

# Viabilidad técnica de tecnologías para aprovechamiento de la energía undimotriz en la costa del pacifico colombiano

## Technical feasibility of technologies for the use of wave energy on the Colombian pacific coast

Aris José Perdomo Idárraga<sup>1</sup>, Diaz Harold<sup>2</sup>, Palacios Jairo<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup> Grupo de Investigación en Conversión de Energía "Convergía", Universidad del Valle. Cali, Colombia

<sup>1</sup>aris.perdomo@correounivalle.edu.co, <sup>2</sup>harold.diaz@correounivalle.edu.co

<sup>3</sup>Jairo.palacios@correounivalle.edu.co

Fecha de recepción: 11/19/2018 Fecha de aceptación: 12/12/2018



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No comercial-SinObraDerivada 4.0 internacional.

DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.4740>

**Citar como:** Perdomo Idárraga, A. J., Diaz H. & Palacios J. (2018). Viabilidad técnica de tecnologías para aprovechamiento de la energía undimotriz en la costa del pacifico colombiano. *AVANCES: INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA*, 15 (1), 286-301. DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.4740>

### Resumen

La mayoría de las comunidades en la zona del pacífico no están conectadas al sistema nacional de energía eléctrica, además estas zonas tienen gran riqueza hídrica y marítima, con un enorme potencial no solo pesquero sino también energético. La generación de electricidad a partir de energía undimotriz busca aprovechar la periodicidad y la amplitud de la energía cinética y potencial del oleaje, para generar electricidad a partir de un Convertidor de Energía de las Olas y menos perjudicial para el medio ambiente.

Este artículo analiza la posibilidad de generar energía eléctrica a partir de las olas en la costa norte del Pacífico colombiano, lo que reducirá el impacto ambiental de la generación de energía actual a partir del Diesel o la gasolina, reduciendo los costos de generación de energía debido al costo y transporte de este combustible, lo que permitirá que estas comunidades tengan electricidad durante todo el día [1].

**Palabras clave:** Olas, energía, electricidad, Colombia, Valle del Cauca.

### Abstract

Most of the Pacific communities are not connected to the national system of electricity, many of these areas have great hydroelectric and maritime wealth, with an

enormous potential not only for fishing but also for energy. The generation of electricity from wave energy seeks to take advantage of the frequency and amplitude of the kinetic and potential energy of the waves, to generate electricity from a wave energy converter and that is less harmful to the environment ambient.

This article analyzes the possibility of generating electric power from the waves on the north coast of the Colombian Pacific, which will reduce the environmental impact of current energy generation from diesel or gasoline, reducing the costs of power generation due to the cost and transportation of this fuel, which will allow these communities have electricity throughout the day.

**Keywords:** Waves, Energy, electricity, Colombia, Valle del Cauca

## 1. Introducción

En esta investigación se estima el potencial de la energía de las olas del mar para la generación de energía eléctrica en las distintas zonas que limitan con el mar en la región del pacífico colombiano o litoral pacífico colombiano. Para la problemática que se desea abordar, existen varios aspectos que se deben tener en cuenta.

- La existencia de un oleaje constante que proviene principalmente de un mar abierto con acción directa de los vientos del pacífico sur. El cual se encuentra dentro del rango de 0,1m a 2m de altura.
- Falta de estaciones permanentes de medición en algunos puntos del país distribuidas en el mar por parte de Centros de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico y Caribe (CCCP y CIOH).
- Suministro de energía eléctrica ineficiente, zonas que no están dentro del SIN (Sistema de Interconexión Nacional). Además, los sistemas de

generación undimotriz brindan la posibilidad de obtener agua potable a partir del agua del mar con sistemas de desalinización incluidos.

La Dirección General Marítima “Dimar” cuenta con una moderna y amplia variedad de instrumentación oceanográfica y de meteorología marina instalada en los CCCP y CIOH, así como en sus buques de investigación que permiten [2]:

- La medición de parámetros en sitio.
- Observaciones meteorología marina.
- La recolección de muestras de agua y de suelo.
- Análisis muestras de agua y suelo.
- Medición de parámetros en tiempo real.

## 2. Marco teórico

### 2.1 Convertidores de energía de las olas

A continuación, se presenta las tecnologías WEC (Wave Energy Converters) más representativas [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

En la Tabla 2 y Figura 2 se clasifican por el principio de captación:

2.1.1 En la tabla 1 y Figura 1 se clasifican los dispositivos en función de la distancia a la costa:

Tabla 1. Clasificación dispositivos WEC según su ubicación.

<b>En la costa (Onshore)</b>	Olas superficiales y aguas poco profundas cerca de la costa, apoyados en acantilados rocosos, integrados en estructuras fijas como: diques rompeolas o lecho marino, donde la fricción inferior ha comenzado a disipar parte de la energía en las ondas oceánicas entrantes. Primera Generación.
<b>Cercanos a la costa (Nearshore)</b>	Aguas poco profundas (10 a 40 m). Profundidades apropiadas para dispositivos de gran tamaño apoyados por gravedad sobre el fondo o flotantes. Segunda Generación
<b>Fuera de la costa (Offshore)</b>	Flotantes o sumergidos ubicados en aguas profundas (40-100 m) en alta mar, típicamente lejos de la línea de costa y donde la fricción inferior tiene un efecto despreciable en la energía de la onda entrante. Tipo de convertidores más prometedor ya que explotan el mayor potencial energético existente. Tercera Generación.

