACTIVADO Y SUS CARACTERÍSTICAS DE ALTURA DE OLA (HS) FRECUENCIA Y/O PERIODO (F,T) POTENCIA DISPONIBLE (P DISPONIBLE) Y POTENCIA DE SALIDA (P SALIDA)

Tipología	Número	Nombre	Ubicación	Hs	T o F	P disponible	P salida	estado	Ref
WAB	[15]	STC	Noruega	<p>para olas regulares se utiliza una H= 2 m</p> <p>para olas irregulares se tiene un H = 2-7 m, donde H mayores a 4 m mejoran la captura de energía</p>	<p>para olas regulares se tiene un periodo de T=7-21 s</p> <p>para olas irregulares se manejan periodos Tp=13-15 s, con una mejor respuesta a Tp=13</p>	<p>para olas regulares P=15.18 kw/m para Hs=2m y T=7s</p> <p>para olas irregulares P=87.047 kw/m para Hs=4m y Tp=13</p>	<p>para olas regulares la máxima potencia podría ser P=200 Kw/m²</p> <p>Para olas irregulares la potencia puede ser de 300 Kw aun Ts=13 y un Hs = 3 m</p> <p>Para el modelo combinado de turbina y wec se obtiene a un Hs=6m, Ts=13 s y U=21 m/s (velocidad del viento)</p>	Experimental	[13]

WAB	[20]	ISWEC	Italia	en el modelo a escala 1:8 se consideran dos alturas de ola $H=0.2$ y $H=0.3$ [m]	para el modelo a escala de 1:8 se consideran periodos de $T=2, 2.37$ y 2.7 [s]	Para un $H_s=0.3$ y $T=2.7$ $P=0.1317$ kw/m	el valor promedio de la potencia seria de 184.3 W, para el dispositivo	Experimental	[14]
WAB	[26]	THP	China Sur	Para el modelo a escala de 1:70 se tienen alturas de ola en el rango de $H=0.2-0.5$ [m] esto es para olas regulares para las olas irregulares se obtiene un rango de alturas de $H_s=1.88-12.9$ [m]	el periodo de las olas del modelo a escala para olas regulares es de $T=0.63-3.75$ [s] para los estados de olas irregulares se tienen	$P=0.5$ kw/m para olas regulares para $H_s=0.5$ m y $T=3.75$ s $P=18$ kw/m para irregulares para el estado IRW6 Y IRW7	para los estados de ola irregulares, el sistema es capaz de capturar mas de 7000 KW para casos especiales como el IRW1, sin embargo a un nivel promedio se afirma que sera entre un rango de $P=24-32$ kw para los estados de ola IRW6 y IRW7	Experimental	[15]

					periodos entre $T_p=7.28-14$ [s]				
WAB	[32]	DDSWE C	Iran	se maneja una amplitud (H)= 1 m	Se utiliza frecuencia frecuencia angular de $w=0.86$ [rad/s]	$P=3.95$ kw/m	se tiene un potencia capturada bajo estas condiciones de $P=26.5$ Kw	Analítico	[16]
WAB	[77]	Ps-DEG		para las alturas de ola más frecuentes $H=0.5-1$ [m]	para los periodos de ola más comunes $T=10-11$ [s]	$P=5.96$ kw/m con $H_s=1$ m y $T=11$ s	para las condiciones de ola mas frecuentes $P=293$ kw	Analítico	[18]
WAB	[113]	Wave Carpet	Estados unidos	No se menciona altura	SE da una frecuencia de generación de olas de $F=0,23$ Hz		no se menciona una potencia determinada	Experime ntal	[20]

