

POTENCIALIDADES DE LA ENERGÍA MAREOMOTRIZ PARA LA OBTENCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LAS COSTAS DE GIBARA

POTENTIALITIES OF TIDAL ENERGY FOR OBTAINING ELECTRICITY ON THE COASTS OF GIBARA

Ing. Lázaro Girón Matos¹, MSc. Raymundo Carlos Rodríguez Tejeda, MSc. Yusleydis Cano Ricardo³.

1. Empresa de Diseño Vértice, lazaro.giron@vertice.cu, 3. Universidad de Camaguey yusleidis.cano@reduc.edu.cu

RESUMEN:

Las fuentes de energías alternativas y renovables son la opción más ecológica y razonable de generar electricidad. La energía mareomotriz tiene la cualidad de ser renovable, pues su fuente de energía primaria no se agota, y es limpia. Sin embargo, en Cuba no se ha implementado la explotación de este recurso natural debido a su alto costo, y al desconocimiento de su potencialidad en las zonas costeras, obstaculizando su empleo para la generación de energía eléctrica. Por lo que se hizo necesario diagnosticar las potencialidades de la energía mareomotriz en el municipio de Gibara para la generación de energía eléctrica debido a las condiciones geográficas presente en la costa. Se seleccionó el sistema VIVACE dentro del método de generación debido a las características de las costas de la bahía. Se determinó la potencia generada por el sistema VIVACE para las corrientes marinas de 0.5 m/s y 1 m/s, y se obtuvo la potencia generada al año mostrando el ahorro de petróleo que varía desde 0,36934668 t hasta las 5909,54681 t al mes, dependiendo de las velocidades de las corrientes marinas y de la escala a emplear en la construcción del emplazamiento.

Palabras claves: energías alternativas renovables; energía mareomotriz.

ABSTRACT:

Alternative and renewable energy sources are the most ecological and reasonable option to generate electricity. Tidal energy has the quality of being renewable, because its primary energy source is not exhausted, and it is clean. However, in Cuba the exploitation of this natural resource has not been implemented due to its high cost, and the lack of knowledge of its potential in coastal areas, hindering its use for generation of electricity. So it became necessary to diagnose the potentialities of tidal energy in the municipality of Gibara for regeneration of electric power due to the geographical conditions present on the coast. The VIVACE system was selected with in the generation method due to the characteristics of the coasts of the bay. The power generated by the VIVACE system for marine currents of 0.5 m / s and 1 m / s was determined, and the power generated per year was obtained, showing the oil savings ranging from 0.36934668 t to 5909.54681 t per month., depending on the speeds of the marine currents and this scale to be used in the construction of the site.

Keywords: alternative renewable energies; Sea water energy.

1. INTRODUCCIÓN

El océano tiene una cantidad enorme de energía, muchos estudios muestran que esta cantidad es de alrededor de cinco millones de MW, pero por supuesto la realidad es que solo una fracción mínima de esta energía es posible aprovechar. La cantidad de energía que es posible aprovechar, está directamente relacionada con la amplitud de la marea. Hay varios lugares en el mundo que presentan las condiciones óptimas para aprovechar las mareas para la generación de energía, con variaciones de hasta 16 m. Estudios internacionales han convertido a los países líderes en la utilización de este tipo de energía a Corea del Sur con la planta Sihwa Lake con una producción de 254 MW, Francia con La Rance de 240 MW situada en el estuario del río Rance, en Bretaña y en Reino Unido la planta Tidal Lagoon de 240 MW (Rodríguez, En construcción - Energía y Electrónica, 2014).

A pesar de ser Cuba una isla, las mareas que habitualmente se producen no son lo suficientemente grandes como para que se puedan obtener importantes cantidades de energía a partir de esta fuente. No obstante, en algunos lugares de la isla se experimentan diferentes modalidades que podrían dar resultados al menos para soluciones locales. Las características de las bahías de la costa nororiental del país, son bolsas con canales de entradas largos y profundos, en los cuales se forman corrientes con velocidades entre 1 y 2.5 metros por segundo que podrían aprovecharse para generar electricidad. De hecho existen en este momento al menos cuatro universidades y la empresa cubana Geocuba, que trabajan en un estudio con una duración estimada de 3 años para la construcción de una planta piloto de un MW de potencia con fines experimentales y que cumplirá el mismo objetivo que el parque eólico de Turiguanó (Energía Mareomotriz, 2016). Lo cual nos incita a realizar un diagnóstico de las potencialidades que presenta la energía mareomotriz en algunos puntos, particularmente en la costa del municipio de Gibara, para la posible ubicación de dispositivos generadores de electricidad a partir de esta fuente, para poder emplear la energía mareomotriz como fuente en la generación de energía eléctrica.