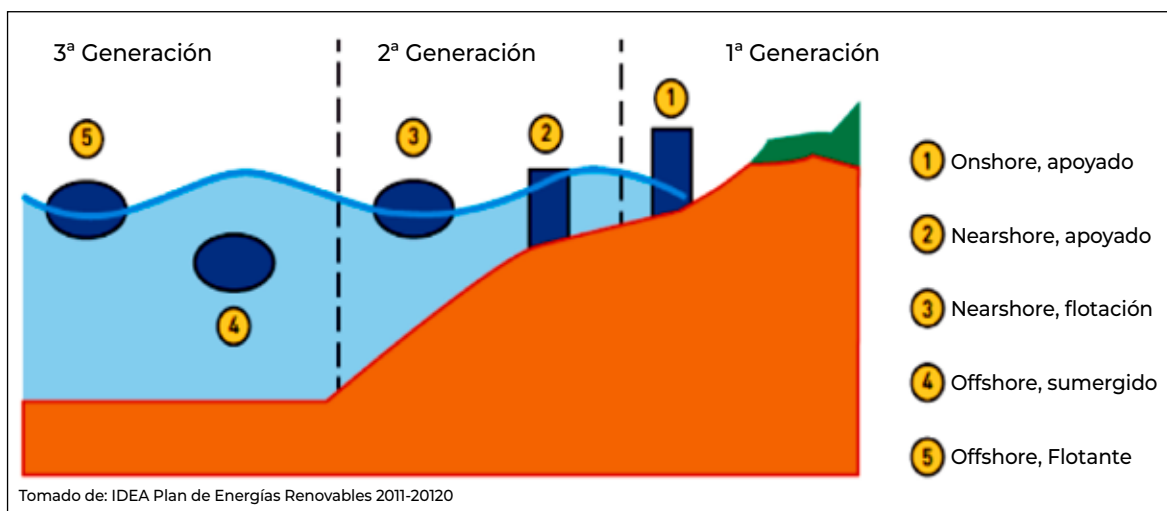
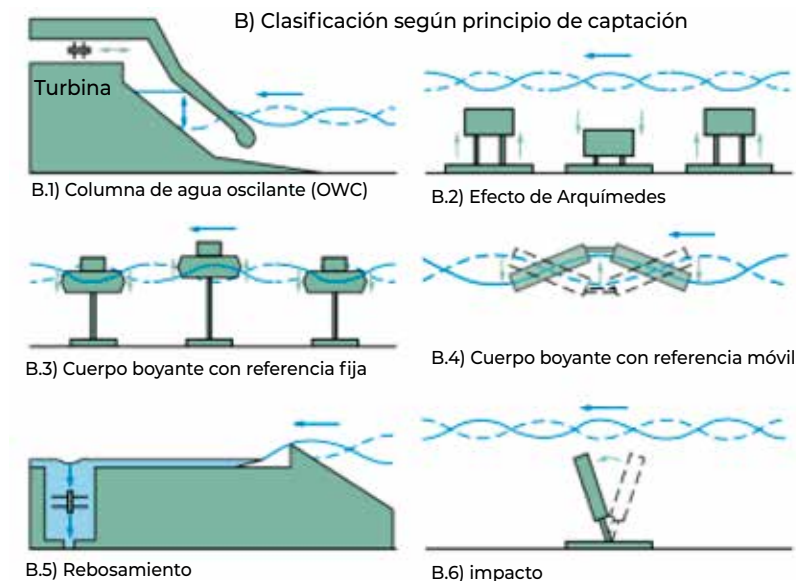


Figura 1. Clasificación dispositivos WEC según su ubicación. [7]

## 2.1.2 En la tabla 2 y Figura 2 se clasifican por el principio de captación

**Tabla 2.** Clasificación dispositivos WEC según su principio de captación.

<b>Diferencia de presión Power Take-Off (PTO)</b>	Basados en la diferencia de presión creada por el oleaje en un fluido, normalmente aire, que opera como medio de transferencia. Se destacan dos tipos principales: Columna de agua oscilante (Oscillating Water Column–OWC) y efecto Arquímedes.
<b>Sistemas de rebosamiento y/o impacto</b>	En estos las olas inciden en una estructura, lo que aumenta su energía: potencial, cinética o ambas.  hay sistemas de rebosamiento offshore y onshore (no muy frecuentes ya que requieren una serie de características naturales en el emplazamiento y costo de obra civil es elevado). Pueden incluir o no depósito que almacene agua, los cuales utilizan algún tipo de concentrador (canal en cuña o parábola) para incrementar la altura de las olas.  Los sistemas de impacto suelen utilizar una pala articulada o bolsa flexible como medio de transferencia. Existen dispositivos tanto nearshore como offshore
<b>Cuerpos flotantes</b>	Constituidos por un cuerpo flotante movido por las olas. El movimiento oscilatorio puede ser: vertical y horizontal, en torno a un eje (cabeceo) o combinación de los anteriores.  El movimiento puede ser absoluto entre el cuerpo flotante y una referencia fija externa (anclaje al fondo o lastre) o bien movimiento relativo entre dos o más cuerpos, siendo los primeros los más abundantes. En estos los esfuerzos de los amarres son importantes; además, estos son sensibles a las mareas y su instalación y mantenimiento resultan complejos