WAB	[134]	Blow-Jet	México	para el tamaño de laboratorio Hs=(8-20) cm	para el tamaño de laboratorio T=(0,8-2) s	P=(2-3)kw/m ²	para el modelo de laboratorio P= (5-19) W	Experimental	[21]
WAB	[180]	Seawea ver	Reino Unido	el dispositivo fue diseñado para trabajar en alturas de ola de rango H=(0-1.5)m	en la escala 1/100 se utilizaron periodos T=(0.7-1.2) s las condiciones del mar irlandés datan con una mayor frecuencia para periodos de T=11-12 s	P=0.5 w/m para el modelo a escala 1/100	a escala completa tiene un máximo de P=4000 KW, según las condiciones de Uist sur, para olas regulares	Experimental	[23]
WAB	[198]	Manta	Estados unidos	-	-	-	-	Experimental	

WAB	[206]	Wec Cylinder	Finlandia	en condiciones optimas H=1.34 m	en condiciones optimas Ts=10 s	P=(2-16)kw/m	con Ts=10 s y Hs= 1.34 m la potencia seria de P=(2- 13)Kw/mcrestadeola	Analítico	[26]
WAB	[211]	Pelamis	China Sur	para las costas de Xiamen Bay, en verano y primavera H=0.9m, en otoño H=1.2m y en invierno H=1.1m sin embargo se especifica que el dispositivo fue diseñado para trabajar en H=5.5m	para las costas de Xiamen Bay, en verano T=3.7s, primavera T=3.8s, en otoño e invierno T=4s sin embargo se especifica que el dispositivo fue diseñado para trabajar con T=8s	para verano P=1.6 kw/m para primavera P=1.68 kw/m para otoño P=3.12 kw/m para invierno P=2.62 kw/m	no se especifica una captura de potencia para las condiciones de otoño e invierno el potencial capturado es mucho mayor que en verano y primavera	Analítico	[27]

WAB	[240]	Weptos	Dinamarca	<p>cinco estados de mar:</p> <p>estado 1: Hs=1m</p> <p>estado2: Hs=1.5m</p> <p>estado3: Hs=2m</p> <p>estado4: Hs=2.5m</p> <p>estado5: Hs=3m</p>	<p>cinco estados de mar:</p> <p>estado 1: Tp=5.4S</p> <p>estado2: Tp=6s</p> <p>estado3: Tp=6.6s</p> <p>estado4: Tp=7.2s</p> <p>estado5: Tp=8s</p>	P=6.1 Kw/m	<p>cinco estados de mar potencia mecánica:</p> <p>estado 1: P=68KW</p> <p>estado2: P=133KW</p> <p>estado3: P=187KW</p> <p>estado4: P=220KW</p> <p>estado5: P=248KW</p>	Experimental	[28]
WAB	[298]	Archimedes Wave Swing	Portugal	H=(0.5-1.25)m	T=(8-14)s	P=11.86 kw/m para un Hs=1.25m y T=14s	<p>Para olas regulares se obtiene una potencia entre P=(1-174.5)kw</p> <p>Para las olas irregulares se obtiene una potencia de P=(3.4-106.4) kw</p>	Analítico	[31]

WAB	[307]	PS Frog Mk.5	Reino Unido	la altura de ola para un modelo a escala de 1:100 seria en un tanque que produce olas a H=10 mm	la frecuencia angular para el modelo a escala 1:100 seria $w=(1-10)\text{rad/s}$, donde el tanque esta a $F=0.906\text{ Hz}$	para el modelo a escala $P=0.0596\text{ w/m}$	la potencia para el modelo a escala 1:100 seria $P=(0-0.055)\text{ w}$ a una escala real el dispositivo puede producir hasta $P=901.66\text{ kw}$	Analítico	[32]
WAB	[313]	MP2PT O WEC	Grecia	H=4 m	T=10 s	P=86.75 kw/m	99 kj por ciclo para un solo pistón	Analítico	[33]
WAB	[315]	Dual Bouy WEC	Corea	Hs=0.3 m	T=(4-6) s	P=0.2928 kw/m con T=6s	-	Analítico	[34]
WAB	[329]	DEXA	ITALIA, Marina di Ravenna	En una escala de 1:20 Hs=0.17m	en una escala de 1:20 T=2.5s	p=10 kw/m	P=160 kw	Experime ntal	[36]
WAB	[330]	Anacond a	Reino unido/ costa oeste	Para el modelo de laboratorio escala 1:25 H=(0.025-0.075)m	para el modelo de laboratorio escala 1:25 T=(1.5-2.5)	P=50 kw/m	P=1000 kw	Experime ntal	[37]