2. CONTENIDO

2.1 Características principales de la zona de estudio

La Bahía de Gibara (figura 1) tiene la forma irregular de una bolsa cuya boca, de unas 900 brazas de anchura, mira hacia el Norte, su ancho máximo es de 2.700 brazas. En el centro de la bahía se encuentra un canal con una profundidad de 14 pies. Es el puerto de más fácil entrada y salida de toda la costa norte de la provincia oriental. (Wikipedia, 2016). La bahía se encuentra en la región nororiental del país, donde según los estudios realizados (Montesinos, 2012) las características de las corrientes marinas tienen valores entre los 0.5 m/s y 1 m/s aproximadamente.



Figura 1: Bahía de Gibara

Fuente: <https://www.google.com.cu/maps>

2.2 Métodos de generación de energía eléctrica a partir de la energía mareomotriz

Para la obtención de la energía eléctrica a partir de la energía mareomotriz se implementan los métodos que a continuación se mencionan y se relacionan en países de Europa, América Latina, Australia y Asia.

- Generador de la corriente de marea

Los generadores de corriente de marea hacen uso de la energía cinética del agua en movimiento a las turbinas de la energía, porque la energía cinética se genera por el flujo del caudal de agua. En el caso de las mareas, se puede aprovechar eficientemente ése flujo de energía transformando el movimiento de desplazamiento en un movimiento de rotación por medio de turbinas. La turbina convenientemente acoplada a un generador eléctrico produce la energía eléctrica, de manera similar al viento (aire en movimiento) que utilizan las turbinas eólicas. Este método está ganando popularidad debido a costos más bajos y a un menor impacto ecológico en comparación con las presas de marea (figura 2). (Wikipedia, 2016)



Figura 2 Generador de corriente de marea
Fuente: (Wikipedia, 2016)

- Presa de marea

Las presas de marea hacen uso de la energía potencial que existe en la diferencia de altura (o pérdida de carga) entre las mareas altas y bajas. Las presas son esencialmente los diques en todo el ancho de un estuario, y sufren los altos costes de la infraestructura civil, la escasez mundial de sitios viables y las cuestiones ambientales (figura 3). (Wikipedia, 2016)



Figura 3: Presa de marea
Fuente: (Wikipedia, 2016)

- Energía mareomotriz dinámica

La energía mareomotriz dinámica (Dynamictidal Power o DTP) es una tecnología de generación teórica que explota la interacción entre las energías cinética y potencial en las corrientes de marea. Se propone que las presas muy largas (por ejemplo: 30 a 50 km de longitud) se construyan desde las costas hacia afuera en el mar o el océano, sin encerrar un área.

Se introducen por la presa diferencias de fase de mareas, lo que lleva a un diferencial de nivel de agua importante (por lo menos 2,3 metros) en aguas marinas ribereñas poco profundas con corrientes de mareas que oscilan paralelas a la costa, como las que encontramos en el Reino Unido, China y Corea. Cada represa genera energía en una escala de 6 a 17 GW (figura 4). (Wikipedia, 2016)



Figura 4: Energía mareomotriz dinámica
Fuente: (Wikipedia, 2016)

2.3 Selección del método de generación

La amplitud de las mareas en las costas cubanas es una limitante para la implementación de centrales mareomotrices, pues las mayores amplitudes tienen lugar en el tramo costero de Isabela de Sagua a Baracoa, donde en ocasiones alcanza los 1,20 m, con promedios de 0,70 m. La energía de las corrientes marinas tiene un potencial aprovechable mayor de 30 GW, y presenta una mayor densidad energética que la energía eólica como se muestra a continuación:

Viento: $15 \text{ m/s} \Rightarrow 2 \text{ kW/m}^2$

Corrientes marinas: $2 \text{ m/s} \Rightarrow 4 \text{ kW/m}^2$

Corrientes marinas: $3 \text{ m/s} \Rightarrow 14 \text{ kW/m}^2$

Como el agua marina es 832 veces más densa que el viento, la corriente de marea puede proporcionar niveles útiles de energía de velocidades mucho más bajas. Por ejemplo, el flujo de un agua de 1 m/s (aproximadamente 2 nudos) porta la misma densidad de energía cinética que un viento soplando a 9 m/s (17 nudos) (Fraenkel, 1999, citado por Ball, 2002). Esta energía cinética puede ser convertida en electricidad, con una eficiencia relativamente alta, usando turbinas submarinas (o grupos de turbinas) desplegadas lateralmente a través del flujo en los lugares con corrientes fuertes. Los datos antes expuestos permiten escoger los generadores de corrientes de mareas como método a usar para la generación de electricidad a partir de la energía mareomotriz, pues las mareas presentes en las costas cubanas no exceden los 1.2 m. El lento movimiento de las corrientes oceánicas y fluviales puede convertirse en una fuente de energía fiable y asequible. Por lo que dentro de este método usaremos el sistema VIVACE como mareogenerador a estudiar, aplicado a las corrientes marinas de 0,5m y 1m.

