

ANÁLISIS FLUIDODINÁMICO, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ABSORBEDOR PUNTUAL TIPO ON-SHORE PARA EL ESTUDIO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO UNDIMOTRIZ

FLUID DYNAMIC ANALYSIS, DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN ON-SHORE PUNCTUAL ABSORBER PROTOTYPE FOR THE STUDY OF THE WAVE DRIVE ENERGY POTENTIAL

Pablo Leonardo Ángulo Yoctún¹, Ruth Susana Asto Gonzales², Arnold Farid Hugo Arroyo Calderón³, Valeria Alexandra Valencia Santillán⁴, Rolando Wilder Adriano Peña⁵

¹²³⁴⁵ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería, Escuela Académica Profesional de Ingeniería Mecatrónica, Av. Juan Pablo II s.n., Trujillo, La libertad, Perú, pablo.yoctun@unmsm.edu.pe, ruth.asto@unmsm.edu.pe, arnold.arroyo@unmsm.edu.pe, valeriavalenciasantillan@gmail.com, rolando_adriano@hotmail.com

RESUMEN

Actualmente existen diversas fuentes para generar energía de manera renovable, entre ellas está el aprovechamiento del movimiento de las olas del mar para producir energía undimotriz. En este proyecto de investigación se presenta un estudio numérico y experimental del potencial energético undimotriz de un prototipo de absorbedor puntual tipo on-shore. El dispositivo se puso en marcha en el canal de oleaje del laboratorio de Hidráulica de la E.P. Ingeniería Mecánica de Fluidos. Este consta de un sistema mecánico y un circuito eléctrico, con el cual se hicieron las pruebas y se eligieron dos parámetros representativos, para evaluar el funcionamiento del equipo, que son: el voltaje y el amperaje. Para comparar estos parámetros, se decidió utilizar un número representativo de 12 escenarios, donde para cada escenario se midió la altura y el período. Para la parte experimental, se construyó el dispositivo mecánico-eléctrico con el que se realizó las pruebas, mientras que para la simulación numérica haciendo uso de la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD), con el que se empleó el método de volúmenes finitos para discretizar y resolver numéricamente basándonos en la herramienta computacional Solidworks.

Palabras clave: Absorbedor puntual, energía undimotriz, potencial energético, renovable, SolidWorks.

ABSTRACT

At the moment there are different sources to generate energy in a renewable way, one of them is the movement of the waves of the sea. This research project presents a numerical and experimental study of the wave energy potential of a point absorber prototype. The device was put into operation in the wave channel of the Hydraulics Laboratory of the E.P. Mechanical Engineering of Fluids. The device is made up of a mechanical system and an electrical circuit, with which the tests were executed and three representative parameters were chosen to evaluate the operation of the equipment, which are: revolutions, voltage and amperage. To compare these parameters, it was decided to use a representative number of 12 scenarios and for each one the height and the period were measured. For the experimental part, the mechanical-electrical device with which the tests were executed was built, while for the numerical simulation Computational Fluid Dynamics (CFD) was used, with which the finite volumes method was used to discretize and solve numerically based on the SolidWorks computational tool.

Keywords: Renewable, energy potential, wave energy, SolidWorks.

*Autor para correspondencia: pablo.yoctun@unmsm.edu.pe







INTRODUCCIÓN

En la actualidad las fuentes de energía no renovables para el consumo energético es uno de los principales temas de estudio. En Perú la demanda de energética ha ido en aumento en los últimos años según el Comité de operación económica del sistema interconectado nacional (COES), razón por la cual el país ha venido adoptando estrategias en el sector energético tanto en nivel de generación como a nivel de demanda, que intentan mitigar los efectos negativos al medio ambiente, sin dejar de lado el brindar electricidad a todo el país (Correa 2016).

De acuerdo a la Encuesta Nacional de Hogares realizada por el Instituto nacional de Estadística e Informática (INEI), en las zonas rurales tanto como costa, sierra y selva peruana aun no cuentan con energía eléctrica en su totalidad. En las zonas rurales de la selva el 42% no cuenta con energía eléctrica, y las zonas rurales de la costa y sierra, cuentan con el servicio en un 78.5% y 72.4% respectivamente. En zonas donde la electricidad es limitada o deficiente, los habitantes generalmente se abastecen de energía eléctrica mediante pequeñas plantas generadoras, las cuales utilizan fuentes fósiles de combustibles, el cual produce un fuerte impacto en el medio ambiente (Fernandez 2012).

Una solución para la generación de electricidad en las zonas de difícil acceso, es el uso de energías no convencionales. Dentro de estos diferentes tipos de energías no convencionales, se encuentra una que ha sido poco estudiada en el país, esta es

la energía en los océanos, la cual se divide en energía mareomotriz y undimotriz (Herrera 2017).