WAB	[331]	SEAREV	Yeu island/Francia	HS=2m	T=9s	P=25 kw/m	P=188 Kw	Experimental	[38]
WAB	[332]	Salter Duck	China Sur	H=(0.5-1.5)m	T=(5-20)s	P=24 kw/m	P=375 kw	Experimental	[40][39]
WAB	[333]	McCabe	reino unido	H=(1,2,3)m	T=(4-16)s	P=57 kw/m	P=257 kw	Analitico	[41]
WAB	[334]	WaveRoller	Peniche/Portugal	H=(0.986-2.801)m	Te=(8-12)s	P=40kw/m	P=300kw	Experimental	[42]
WAB	[335]	Oyster	reino unido	No se menciona la altura de ola para la que el dispositivo trabaja	Te=(7,9,11,13)s	P=19kw/m	P=200kw	Experimental	[43]
WAB	[336]	S.D.E Mounted Point Absorber	China Sur	H=(2-3)m	no se menciona un rango en especifico	P=10-20 kw	P= 1000 kw	Experimental	[44]
WAB	[337]	pendulum	Japon/Muroran port	H= (2.52, 2.53, 2.36, 2.63)m	T=(6.45, 6.57, 6.4, 5.93)s	P=(14.426, 14.727, 14.125, 18.401) Kw	P=5 kw	Experimental	[45][46]

WAB	[347]	BioWave	Port Fairy/Victoria/ Australia	-	-	P=35-50 kw/m	P=250 kw	comercial	[58]
-----	-----------	---------	--------------------------------------	---	---	--------------	----------	-----------	------

Tabla 1. Lista de tecnologías tipo cuerpo activado por olas y sus características

ANEXO D. LISTADO DE TECNOLOGÍAS TIPO CUERPO ACTIVADO Y SUS CARACTERÍSTICAS DE ALTURA DE OLA (HS) FRECUENCIA Y/O PERIODO (F,T) POTENCIA DISPONIBLE (P DISPONIBLE) Y POTENCIA DE SALIDA (P SALIDA)

Tipología	Artículo	Nombre	Ubicación	Hs	T o F	P disponible	P salida	Estado	Ref
Punto absorbedor	[52]	WEC Gear	Sur Corea	caso 1: H=0.084m caso2: H=0.17m caso3: H=0.151m	caso 1: F=3.142rad/s caso2: F=2.618rad/s caso3: F=2.244rad/s	P=0.00765 kw/m caso 1 P=0.0376 kw/m caso 2 P=0.0346kw/m caso 3	total energía generada caso 1: P=3w caso2: P=21.3W caso3: P=11W	Experimental	[17]
Punto absorbedor	[338]	OPT buoy	escocia	H=2m	-	P=50kw/m	P=45kw	comercial	[47]
Punto absorbedor	[339]	Aquabouy	makaha bay estados unidos	Hs=(1.5-5.5)m	Tp=(6-15)s	P=28kw/m	P=250 kw	comercial	[48]
Punto absorbedor	[340]	Uppsala bouy	suecia	Hs=(0-4.5)m	Te=(0-10)s	P=3.4 kw/m	P=4 kw	Experimental	[42] [50]
Punto absorbedor	[341]	Wavestar	Dinamarca / hansthalm	Hs=(0.5-2.5)m	T=(3.95-4.72)s	P=(2.8-5.2) kw/m	P=30kw por bpya Pt=600 kw por todo	Comercial	[51]