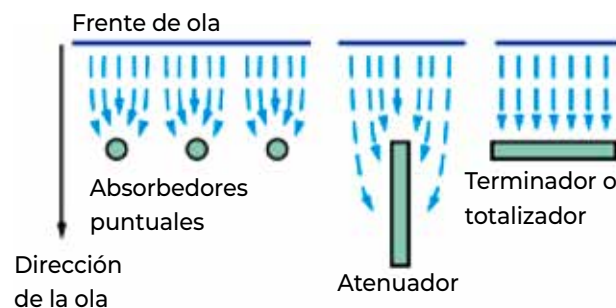


**Figura 2.** Clasificación dispositivos WEC según principio de captación. [8]

### 2.1.3 En la tabla 3 se clasifican Según el tamaño y orientación

**Tabla 3.** Clasificación Según el tamaño y orientación

<b>Atenuador</b>	O absorbedores lineales, son estructuras alargadas, situadas en paralelo al avance de las olas, extraen la energía de modo progresivo y direccional. Ejemplos: Pelamis, el cual tiene su eje principal perpendicular al frente de la onda incidente, de modo que la energía se captura como la onda se mueve a lo largo del WEC
<b>Totalizadores o terminadores</b>	Los totalizadores son dispositivos alargados situados perpendicularmente a la dirección del avance de la ola (paralelos al frente de la ola), captando la energía de una sola vez. Ejemplos: Rectificador Russell, Pato Salter.
<b>Absorbedor de puntos</b>	Estructuras pequeñas en comparación con la ola incidente, cilíndricas (simetría axial). captan la energía de la ola directamente incidente, y también la de un entorno, siendo indiferentes a la dirección de propagación de la ola. Generalmente se colocan varios absorbedores puntuales agrupados formando una línea. Ejemplos tipo boya, como el sistema AquaBUOY de la compañía irlandesa Finavera Renewables o PowerBuoy de la empresa estadounidense Ocean Power Technologies



**Figura 3.** Clasificación de dispositivos WEC según tamaño y la orientación con respecto al frente de ola. [8]

### 2.1.4 En la tabla 4 se clasifican por su comportamiento dinámico

**Tabla 4.** Clasificación dispositivos WEC según su fuente de reacción

<b>Fondo del mar (Pasivos)</b>	El movimiento relativo del WEC con el fondo marino es estacionario y proporciona la fuente de reacción utilizada por el Principio de operación. La estructura se fija al fondo del mar o la costa y se extrae la energía directamente del movimiento de las partículas de agua.
<b>Autoreferenciado (Activos)</b>	Los elementos de la estructura se mueven como respuesta a la ola y la energía se extrae mediante el movimiento relativo entre las partes fijas y móviles. Esto es común en los conceptos flotantes amarrados donde la respuesta hidrodinámica de un componente está diseñada para ser diferente del otro componente en el sistema flotante (por ejemplo, una boya de buñuelo alrededor de una boya de soporte o una boya absorbente de puntos en una plataforma flotante relativamente estable).

## 2.1.5 En la tabla 5 se clasifican por su función de salida

**Tabla 5.** Clasificación su función de salida

<b>Eléctrica</b>	El WEC está diseñado para producir electricidad en aplicaciones de generación distribuida o de red eléctrica.
<b>Desalinización</b>	El WEC está diseñado para producir agua de mar presurizada para uso directo en sistemas de desalinización.

## 2.1.6 En la tabla 6 se clasifican Según la instalación

**Tabla 6.** Clasificación Según la instalación

<b>Anclado al fondo</b>	El WEC está diseñado para ser instalado sobre una base fijada al lecho marino o a una estructura de ribera.
<b>Flotante</b>	Los sistemas de flotación-amarre se utilizan para mantener el sistema flotando en una ubicación costa afuera (o menos común, nearshore).
<b>Sumergido</b>	El concepto WEC está destinado a estar completamente sumergido, ya sea que esté atado al lecho marino o fijo al fondo.



**Figura 4.** Ejemplos sobre las distintas clasificaciones de WEC. [8] Para información adicional [6, 10]

## Ventajas

Mientras que la energía solar depende de los días despejados y la eólica tiende a disminuir durante la mañana, las olas producen energía durante todo el día. Lo que permite formar parte de las energías más continuas entre un gran grupo de energías renovables llevándola a presentar un factor de capacidad alto.

Estimar el potencial del recurso con fiabilidad reduce los riesgos de inversión de los proyectos, cualquiera de las tecnologías utilizadas para esto, tiene que ser capaz de aguantar la altura de cualquier ola en condiciones extremas y en localizaciones remotas

## Barreras a implementación

El aprovechamiento energético de las energías del mar y su integración en red, conllevan una serie de barreras, de

tipo tecnológico y de mercado como de aspectos sociales y administrativos.

A pesar de que se puede estimar un promedio mensual en el tamaño significativo y la frecuencia del oleaje, el principal problema es que magnitud de estas no son constantes ni predecibles a corto plazo o para periodos u horarios de tiempo determinados como ocurre con las mareas; algunos problemas como la Sincronización de frecuencia y la Sincronización direccional también se agregan a la lista. Esto crea un problema de ajuste entre la oferta y la demanda de la energía generada.

Las lecciones aprendidas de tecnologías con mayor grado de madurez como la industria eólica pueden aportar luz en el camino a seguir para la evolución del desarrollo de la energía del mar, principalmente en aspectos comunes como la integración en la red nacional.

### 3. Caracterización del potencial undimotriz de la zona pacífica colombiana

En Colombia es poca la información disponible actualmente sobre el clima de oleaje, gran parte está basada en observaciones visuales de buques mercantes ICOADS (The International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set Project) [7], y por tanto no es adecuada por su calidad espectral, distribución espacial y resolución temporal, además no permite obtener información durante condiciones de mar en tempestad.

La costa pacífica (Figura 5) con 1.300 km de longitud forma parte del pacífico



Figura 5. Ubicación del área de estudio Fuente: Atlas SIG Colombia – U. Distrital



Figura 6. Tipos de línea de costa del Pacífico colombiano.