La energía undimotriz consiste en aprovechar la energía contenida en el oleaje. Esta energía es producida por el rozamiento que se genera como consecuencia de la interacción del viento y la superficie marina. En este trabajo se realizará la construcción de un dispositivo absorbedor puntual tipo on-shore para realizar el estudio del potencial energético undimotriz, en el cual se realizarán pruebas, y en cada escenario se medirá la altura y el periodo, dándonos así el voltaje y amperaje que estas generan al pasar por el dispositivo (Roque 2017).

PROBLEMÁTICA

En nuestro país la falta de acceso a servicios básicos es uno de los mayores problemas que atraviesan algunos sectores. La falta de servicio eléctrico impulsa a buscar distintos tipos de energía no convencional en los cuales se incluye la energía undimotriz. La difusión del estudio del potencial energético undimotriz que se puede aprovechar en el Perú, es bajo. Debido a ello, la construcción de prototipos de estructuras generadoras de energía eléctrica a partir de la energía mecánica que brinda el oleaje de la costa peruana es de sumo interés.

En ese contexto, el análisis del aprovechamiento de este tipo de energía que se hace en el presente estudio, ayuda a obtener mayor información acerca de este tema, con el posterior fin de

conocer la viabilidad de los beneficios que se lograrán al ejecutar este tipo de estructuras en las costas peruanas.

Objetivo General

Construir un dispositivo absorbedor puntual tipo on- shore para realizar el estudio del potencial energético undimotriz, ayudándonos de la simulación fluidodinámica y los ensayos experimentales.

Objetivos específicos

1. Dibujo CAD de la geometría del prototipo absorbedor puntual tipo on-shore.
2. Análisis y simulación fluidodinámica del absorbedor puntual tipo on-shore utilizando el software Solidworks.
3. Medir la altura y el periodo de la ola.
4. Comparar su funcionamiento mediante la potencia.
5. Comparar los resultados experimentales y numéricos.

Teoría Hidrodinámica

Las componentes verticales de la fuerza total externa actuando sobre la boya resultan de la suma de diversos componentes.

Las componentes verticales de la fuerza total externa:

$$\sum F_{\text{ext}} = m_b Z$$

m_b : masa de boya

z : aceleración vertical

Esta fuerza incluye el peso de la cremallera, fuerzade gravedad y la fuerza de la ola f_w

$$\sum F_{\text{ext}} = m_b Z$$

$$(m_b + m_a)Z + BZ + CZ = f_{\text{ext}} + f_r + W_{\text{crem}} + f_g$$

$(m_a$: icoficiente hidrodinámico de la masa agregada

B : coeficiente amortig . de la radiación

Donde:

$$m_a = \frac{1}{2} P_w V \rightarrow m_a = \frac{1}{2} P_w \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$m_a = \frac{2}{3} P_w \pi r^3$$

P_w : densidad del agua de mar

Fuerza de Arrastre

$$f_d = BZ$$

$$F_2 = \frac{1}{2} C_d P_w A_{\text{proy.}} u^2$$

C_d : coeficiente de arrastre

A_{proy} : área proyectada normal de la boya

u : velocidad del fluido no perturbada

$$u = \frac{\pi \times H}{T} e^{\left(\frac{2\pi z}{\lambda}\right)} \cos(\omega t)$$

Fuerza Boyante

$$f_b = CZ$$

$$f_b = P_w g A$$

A: área de sección transversal

Fuerza de Radiación

$$f_r = -RZ$$

$$f_r = -\left[w \times \frac{Z}{8} P_{\text{water}}^3 \times (C_{33} + i\mu_{33})\right] Z$$

Coeficientes no Dimensionales Heave

ϵ_{33} y μ_{33}

$$K = \frac{w^2}{g} ; \quad \epsilon = \frac{3\pi r}{8h}$$

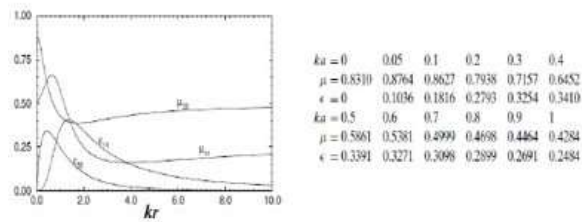


Figura 1. Coeficientes no adimensionales

Fuerza de Excitación

$$f_{exc} = \left[K_3 \times R_w g \frac{H}{Z} \pi r^2\right] \times \cos(wt)$$

K_3 : coeficiente de fuerza de excitación heave

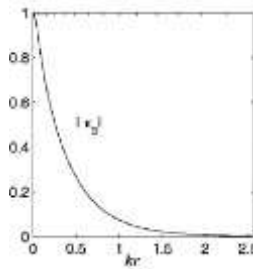


Figura 2. Coeficiente de fuerza de excitación.