Punto absorbedor	[348]	L10	-	-	-	P=30-40 kw/h	P=10 kw	comercial	[59]
Punto absorbedor	[349]	WaveBob	Estados Unidos	-	-	P=70-80 kw/m	P=131 kw	comercial	[60][6 1]

Tabla 2. Lista de dispositivos y sus características de la tecnología de punto absorbedor

ANEXO E. LISTADO DE TECNOLOGÍAS TIPO COLUMNA DE AGUA OSCILANTE Y SUS CARACTERÍSTICAS DE ALTURA DE OLA (HS) FRECUENCIA Y/O PERIODO (F,T) POTENCIA DISPONIBLE (P DISPONIBLE) Y POTENCIA DE SALIDA (P SALIDA)

Tipología	Numero	Nombre	Ubicación	Hs	T o F	P disponible	P salida	Estado	Ref
OWC	[3]	Spar-Buoy	Lisboa/Portugal	Hs=(0.006-0.014) m del modelo a escala olas regulares Hs(0.96 , 3.6) m del modelo a escala real olas regulares Hs=(0.006-0.014)m para olas irregulares modelo a escala Hs=(0.73,1.62)m para olas irregulares escala real modelo escala 1:120	T=(0.58-2.4) S del modelo a escala olas regulares T=(6.4,27.4)s del modelo a escala real olas regulares Te=(0.64-1.33)S para olas irregulares modelo a escala Te=(7,14.6)S para olas irregulares	para la escala real en olas regulares P=13.69 kw/m (hs=0.96,T=27.4) para la escala real en olas irregulares P=9.96 kw/m (hs=1.62,T=14.6)	no se menciona una potencia determinada	Experimental	[11]

					escala real modelo escala 1:120				
OWC	[105]	WEC MIX	Republica de Corea	a una escala de 1:3 No especifica H, datos de angulos del robot simulador de oleaje	Auna escala de 1:3 F =0.1-0.5 Hz		Auna escala de 1:3 F =0.1-0.5 Hz	Experi mental	[19]

OWC	[170]	U-OWC	Italia	Hs=(0,5-7) m, para máxima eficiencia Hs=(1-1,5)m	Tp=(3,4-12,4)s para máxima eficiencia Tp=(8,53-10,44)s	P=31.26 kw/m para H=3m y T=8.3	em olas aleatorias, con una turbina monoplana sin guias (PierseMoskowitz): P=(0,027-11,84) Kw en olas aleatorias con una turbina monoplana con guias(PierseMoskowitz): P=(0,055-6,41)kw en olas aleatorias con una turbina	Analítico	[22]
-----	-------	-------	--------	---	---	--------------------------------	--	-----------	------

							biplana (PiersoneMosko witz): $P=(0,046-4075)kw$ en olas aleatorias con una turbina contrarotativa(Pi ersoneMoskowit z): $P=(0,0226-35,19)kw$		
OWC	[270]	VLCO	República de Corea	H=(1-4)m con un óptimo funcionamiento en Hs=(2-3)m	T=(4-8)s con un óptimo funcionamiento en T=(5-7)s	P=10.8 kw/m	una potencia máxima entre Hs=(2-3)m y T=(5-7)s de P=70kw	Analítico	[30]
owc	[342]	LIMPET	Costa norte Escocia	HS=(1.5-4.4)m	T=(7.6-14.7)s	P=20kw/m	con un mayor porcentaje de ocurrencia	comercial	[52], [53]