2.4 Sistema VIVACE

El convertidor VIVACE (Vibraciones Inducidas por Vórtices para Energía Acuática Limpia), es un sistema modular que en el laboratorio genera 51 vatios por metro cúbico de agua que fluye a tres nudos, o alrededor de 3,5 millas por hora. En un sistema VIVACE (figura 5), la corriente de agua atraviesa los espacios entre los cilindros horizontales. La turbulencia generada por el movimiento de los cilindros produce un vórtice que les infiere un movimiento mecánico vertical, a lo largo de las guías ubicadas en los soportes verticales. Unos generadores ubicados en estos soportes, producen energía a partir del movimiento de los cilindros. El vórtice inducido por las vibraciones tiene la forma de ondulaciones redondeadas. La presencia de un cilindro forma ondas, cuya velocidad es igual o mayor a la velocidad de la corriente. Esto hace que los remolinos formen un patrón en los lados opuestos del cilindro. Los vórtices empujan y mueven al objeto hacia arriba y hacia abajo, o hacia la izquierda y hacia la derecha, siempre perpendicular a la corriente. En su forma más primitiva, VIVACE es un cilindro horizontal sobre resortes que se desplaza hacia arriba y hacia abajo entre dos vías verticales mientras que el agua pasa a su lado. Esto crea energía mecánica que se transforma en electricidad. (Flores, 2013)

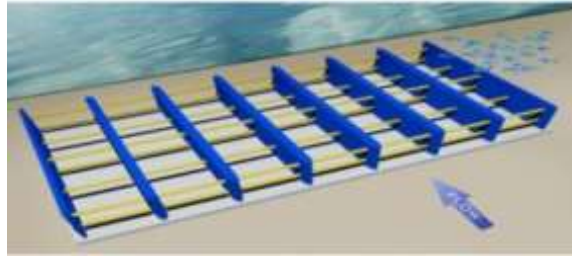


Figura 5: Sistema VIVACE
Fuente: (Flores, 2013)



Figura 6: Módulo conversor VIVACE
Fuente: Universidad de Michigan, 2008

2.5 Potencia generada con el uso del sistema VIVACE

Un convertidor VIVACE, que genera energía utilizable de las corrientes del océano o ríos, es modular, flexible y escalable. Así, puede ser diseñado, fabricado e instalado para generar electricidad en diversas aplicaciones y escalas. Un convertidor de VIVACE es un conjunto de módulos VIVACE. Puede consistir en un único módulo con un diámetro de 2 cm y la longitud de 30 a 40 cm a miles de módulos con cilindros de 1 m de diámetro y 20 m en longitud.

La energía PVIV, que un convertidor VIVACE puede extraer del flujo con una relación de conversión de potencia η_{VIVACE} , está dado por la siguiente ecuación:

$$P_{VIVACE-harn} = \eta_{VIVACE} \frac{1}{2} \rho_w U^3 DL \text{ (Ecu.2.1) (Bernitsas, 2008)}$$

Donde:

$P_{VIVACE-harn}$ = potencia de un convertidor

η_{VIVACE} = relación de conversión de potencia $\eta_{VIVACE} = 0,22$

ρ_w = densidad de agua de mar (kN/m^3)

U = velocidad de corriente marina (m/s)

D = diámetro del cilindro (m)

L = longitud del cilindro (m)

Para velocidad de flujo $U = 0.5-1 \text{ m/s}$

- Relación de conversión de potencia, $\eta_{VIVACE} = 0,22$, que es el valor eficaz medido en los ensayos con modelos de VIVACE.

Debería ser observado que este valor es conservador, ya que el sistema no ha sido optimizado de ninguna manera.

- El espacio entre los cilindros de $p = 8D$ y $t = 5D$.

Esto es mayor que el mínimo requerido de $4D$ para una interferencia mínima entre los cilindros estacionarios. También es significativamente mayor que las distancias de flujo de entrada y transversal

de 2D y 1D, respectivamente, para un cilindro en VIV aguas arriba de un cilindro fijo (Sumer 1997). Además, como se muestra en la (figura. 2.4), las filas de cilindros están escalonados en la dirección del flujo y alineadas en las otras dos direcciones.