MÉTODOS

Solidworks

SOLIDWORKS es una herramienta de software de dinámica de fluidos computacional (CFD) de

alto rendimiento que ofrece soluciones de manera rápida y robusta en una amplia gama de aplicaciones CFD y multifísicas. Es reconocido también por su entorno de trabajo debido a que antes de simular nos permite realizar la geometría,

de manera que se puede modelar y ensamblar las piezas en 3D.

Este software ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto.

Método de Volúmenes Finitos

El método de volúmenes finitos es un procedimiento de discretización en el que se recorre el camino inverso al utilizado en la obtención de las ecuaciones diferenciales de transporte. En estas se parte de las relaciones integrales en un volumen fluido (finito), obteniéndose las relaciones para una partícula fluida al reducir el volumen de integración hasta el asociado a esta (Infinitesimal).

Método Experimental

El método experimental es el más utilizado, es un tipo de método de investigación en el que el investigador controla deliberadamente las variables para delimitar relaciones entre ellas, está basado en la metodología científica. Las variables que se utilizan pueden ser variables independientes y dependientes.

Estado del arte

En el mundo se han realizado diversos estudios sobre la energía undimotriz, en los cuales se ha estimado que el potencial de energía de las olas es aproximadamente de 2 mil a 3 mil millones de kW (Torres & Andrade 2006, p. 13), (Cabrales *et al.* 2013, p. 324). En 2001, la Agencia Internacional de la Energía creó un Acuerdo de

Aplicación de Sistemas de Energía Oceánica (IEA-OES, actualmente con 23 países como partes contratantes) cuya misión es facilitar y coordinar la investigación.

En el año 2017, la Universidad de Córdoba, realizó el diseño y construcción de un dispositivo absorbedor puntual tipo on-shore para el estudio del potencial energético undimotriz en el departamento de Córdoba. Esto con el fin de conocer la viabilidad de generación eléctrica a partir de este recurso, los pasos desarrollados para llevar a cabo el proyecto consistieron primero en identificar los valores típicos de altura y periodo de ola en la zona costera del departamento de Córdoba necesarios como parámetros de entrada para el diseño del dispositivo; a continuación se procedió a diseñar el dispositivo con base en normas ingenieriles, validando su funcionamiento en el canal de oleaje del laboratorio de hidráulica y mecánica de fluidos de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín; finalmente se analizaron los datos obtenidos del dispositivo para relacionarlos con las alturas y periodos propios del departamento.

Procedimiento del desarrollo de la parte experimental

Para la construcción del módulo fue necesario conseguir distintos materiales, en el caso del sistema mecánico-eléctrico se ensambló todos los engranajes con sus respectivos ejes y chumaceras, sobre un soporte de madera.



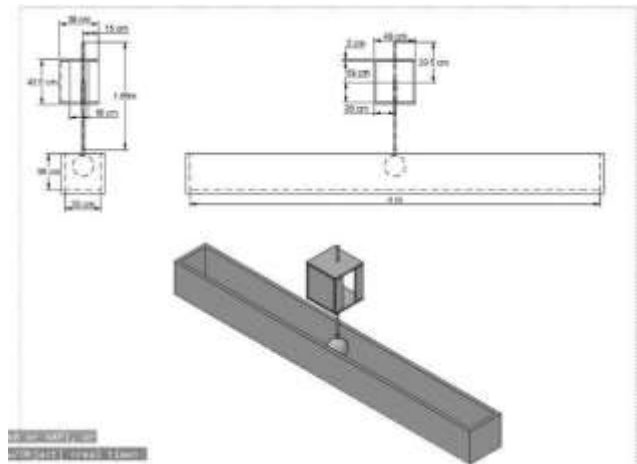
En el caso del sistema tipo on-shore se realizó principalmente de PVC, todo esto fue puesto sobre una estructura diseñada con el fin de que el movimiento vertical no presente alteraciones en su recorrido.