							10.83% y bajo unas condiciones de ola de Hs=1.6m y Ts=9.6s P=10kw		
owc	[345]	BBDB	China Sur	<p>para el modelo original Hs=0.1m</p> <p>para el modelo a escala 5:1 del modelo original Hs=0.5m</p> <p>Para el modelo a escala de 10:1 del modelo original: Hs=1m</p> <p>para el modelo a escala de 20:1 del modelo original</p>	<p>para el modelo original Tp=1.174s</p> <p>para el modelo a escala 5:1 del modelo original Tp=2.625 s</p> <p>Para el modelo a escala de 10:1 del</p>	<p>para el modelo original P=5.576 w/m</p> <p>para el modelo a escala 5:1 del modelo original P=317.4 w/m</p> <p>Para el modelo a escala de 10:1 del modelo original: P=1.795 kw/m</p> <p>para el modelo a escala de 20:1 del modelo original</p>	<p>para el modelo a escala 5:1 del modelo original P=0.5kw</p> <p>Para el modelo a escala de 10:1 del modelo original: P=5Kw</p> <p>para el modelo a escala de 20:1 del modelo original P=20KW</p> <p>para el modelo a</p>	Experimental	[54]

				<p>Hs=2m</p> <p>para el modelo a escala de 30:1 del modelo original</p> <p>Hs=3m</p>	<p>modelo original:</p> <p> Tp=3.713s</p> <p>para el modelo a escala de 20:1 del modelo original</p> <p> Tp=5.25s</p> <p>para el modelo a escala de 30:1 del modelo original</p> <p> Tp=6.430</p>	<p>P=10.156 kw/m para el modelo a escala de 30:1 del modelo original P=27.9 kw/m</p>	<p>escala de 30:1 del modelo original P=200kw</p>		
owc	[344]	Mutriku	Espana/ Mutriku Harbour	Hs=(0.88-3.2)m	T=(5.5-12.5)s	P=26kw/m	P=68.5kw	comercial	[55]

owc	[350]	OSPREY	-	-	-	P=50-60 kw/m	P=2000kw	comercial	[1]
owc	[351]	PICO	-	-	-	P=37.9 kw/m	P=31.7kw	comercial	[1]
owc	[346]	Mighty Whale	Japon/ Gokasha	Hs=0.5m o H=1.7 M	T=6s T=7 s	P= 4 kw/m O P=15 kw/m	P=153 kw O P=110 kw	comercial	[57][56][6 3]
OWC	[354]	OceanLinx	-	-	-	P=30-50 kw/m	P=200-1500 kw	comercial	[1]

Tabla 3. Lista de dispositivos y sus características de la tecnología de columna de agua oscilante

ANEXO F. LISTADO DE TECNOLOGÍAS TIPO REBOSE Y SUS CARACTERÍSTICAS DE ALTURA DE OLA (HS) FRECUENCIA Y/O PERIODO (F,T) POTENCIA DISPONIBLE (P DISPONIBLE) Y POTENCIA DE SALIDA (P SALIDA)

Tipología	Numero	Nombre	Ubicación	Hs	T o F	P disponible	P salida	Estado	Ref
Overtopping (Rebose)	[186]	RTI G2	Estados unidos	para el modelo escala de 1:8 H=(0.351-0.287-0.211)m	para el modelo a escala de 1:8 T=(1.5-2-2.5)s	P=0.06 kw/m para dicho modelo	no se especifica cantidad de energía obtenida	Experimental	[24]
Overtopping (Rebose)	[260]	SSG (Sea Slot-Cone Generator)	island of Kvitsøy	Hs=(0.5-5.9) m con mayor probabilidad en Hs=(0.5-1.2)	Tp=(5-12.7) s con mayor probabilidad de ocurrencia en Tp=6.9s	P=19kw/m	potencia anual estimada 320MWh/y con un máximo de producción de hasta 150 Kw	CFD Laboratorio	[29]
Overtopping (Rebose)	[319]	WaveCatt	Espana/Galicia	Hs=(2.5,3) m	Tp=(11,12) s	P=45.19 Kw/m	Para Hs=3 m, T=12 s, Angulo entre cascos de 60, se	Experimental	[35]

							obtiene la potencia mas alta P=43.08 kw		
Overtopping (Rebose)	[352]	Wave dragon	-	Hs=(0-1.5)m	-	P=60 kw/m	P=625-940 kw	comercial	[1], [62]
Overtopping (Rebose)	[353]	Tapchan	-	-	-	P=14-16 kw/m	P=350 kw	comercial	[1]