Sobre la base de estos supuestos conservadores, las variables de diseño básico de convertidores VIVACE para una potencia dada pueden ser calculadas. Cabe señalar que existen infinitas soluciones para cada configuración de la planta de energía. Hemos seleccionado varias variables y, particularmente, D y L de tal manera que el número de cilindros no es excesivo. Un mayor número de cilindros tendría como resultados mayor densidad de energía, pero aumentaría la complejidad. A continuación, se muestran en la tabla 1 los resultados de potencias obtenidos para las cinco escalas desde micro hasta mega calculadas para el mínimo valor de velocidad de la corriente marina en la zona de estudio de 0.5 m/s.

Tabla 1: Potencia generada según la escala de VIVACE (Fuente: Elaboración autores)

Escala	D(m)	L(m)	No. cilindros	H(m)	S(m ²)	Pv (watt)
Mega	2	20	6570	30	258998	3703837,5
Grande	1	20	1314	15	14569	370383,75
Medio	0,5	10	526	15	2482	37066,5625
Pequeño	0,2	4	358	5	92	4036,45
Micro	0,1	2	657	5	45	1851,91875

En la tabla 2 se muestra los valores de potencia generada según el sistema VIVACE para un año.

Tabla 2: Potencias generadas por el sistema en el año (Fuente: Elaboración autores)

Escala	Pv (watt)	W/año	Pv (kW)	kW/año	Pv (MW)	MW/año
Mega	3703837,5	32445616500	3703,8375	32445616,5	3,7038375	32445,6165
Grande	370383,75	3244561650	370,38375	3244561,65	0,37038375	3244,56165
Medio	37066,5625	324703087,5	37,0665625	324703,088	0,03706656	324,703088
Pequeña	4036,45	35359302	4,03645	35359,302	0,00403645	35,359302
Micro	1851,91875	16222808,25	1,85191875	16222,8083	0,00185192	16,2228083

Se calcula las potencias generadas por el sistema para las mismas escalas usadas anteriormente, pero para una velocidad de la corriente marina de 1 m/s, obteniéndose los siguientes resultados (ver tabla 3 y 4)

Tabla 3: Potencia generada según la escala de VIVACE (Fuente: Elaboración autores)

Escala	D(m)	L(m)	No. cilindros	H(m)	S(m ²)	Pv (watt)
Mega	2	20	6570	30	258998	29630700
Grande	1	20	1314	15	14569	2963070
Medio	0,5	10	526	15	2482	296532,5
Pequeña	0,2	4	358	5	92	32291,6
Micro	0,1	2	657	5	45	14815,35

Tabla 4: Potencia generada por el sistema en el año (Fuente: Elaboración autores)

Escala	Pv (watt)	W/año	Pv (kW)	kW/año	Pv (MW)	MW/año
Mega	29630700	2,59565E+11	29630,7	259564932	29,6307	259564,932
Grande	2963070	25956493200	2963,07	25956493,2	2,96307	25956,4932
Medio	296532,5	2597624700	296,5325	2597624,7	0,2965325	2597,6247
Pequeño	32291,6	282874416	32,2916	282874,416	0,0322916	282,874416
Micro	14815,35	129782466	14,81535	129782,466	0,01481535	129,782466

- Análisis de los resultados**

Según datos de la Empresa Eléctrica (2015), el municipio de Gibara cuenta con 27409 clientes, los cuales generan un consumo promedio mensual de 5493.3 MW, lo que representa un consumo de 1521,64 ton de petróleo.

En las tablas 5 y 6 se muestran el ahorro del consumo de electricidad en la ciudad de Gibara mensual, así como el porcentaje de ahorro de consumo y las toneladas de petróleo, para las diferentes escalas del sistema VIVACE, en dependencia de las velocidades de las corrientes marinas de 0,5-1m/s.