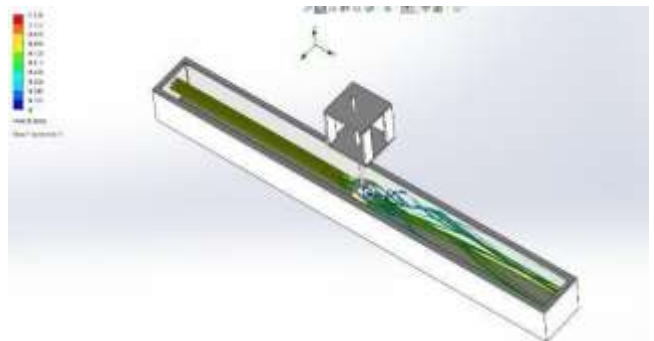
Para la toma de datos llevamos el dispositivo al laboratorio el cual se instaló en el canal de generación de olas, luego se hicieron las mediciones para 10, escenarios, para una cierta altura y periodo, luego con ayuda de un multítester se pudo obtener la potencia.

Procedimiento del desarrollo de la parte de simulación

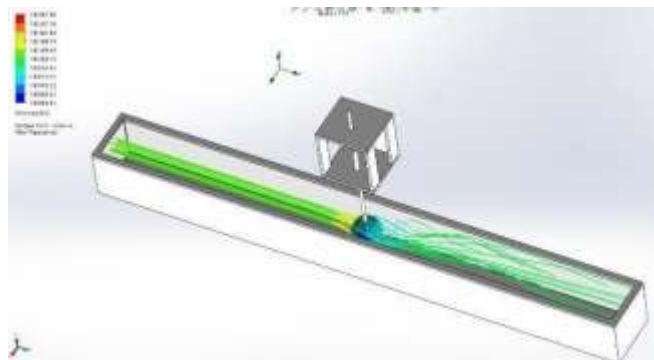
Para el desarrollo de la simulación se usó SolidWorks. En este caso se utilizará un canal rectangular de 4 m de largo, 0.35 m de ancho, y 0.35 m de altura.



Se realizó la simulación en SolidWorks, teniendo como condición de entrada el caudal de 90 lt/s y de salida la Presión Atmosférica, también se tomó en cuenta la densidad del aire y el agua, ya que es una superficie libre.



Se tienen las presiones al hacer contacto con la boya.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Valores obtenidos, potencia teórica del sistema:

Escenario	Altura (m)	Periodo (s)	Potencia teórica (W)
1	0.3	8.3	366.03
2	0.3	8.24	363.38
3	0.3	8.1	367.21
4	0.3	8.15	359.42
5	0.3	8.18	360.74
6	0.3	8.22	362.50
7	0.3	8.26	364.27
8	0.3	8.12	358.09
9	0.3	8.08	356.33
10	0.3	8.21	362.06

Valores obtenidos, potencia real del sistema:

Escenario	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia real (W)
1	0.56	43.50	24.36
2	0.45	36.40	16.38
3	0.41	34.30	14.06
4	0.52	42.40	22.05
5	0.41	32.20	13.20
6	0.48	37.50	18.00
7	0.53	41.10	21.78
8	0.42	35.30	14.83
9	0.41	34.90	14.31
10	0.42	36.10	15.16

Al analizar la tabla se observa que la mayor medición de voltaje y amperaje se dio en el escenario 1, esto nos indica que fue el que presentó mayor número de revoluciones, también se observa que el escenario 5 fue el que mostró el menor valor de voltaje y amperaje dado que este tiene una menor cantidad de revoluciones. El rango de valores de voltajes experimentales estuvo entre

0.41 V y 0.56 V. El rango de valores de amperaje experimentales estuvo entre 32.20 A y 43.50 A.

Cuadro de comparación de los valores obtenidos:

Escenario	Potencia teórica (W)	Potencia real (W)	Eficiencia
1	366.03	24.36	6.66
2	363.38	16.38	4.51
3	367.21	14.06	3.94
4	359.42	22.05	6.13
5	360.74	13.20	3.66
6	362.50	18.00	4.97
7	364.27	21.78	5.98
8	358.09	14.83	4.14
9	356.33	14.31	4.02
10	362.06	15.16	4.19

Al comparar estos resultados se puede observar que tienen una gran diferencia, esto se puede deber a diversos factores, entre los cuales se mencionan los siguientes:

Un aspecto importante es la afirmación hecha por Rodríguez *et al.* (2008, p. 8) según la cual un absorbedor puntual oscilando verticalmente puede reflejar menos del 50% de la energía incidente; más aún, asegura que diversos estudios han demostrado que estos dispositivos en la práctica no son capaces de captar más de un 20% de la energía incidente, disminuyendo considerablemente la cantidad de energía que se puede absorber.

Otro elemento importante en el análisis comparativo de potencia teórica vs real es el generador, este trabaja con un torque para producir voltaje, como el dispositivo produce en teoría un torque se puede inferir que el generador no aprovecha la totalidad de energía entregada.