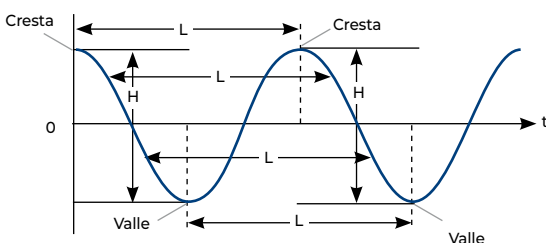
oriental tropical. El litoral del Pacífico posee una fuerte influencia del oleaje y de las mareas, con variaciones cada 12 horas de hasta de 6m, porque recibe la acción directa de un océano abierto.

En la Figura 6 se muestra los tipos de línea costera del litoral y la zona costera y se basa en la geomorfología presentada por Ingeominas (1998) y modificada parcialmente en estudios posteriores.

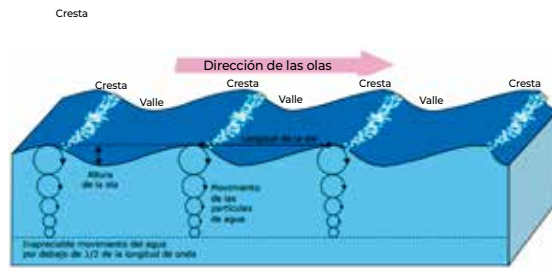
### 3.1 Características del oleaje

Las olas se caracterizan por: 1) longitud de onda  $L$  o distancia entre dos picos consecutivos; 2) altura de onda  $H$  o diferencia en altura entre un pico y un valle, y 3) el periodo  $T$  o tiempo en segundos que tarda un valle o un pico de la ola en recorrer su longitud de onda (Figura 7). Cuanto menor es la velocidad menor es la altura de ola y más alta su frecuencia o más bajo su período. [5].

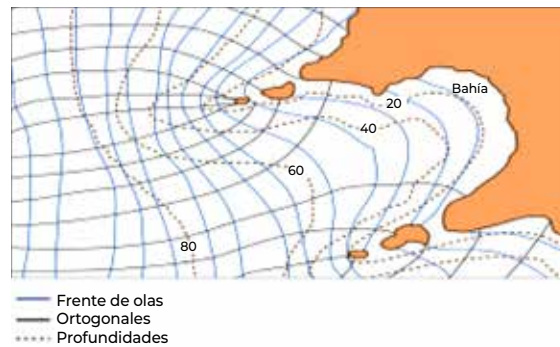
En el recorrido del oleaje, cada partícula del agua permanece en una misma área realizando movimientos circulares describiendo una órbita en dicha área. En la superficie del agua, en zonas profundas, los movimientos son del mismo tamaño



**Figura 7.** Características de una onda senoidal pura [11]



**Figura 8.** Movimiento de las moléculas de agua en las olas [11]



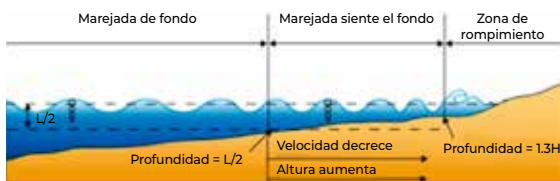
**Figura 9.** Divergencia y convergencia de las olas en la costa [11]

que la altura de la ola, pero estos movimientos disminuyen exponencialmente en tamaño al descender debajo de la superficie (Figura 8).

Al trazar líneas que representan el frente de ola (Figura 9) se puede analizar este cambio de dirección. Cuando las líneas trazadas perpendicularmente al frente de ola se juntan indican la convergencia de la energía de la ola, comprimiendo el frente de ola y generando un aumento de la altura  $H$ . Mientras que si las líneas trazadas perpendicularmente al frente de ola se separan entre sí indican divergencia de energía, alargando el frente de ola y mostrando una menor altura  $H$ .

Al aproximarse las olas a la playa (cuando la relación entre altura de onda  $H$  y la



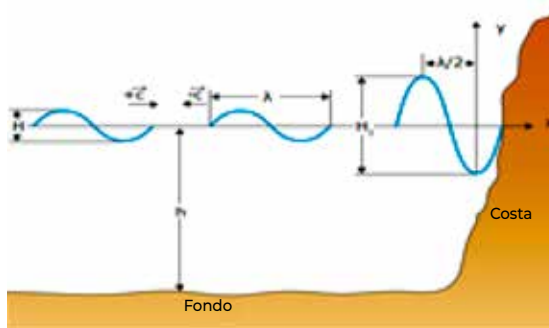


**Figura 10.** Esquema conceptual del rompimiento de las olas en la costa [11]

profundidad del agua es aproximadamente igual a 0.78) la velocidad de avance y longitud de onda de las olas disminuye, y su altura aumenta hasta que la velocidad de las partículas del fluido excede la velocidad de avance de la ola (velocidad de fase), donde la ola se hace inestable y rompe (Figura 10).

Por consiguiente, al verificar las cartas de batimetría del litoral pacifico, se observa que la zona norte contiene mayor energía en su oleaje, ya que la plataforma continental es estrecha en el norte, donde la isóbata de 200 m de profundidad está muy cerca de la costa, aproximadamente a 15 km.

Cuando la ola choca con un obstáculo o barrera vertical (Figura 11); la ola se refleja con muy poca pérdida de energía. Si el tren de ondas es regular, la suma de las ondas incidente y reflejada origina una ola estacionaria, en la que se anulan



**Figura 11.** Reflexión de una Ola [11]

mutuamente los movimientos horizontales de las partículas debidas a las ondas incidentes y reflejadas, permaneciendo sólo el movimiento vertical de altura doble y, por lo tanto, de energía doble al incidente. [12].