Tabla 4. Tecnologías del tipo Rebose

ANEXO G. LISTADO DE TECNOLOGÍAS TIPO (POMC) Y SUS CARACTERÍSTICAS DE ALTURA DE OLA (HS) FRECUENCIA Y/O PERIODO (F,T) POTENCIA DISPONIBLE (P DISPONIBLE) Y POTENCIA DE SALIDA (P SALIDA)

Tipología	Numero	Nombre	Ubicación	Hs	T o F	P disponible	P salida	Estado	Ref
POMC	[8]	CycWec	Oahu/Hawai/ Estados unidos	la mayor eficiencia se logra con un Hs=2m	la mayor eficiencia se logra con un Tp=9.5s	P=17kw/ m	P=1.25 MW anuales máximos	Analítico	[12]
POMC	[137]	Seaspoon	Italia	para el modelo analítico y el modelo a escala real según las condiciones de Alghero se utiliza: H=(1-3)m para el modelo de laboratorio se utiliza : H=(0,1-0,2) m	para el modelo analítico y el modelo a escala real según las condiciones de Alghero se utiliza: T=(3-6)s para el modelo de laboratorio se utiliza: T=(1-3)s	P=(7.60- 38.26) w/m	para el modelo analítico, con un Hs=2,5m y Ts =6s el rango de potencia obtenida en función del Angulo B es: P=(1000-1500) W	Experime ntal	[5]

Tabla 5. Dispositivos del tipo POMC

ANEXO H. CÓDIGO UTILIZADO

```
143
144
145 % --- Executes on button press in pushbutton1.
146 function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
147 % hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
148 % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
149 % handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
150     H=str2double(get(handles.txt1,'string'));
151     T=str2double(get(handles.txt2,'string'));
152     hl=str2double(get(handles.txt3,'string'));
153     clear All
154
155
156     w = 2*pi/T; % Frecuencia angular
157
158     g = 9.81; % Gravedad
159
160     x = 0; % Posicion en x de las particulas de agua en la camara 2
161     z = -1.8; % posicion vertical inicial de las particulas de agua en la camara 2
162     L = ((g*T^2)/(2*pi))*(tanh(2*pi*(hl/g)^(1/2))/T)^(3/2)^(2/3); % Longitud de onda
163     k = (2*pi)/L; % numero de onda
164
165     syms t
166
167     B = (H/2)*(1+(z/hl)); % amplitud maxima de desplazamiento en y
```

Command Window

...numero_discreto / pushbutton1_Callback Ln 214 Col 71

```
164
165 - syms t
166
167 - B = (H/2)*(1+(z/h1)); % amplitud maxima de desplazamiento en y
168 - Alfa = ((H*T)/(4*pi))*((g/h1)^(1/2)); % amplitud maxima en desplazamiento x
169 -  $\underline{u}$  = Alfa*sin(k*x-w*t); %funcion de desplazamiento en x
170
171
172 - vel_y = -((H*g*k*sinh(k*(h1+z)))/(2*w*cosh(k*h1)))*sin(k*x-w*t); % velocidad del agua en y para la camara
173 -  $\underline{dvel\_y}$  = diff(vel_y,t); % aceleracion de las particulas de agua en la camara 2
174 - Y = B*cos(k*x-w*t); % funcion de posicion en y de las particulas de agua en la camara 2
175
176 - d1 = 0.05; % diametro 1
177
178
179 - k2=0.2; % coeficiente de perdidas por cambio de seccion para la turbina
180
181 - A = 0.12*0.12; % Area transversal del WEC camara 1
182 - V1 = A*0.08; % Volumen aparente piston de agua
183 - rho = 1000; % densidad del agua
184 - masa = rho*V1; % masa aparente del piston de agua
185 - k3 = 1; % coeficiente de corte
186 - Cd = 2; % coeficiente de arrastre placa plana normal
187
188 - Vol = A*Y; % volumen agregado
```