Para finalizar un último aspecto importante es la medición de voltaje y amperaje que se realizó de manera visual en un multítester, esto pudo generar errores en el tiempo de la toma de medidas.

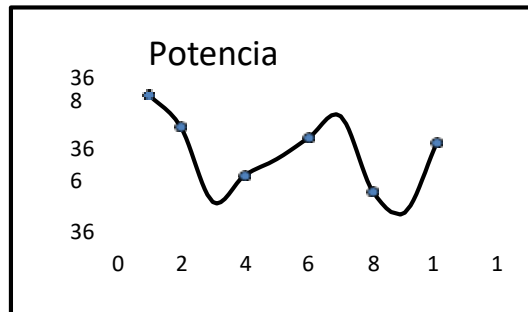


Ilustración 1 – Potencia teórica

Una solución para la generación de electricidad en las zonas de difícil acceso, es el uso de energías no convencionales. Dentro de estos diferentes tipos de energías no convencionales, se encuentra una que ha sido poco estudiada en el país, esta es la energía en los océanos, la cual se divide en energía mareomotriz y undimotriz (Herrera 2017).

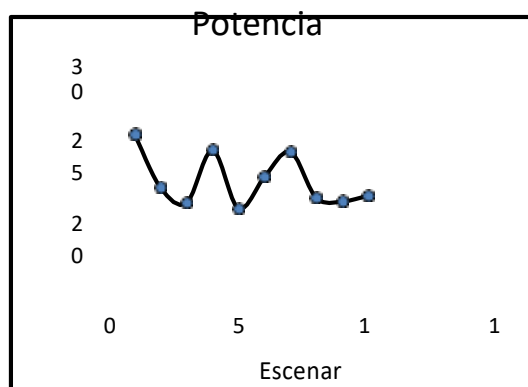


Ilustración 2 – Potencia real

La energía undimotriz consiste en aprovechar la energía contenida en el oleaje. Esta energía es producida por el rozamiento que se genera como

consecuencia de la interacción del viento y la superficie marina. En este trabajo se realizará la construcción de un dispositivo absorbedor puntual tipo on-shore para realizar el estudio del potencial energético undimotriz, en el cual se realizarán pruebas, y en cada escenario se medirá la altura y el periodo, dándonos así el voltaje y amperaje que estas generan al pasar por el dispositivo (Roque 2017).

CONCLUSIONES

A partir de las mediciones experimentales, se comparó la potencia real obtenida en los 12 escenarios, teniendo como mayor valor el de 24,36 W y como menor valor el de 13.20 W, el cual nos brindó una eficiencia dentro del rango de 4 a 7 %, el cual está en un rango aceptables dentro de la energía aprovechada por este dispositivo. Además, se calculó que la potencia generada por el sistema en promedio es de 0,03 Kw, al año generaría 197,1 Kw. En dispositivos pequeños, en el caso de celulares, se necesitan 0,0095 Kw/h y cargan en un tiempo aproximado de hora y media. Y la geometría de la boya aun cuando se eligió por ser la que demostró un mejor comportamiento estructural, no es la apropiada para el dispositivo, debido a que su superficie no aprovecha completamente el frente de la ola.

RECOMENDACIONES

Para futuros proyectos utilizar un generador que sea diseñado específicamente de acuerdo a los requerimientos de funcionamiento que arroje el sistema de transmisión.

Para evitar errores en la medición es recomendable implementar un método para la medición de voltaje y amperaje que incluya un osciloscopio para la toma de datos.

Realizar un rediseño del dispositivo para que sea posible aprovechar la carrera de subida y bajada en la cremallera, y así obtener una completa absorción de la energía.

Es necesario una revisión en la distancia entre los engranajes, al igual que la presión necesaria en cada una de las uniones de todo el sistema, para evitar la fricción y aumentar la eficiencia.

Ajustar el peso necesario en entre la boya y la cremallera, con el fin de que no exista una pérdida de energía. Es recomendable trabajar con material ligero (madera, PVC o aluminio)

REFERENCIAS

- Correa Hernández, D. P. (2016). Estudio del comportamiento de un mecanismo de boyas para obtener energía undimotriz. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/139881>
- Fernandez Chozas, J. (2012) Energía de un dispositivo absorbedor puntual para el potencial energético. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/659/Documento%20final%20Undimotriz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Herrera Medina, M. A. (2017). Diseño y construcción de un dispositivo absorbedor puntual para el potencial energético en el departamento de Córdoba. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/659/Documento%20final%20Undimotriz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Roque Neyra, J. S. (2017). Generación undimotriz para mejorar el suministro de energía eléctrica en la playa costanera – Huanchaco. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23955>