### 3.2 Mareas

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) [13], dentro del programa de monitoreo de los recursos naturales del país, cuenta con una red mareográfica encargada de obtener en tiempo real, información detallada sobre el comportamiento del nivel del mar en las costas colombianas. El Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CIOH) que hace parte de esta red de monitoreo,

**Tabla 7.** Pronóstico de pleamares y bajamares [13]

Ciudad	Hora	Altura	Hora	Altura	Hora	Altura	Hora	Altura
Cupica	2:55	3.47	8:56	0.12	15:21	3.69	21:23	0.09
Solano	2:46	2.71	8:57	0.03	15:12	2.90	21:24	0-00
Utria-Guapi	3:04	3.41	9:05	0.09	15:30	3.63	21:32	0.06
Buenaventura	3:13	4.02	8:58	0.50	15:38	4.14	21:23	0.51
Tumaco	3:04	3.00	9:05	0.17	15:33	3.13	21:30	0.23

ha presentado informes de los últimos tres años sobre el pronóstico meteomarinero de la cuenca del pacífico colombiano que se puede revisar en la página web de la Dirección Marítima General (Tabla 8)

La diferencia en altura del nivel del mar entre la marea alta y baja a una determinada ubicación se denomina el rango de marea, y puede variar cada día dependiendo de la ubicación del sol, la luna y la ubicación costera en el planeta. se considera una desventaja en la aplicación de algunos modelos de energía undimotriz si la diferencia de nivel del mar entre marea alta y marea baja es muy grande. Ya que en las bajamares el dispositivo no estaría funcionando, por ello es preciso ubicar una planta de energía undimotriz en el municipio donde se presente la menor amplitud entre marea alta y marea baja.

### 3.3 Potencial del Oleaje

La energía que una ola adquiere depende, básicamente, de:

- La intensidad del viento que sopla sobre la superficie del océano.
- El tiempo en que el viento está soplando.
- El alcance o superficie sobre la cual sopla el mismo.

La potencia  $P$ , en kW por metro de ancho de ola, contenida en una ola oceánica idealizada (onda senoidal de amplitud constante " $H$ " y periodo y longitud de onda " $T$ " bien definidos) que posee una densidad " $\rho$ ", puede mediante la ecuación 1:

$$P = \frac{g^2 \rho H^2 T}{32\pi} \left(\frac{W}{m}\right) \quad (1)$$

De forma practica la potencia se halla como en Ver Ecuación 2

$$P = \frac{g^2 \rho H^2 T}{32\pi} \left(\frac{W}{m}\right) \quad (2)$$

Donde " $H_s$ " se halla como la altura significativa de las olas o altura promedio de la tercera parte de las olas más altas en un registro, " $T_e$ " es el periodo de tiempo que transcurre entre valores sucesivos el paso de una ola dos veces consecutivas por una línea imaginaria situada a la mitad de distancia entre una cresta y un valle.

Para decidir cuánto debe introducirse un dispositivo WEC, debajo de la superficie del mar, se debe tener presente que el 95% de la energía de una ola se encuentra en la franja comprendida entre la superficie y una profundidad de un cuarto de la longitud de onda  $L$  [12]. El efecto de pérdida de energía de la ola es más significativo cuando la profundidad del agua es menos de un cuarto de la longitud de ola. Esta pérdida de potencia es muy importante ya que reduce la cantidad de energía útil que puede extraerse del oleaje.

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, los lugares en el Pacífico colombiano donde la línea de costa está constituida por acantilados bañados por aguas profundas (Costas con rocas cohesivas) son los más apropiados para instalar dispositivos de captación de la energía del oleaje ya que las olas

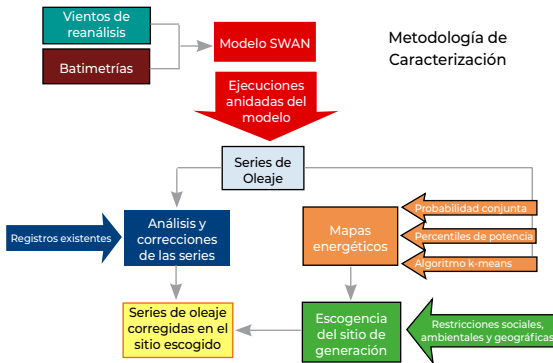


Figura 12. Metodología empleada [1]

incidentes contienen gran cantidad de energía debido a que vienen del mar abierto sin presentar pérdidas por fricción con el fondo marino al llegar a la costa (cuando las olas se acercan a aguas poco profundas van perdiendo gradualmente su potencia).

#### 4. Metodología

La metodología empleada para el análisis de los datos se resume en la Figura 12. Para más información ver [1]

#### 5. Resultados

El Boletín Meteorológico Mensual del Pacífico Colombiano es una publicación elaborada por el Área de Oceanografía Operacional del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP), la cual realiza una descripción y análisis estadístico del comportamiento de los diferentes parámetros meteorológicos y oceánicos que definen el clima en la Cuenca Pacífica Colombiana (CPC) tomando como base de datos horarios durante un mes registrados a través del Sistema de Medición de

Boyas de Oleaje Direccional			
Información	Bahía Solano	Buenaventura	Tumaco
Ubicación geográfica	Lat. 09°21,96´ N Long. 077°30,31´ W	Lat. 03°32,38´ N Long. 077°43,74´ W	Lat. 01°54,18´ N Long. 078°54,74´ W
Altura (msnm)	0 m	0 m	0 m

Tabla 8. Información geográfica de la ubicación de las Boyas en la CPC

Parámetros Oceanográficos y de Meteorología Marina (SMPOMM) de DIMAR; conformado por una red de Estaciones Meteorológicas Automáticas Satelitales (EMAS), sensor del nivel del mar y Boyas de Oleaje Direccional, ubicados a lo largo del litoral Pacífico colombiano (Tabla 8), así [14]