The image shows the MATLAB Editor window with the following content:

```
188     Yc1 = A*1; % volumen agregado
189
190     % Analisis del piston uno sobre el dos
191
192     z2 = -1.5; % posicion de la particula de agua en la camara 1
193     x2 = L; % posicion del centro de la camara 1 en el eje x
194
195     vel_y2 = -((H*g*k*sinh(k*(h1+z2)))/(2*w*cosh(k*h1)))*sin(k*x2-w*t); % velocidad del agua en y, para la c
196     dvel_y2 = diff(vel_y2,t); % aceleracion de la particulas
197     B2 = (H/2)*(1+(z2/h1)); % amplitud de oscilacion de una particula de agua en la camara 1
198     Y2 = B2*cos(k*x2-w*t); % funcion de posicion en y
199
200
201
202     A2 = 0.12*0.45; % Area transversal del WEC de la camara 1
203     V12 = A2*0.03; % Volumen aparente piston de agua de la camara 1
204
205     masa2 = rho*V12; % masa aparente del piston de agua
206
207
208     Vo12 = A2*Y2; % volumen agregado
209
210     AREA = (3.1416*d1^2)/4;
211
212     %ecuacion diferencial de movimiento
```

The interface includes a toolbar with 'PUBLISH', 'VIEW', and 'RUN' tabs, and a 'Command Window' at the bottom.

Editor - C:\Users\Toshiba\Dropbox\Banco de convertidores WEC\Diseño David WEC MatLab\anlisis_numero_discreto.m

```

212 % ecuacion diferencial de movimiento
213
214 Ap = dsolve(' Ap = (((Cd/2)*rho*A))*(vel_y)^2+((1+k3)*rho*Vol*dv|e1_y))- 0.5*(((Cd/2)*rho*A2))*(vel_y2)^2+0.
215 % ecuacion diferencial del piston de la camara 2
216
217
218 velp=diff(Ap,t); % velocidad del piston
219 posip=diff(velp,t); % posicion del piston
220 Fpto = -((k2*rho)/(2))*AREA*velp^2); % fuerza del PTO
221
222 P = 4*(int(Fpto*velp,t,(0),(T/4)));
223
224 P2 = P/1000; % potencia que se podria extraer de la tubina
225 p=double(P);
226
227 set(handles.lb12,'string',P)
228
229 t=0:0.005:1;
230
231
232 Ap=double(Ap);
233
234
235 axes(handles.graf1)
236 plot(t,Ap,'red-')

```

Command Window

...numero_discreto / pushbutton1_Callback Ln 214 Col 71

2:30 PM 1/26/2018

The image shows the MATLAB software interface. The top menu bar includes 'PUBLISH' and 'VIEW' tabs, along with a 'Search Documentation' field and a 'Log In' button. Below the menu bar is a toolbar with icons for 'Breakpoints', 'Run', 'Run and Advance', 'Run Section', 'Advance', and 'Run and Time'. The main workspace displays the title 'Banco de convertidores WEC' and 'Diseño David WEC MatLab'. The script editor shows the following code:

```
227 set(handles.tb12, 'string', p)
228
229 t=0:0.005:1;
230
231
232 Ap=double(Ap);
233
234
235 axes(handles.graf1)
236 plot(t, Ap, 'red-')
237 legend('Aceleracion')
238 axes(handles.axes4)
239 plot(t, velp, 'black-')
240 legend('Velocidad')
241 axes(handles.axes6)
242 plot(t, posip, 'blue-')
243 legend('Posicion')
244
245
246
247
248
249
250
251
```

The Command Window at the bottom shows the text 'numero discreto / pushbutton1 Callback' and the cursor position 'Ln 214 Col 71'.