#### 5.1 Altura significativa y Periodo del oleaje

La Figura 13 compara los datos históricos de la altura del oleaje  $H_s$ , mientras que la Gráfica 14 compara los datos históricos del periodo del oleaje  $T_e$ , obtenidos a partir de los boletines meteorológicos mensuales de la región pacífica publicados por la DIMAR entre enero a diciembre del 2015. Cada boletín ofrece gráficas diarias (por las boyas de medición de las que ellos disponen) de la altura y el periodo del oleaje en: Bahía Solano, Buenaventura y Tumaco. En total se analizaron 12 gráficas de  $H_s$  y 12 gráficas de  $T_e$  por cada municipio mencionado usando la aplicación “Engauge Digitizer ©”; ya que el número de mediciones diarias presentadas era distinto cada día, fue necesario promediar los valores diarios utilizando una herramienta desarrollada en MatLab © por parte del autor.

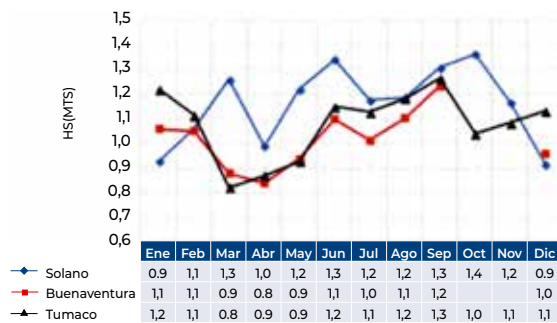


Figura 13. Altura significativa oleaje

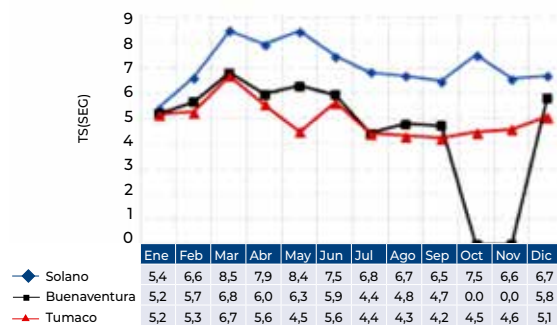


Figura 14. Periodo significativo oleaje

## 5.2 Amplitud vs Periodo

Para Este análisis del comportamiento general el litoral pacífico se divide en tres zonas, en la Zona Norte el municipio de Bahía Solano, Zona Centro el municipio de Buenaventura y Zona el municipio de Tumaco.

En la Figura 15, 16 y 17 muestran en un histograma que relaciona: periodo, altura y probabilidad del oleaje en las 3 zonas. Donde se observa que las olas con alturas menores en un registro de oleaje se presentan en periodos cortos, mientras que olas de alturas mayores que la media no parecen mostrar ninguna correlación con el periodo de onda, sin embargo, la Figura 14 muestra que existe un periodo mínimo por debajo del cual

no hay olas. En la práctica la distribución conjunta de altura de ola y periodo es de gran importancia porque detalla qué periodo y a qué altura se presentan más olas durante el intervalo de medición, permitiendo crear una distribución de probabilidad conjunta.

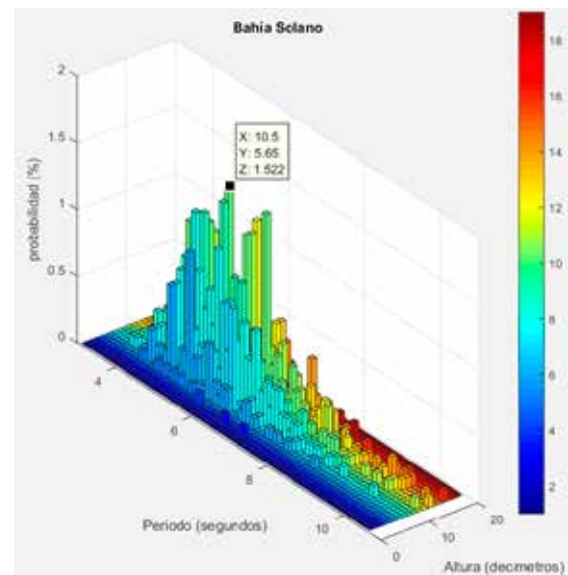


Figura 15. Probabilidad de Amplitud vs Periodo del oleaje Bahía Solano

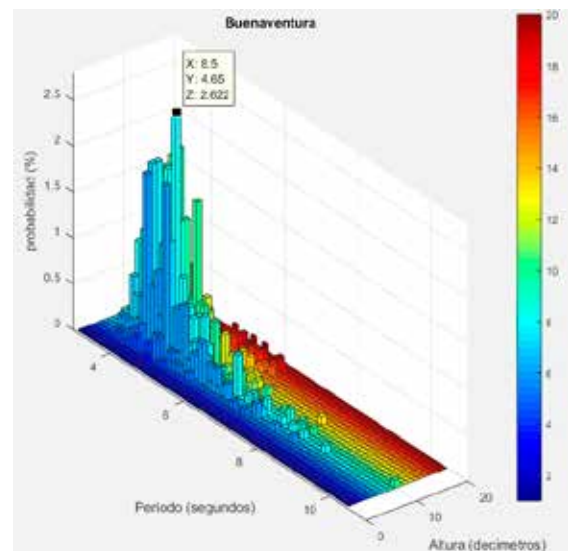


Figura 16. Probabilidad de Amplitud vs Periodo del oleaje Buenaventura

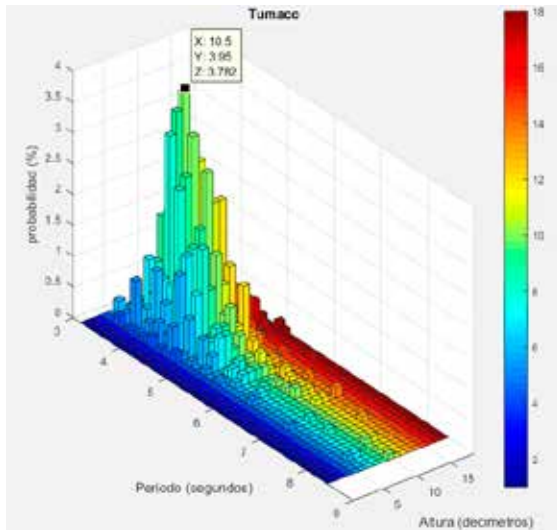


Figura 17. Probabilidad de Amplitud vs Periodo del oleaje Bahía Solano

### 5.3 Potencia

Con la altura y periodo del oleaje en los tres municipios, se muestra que, debido a la batimetría, ubicación, dirección del oleaje y la geografía de terreno del litoral pacífico colombiano, la zona norte representada por el municipio de Bahía Solano tiene las mejores características mencionadas para que se presenten oleajes con mayor energía por metro de frente de ola. en la Gráfica 17 se ilustra el potencial energético en los tres municipios, utilizando la ecuación 2.

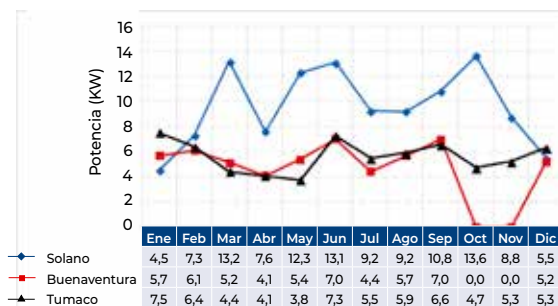


Figura 18. Potencia del oleaje en el Pacifico colombiano

## 5.4 Tecnologías aplicables a las 3 zonas

### 5.4.1 Zona Norte:

Esta zona cuenta con acantilados rocosos, rocas cohesivas, playas con pendientes pronunciadas y una batimetría donde la isóbata de 200m se alcanza a los 15km de la costa mar adentro, debido a esto, posee condiciones donde generalmente la transición entre pleamar y bajamar no deja grandes extensiones de litoral desprovistas de agua, afectando mínimamente la altura y el periodo de la ola a distancias cercanas a la costa, por lo tanto, la distancia a la que se encuentran los niveles óptimos de energía durante la pleamar no se diferencia demasiado a la distancia mínima necesaria para alcanzar los mismos niveles óptimos durante la bajamar.

En general, esta es la zona más adecuada para la instalación de dispositivos WEC, porque los acantilados al entrar con una pendiente casi vertical al mar permiten que las olas que contra ellos golpean no sean frenadas bruscamente por el fondo marino al golpear contra el litoral (el acantilado es un indicativo de que el oleaje es fuerte), además si el comportamiento del oleaje es uniforme se puede crear el fenómeno de reflexión. De igual forma la roca cohesiva garantiza que la cimentación o anclaje del dispositivo, permanezca firme bajo los efectos climáticos o adversos que se puedan presentar, caso contrario a las zonas con rocas no cohesivas porque todo anclaje que se realice en estas rocas, con el tiempo serán destruidos o deteriorados

por causa de la erosión. En conclusión, los dispositivos onshore como los nearshore y offshore permanecerán bajo el efecto del oleaje durante las 24 horas del día, sin verse afectada su eficiencia por la falta del recurso o por la disminución de la energía misma.

#### 5.4.2 Zona Centro y Sur:

Es importante resaltar que la zona centro cuenta con una línea que posee rocas cohesivas en los alrededores de Buenaventura. Para una instalación de dispositivos WEC es de gran importancia que el anclaje del dispositivo, ya sea en la costa o lecho marino, tenga una cimentación firme, pero a pesar de lo anterior existe la gran desventaja de que la isóbata de 200m se alcanza a los 50km mar adentro a partir del litoral, por tal motivo, la característica principal de la batimetría de la zona es que posee una pendiente muy pequeña (entre los 2° y 10°), causando el amortiguamiento de la energía del oleaje proveniente de mar adentro.

En general, la línea costera de la zona centro-sur se compone de playas, bahías, deltas, costas lodosas y lagunares, desembocaduras de ríos y pendientes muy pequeñas en la batimetría del fondo oceánico. Estas características juntas no favorecen a la instalación de la mayoría de los dispositivos WEC porque las playas al poseer una pendiente muy pequeña, durante la pleamar tienen un ancho del orden de unos cuantos metros, pero al presentarse la bajamar el ancho de las playas puede variar de metros a cientos de metros, ocasionando que los

dispositivos catalogados como onshore y nearshore no puedan ser instalados en estos sitios porque quedarían desprovistos de agua durante las bajamares, dejando de generar energía eléctrica durante estos periodos de tiempo; además de esto causaría daños en el dispositivo por falta de estabilidad en la posición en la que deba permanecer durante su funcionamiento.

Por otro lado, esto se puede considerar una ventaja para la zona centro y la zona sur del pacífico colombiano porque las olas originadas por tormentas (que pueden ser muy dañinas para las estructuras de los dispositivos que se instalen para captar su energía) también se atenúan al llegar a zonas costeras de estas aguas poco profundas y por consiguiente se reduce la probabilidad de destrucción de los dispositivos WEC instalados.

Entre las desventajas de la zona centro y sur, las bahías en general, causan el efecto de dispersión del oleaje y los deltas tienen la desembocadura de varios ríos, ocasionando que muchos sedimentos que son arrastrados por los ríos desde las zonas montañosas del país lleguen al mar y se acumulen en las costas, además las corrientes oceánicas y la dirección predominante de las olas crean lo que se denomina corriente costera que arrastra estos sedimentos a lo largo del litoral con dirección sur a norte distribuyéndolos entre los departamentos de Nariño, Cauca y Valle del Cauca, creando la disminución de la pendiente de la plataforma continental en el mar en estas zonas de estudio. En estas dos zonas los

únicos dispositivos a implementar son los offshore anclados al lecho marino para garantizar una producción constante de energía eléctrica.

## 6. Conclusiones

Teniendo en cuenta lo anterior y la vital importancia de desarrollar proyectos que permitan mejorar la calidad de la poca y deficiente información del oleaje en el Pacífico colombiano, se ha concluido que:

- Se determinó que la cercanía a la costa permite que el dispositivo WEC tenga mejor vigilancia, acceso y mantenimiento por parte de los operarios e incluso ahorra costos de inversión en las conexiones necesarias para transportar la energía eléctrica a los lugares de consumo humano o a la subestación eléctrica dispuesta para la conversión y distribución de energía generada por el dispositivo.
- Se halló que para capturar la máxima energía de una ola los dispositivos WEC deberían capturar la energía de todos los movimientos circulares de la ola, desde la superficie hasta las profundidades. Sin embargo, no resulta viable desde el punto de vista técnico y económico tratar de capturarlas todas ya que las orbitas más profundas y pequeñas contienen poca energía.
- Se Estableció que los dispositivos WEC deben ser diseñados no solo para que funcionen correctamente en las tareas de conversión energética, sino que también deben ser

capaces de soportar las cargas más extremas de oleaje o marejadas, lo cual puede elevar los costos de inversión de la instalación.

- Se determinó que en la actualidad no existe un diseño WEC mejor, debido a la gama de diferentes climas de energía de las olas que se encuentran alrededor del mundo y al interés en aplicaciones onshore, nearshore y offshore, puede no haber convergencia en un solo tipo de tecnología en el sector de la energía de las olas, además de eso, diferentes estilos de dispositivos pueden resultar más adecuados para diferentes usos.
- No se espera que el impacto visual sea significativo. La mayoría de los dispositivos de los principales desarrolladores de tecnología tienen un perfil visual similar a un buque de pesca de tamaño mediano.
- Se encontró que es posible la utilización de dispositivos WEG en los lugares analizados, pero se requiere un mayor estudio de las zonas.

## Referencias

- [1] Perdomo I., A. J. (2017). *Viabilidad técnica de tecnologías para aprovechamiento de la energía undimotriz en la costa del pacífico colombiano*. Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- [2] *Instrumentación oceanográfica*, consultado 27 de abril de 2016, en: <http://www.cccp.org.co/index.php/component/content/article/167>.

- [3] *Ocean Energy: Technology Readiness, Patents, Deployment Status and Outlook*. Int. Renew. Energy Agency. Agosto 2014.
- [4] Clément, A., McCullen, P., Falcao, A. Fiorentino, A., Gardner, F., Hammarlund, K., Lemonis, G., Lewis, T., Nielsen, K., Petroncini, S., Pontes, M. Schild P., Strom B., Sørensen, H., & Thorpe, T. (2002). Wave energy in Europe: current status and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6, 5, 405-431.
- [5] Ahn, K.K., Truong, D.Q., Huu Tien, H., & Yoon, J. (2012). An innovative design of wave energy converter. *Renewable Energy*, 42, 186-194.
- [6] *Boletín Vigilancia Tecnológica. Energías Marinas 3er trimestre 2016*. En: [https://www.oepm.es/export/sites/oepm/comun/documentos\\_relacionados/Boletines/energias\\_marinas/2016\\_3\\_Trimestre\\_Energias\\_Marinas.pdf](https://www.oepm.es/export/sites/oepm/comun/documentos_relacionados/Boletines/energias_marinas/2016_3_Trimestre_Energias_Marinas.pdf).
- [7] *Plan de energías renovables 2011-2020*. Consultado 2016, en: <http://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/plan-de-energias-renovables-2011-2020>.
- [8] IHCANTABRIA. 2017. <https://www.ihcantabria.com/es/>.
- [9] International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set, Apr 13, 2018. En: <http://icoads.noaa.gov/>.
- [10] *Espacenet-Classificationsearch.*": Consultado 3 de marzo de 2017 en: [https://worldwide.espacenet.com/classification?locale=en\\_EP#!/CPC=F](https://worldwide.espacenet.com/classification?locale=en_EP#!/CPC=F).
- [11] *Ocean wave energy overview and research at Oregon State University*, 2018. En: <http://nnmrec.oregonstate.edu/biblio/ocean-wave-energy-overview-and-research-oregon-stateuniversity>.
- [12] Carta González, J. A., Colmenar Santos, A., Calero Pérez, R., & Castro Gil, M. A., (2009). *Centrales de Energías Renovables Generación Eléctrica con Energías Renovables*. Pearson Prentice Hall, UNED. Colombia.
- [13] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2018. <http://www.ideam.gov.co/>
- [14] Dirección General Marítima autoridad colombiana DIMAR. *Boletín Meteomarino del Pacífico Colombiano 2015*. Consultado 2 de marzo de 2017 en: <https://issuu.com/dimarcolombia/stacks/763fe9eac8124a61a12ec24db1fd43f4>.