Tabla 5: Ahorro de combustible equivalente a la potencia generada en un mes, por las corrientes marinas para 0.5 m/s en Gibara. (Fuente: Elaboración autores)

Escala	Pv (MW)	MW/mensual	Consumo promedio mensual (MW)	% de ahorro mensual	Ahorro de combustible (t/kWh)	Ahorro de combustible para un mes (t)
Mega	3,7038375	2703,801375		49,2199839	1,025962988	738,693351
Grande	0,37038375	270,3801375		4,92199839	0,102596299	73,8693351
Medio	0,037066563	27,05859063	5493.3	0,49257442	0,010267438	7,39255523
Pequeño	0,00403645	2,9466085		0,05364004	0,001118097	0,80502959
Micro	0,001851919	1,351900688		0,02460999	0,000512981	0,36934668

Tabla 6: Ahorro de combustible equivalente a la potencia generada en un mes, por las corrientes marinas para 1 m/s en Gibara. (Fuente: Elaboración autores)

Escala	Pv (MW)	MW/ mensual	Consumo promedio mensual (MW)	% de ahorro mensual	Ahorro de combustible (t/kWh)	Ahorro de combustible para un mes (t)
Mega	29,6307	21630,411		393,759871	8,2077039	5909,54681
Grande	2,96307	2163,0411		39,3759871	0,82077039	590,954681
Medio	0,2965325	216,468725	5493.3	3,94059536	0,082139503	59,1404418
Pequeño	0,0322916	23,572868		0,42912035	0,008944773	6,4402367
Micro	0,01481535	10,8152055		0,19687994	0,004103852	2,9547734

3. CONCLUSIONES

1-Se determinó el estado actual del empleo de la energía mareomotriz para la generación de energía eléctrica en el municipio de Gibara, evidenciando la carencia de investigación en la temática, lo que permitió el desarrollo de la investigación, y la aplicación del método seleccionado.

2-Se diagnosticaron las potencialidades que presenta el empleo de la energía mareomotriz en el municipio de Gibara para la generación de energía eléctrica, aplicando el método generador de corriente de marea con el sistema VIVACE.

3-Se determinó la potencia generada por el sistema VIVACE para las corrientes marinas de 0.5 m/s y 1 m/s en las costas de Gibara, y se obtuvo la potencia generada al año mostrando el ahorro de petróleo que varía desde 0,36934668 t hasta las 5909,54681t al mes, dependiendo de las velocidades de las corrientes marinas y de la escala a emplear en la construcción del emplazamiento.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Batanga. (24 de abril de 2016). Obtenido de (<http://www.batanga.com/curiosidades/6885/todo-lo-que-quieres-saber-sobre-las-mareas-y-sus-curiosas-caracteristicas>)
- Bernitsas, M. M. (2008). *VIVACE (Vortex Induced Vibration Aquatic Clean Energy) A New in Generation of Clean and Renewable Energy From Fluid Flow*. Michigan: colibri.
- Canavaciolo, R. S. (2007). *La energía de las corrientes de mareas. Canal de acceso a la bahía de Nuevitas*. Universidad de Camagüey, Grupo de Investigaciones de la Energía Marina (GIEM).
- Charlier, R. (2002). Resurgimiento or Aggiornamento? Tidal Power at 30 years. *Journal of Renew Sustainable Energy*.
- Energía de las corrientes marinas*. (4 de mayo de 2016). Obtenido de <http://pfernandezdiez.es>
- Energía Mareomotriz*. (22 de abril de 2016). Obtenido de <http://EcuRed.htm>.
- Energía marina*. (2016). Obtenido de *Energía marina*: https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_marina
- Flores, V. H. (2013). *Ingeniería preliminar de opciones de aprovechamiento de energía de fuentes no renovables para la implementación en la ampliación del campus San Cayetano de I UTPL: sistemas de hidrogenación basados en vórtices gravitacionales*. Universidad católica de Loja, Loja Ecuador.
- Forcadell, J. E. (2011). *Estudio de la amplitud de marea en los puertos españoles del mediterráneo*. Universidad Politécnica de Catalunya, Facultad de Náutica de Barcelona.
- Ganzirri, *il Peloro e lo Stretto di Messina*. (4 de mayo de 2016). Obtenido de <http://ganzirri.it/spip.php?article53>
- Gonzales, J. L. (2009). *Cuantificación de energía de una planta mareomotriz*. Mexico.
- González, M. H. (2009). *MEDICIONES Y TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DEL NIVEL DEL MAR EN CUBA*. Instituto de Oceanología, Ciudad de la Habana.
- historia y biografías*. (abril de 2016). Obtenido de <http://historiaybiografias.com/porque7/>
- Historia y biografías*. (abril de 2016). Obtenido de <http://historiaybiografias.com/porque7/>
- intercuba*. (24 de abril de 2016). Obtenido de https://intercuba.net/wiki/articles/c/o/r/Corriente_marina.html
- KUNZE, J. S. (2008). *APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DE LAS MAREAS Y SU POSIBLE DESARROLLO EN CHILE*. UNIVERSIDAD DE CHILE, FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL.
- López, A. (14 de mayo de 2014). *La energía mareomotriz, la energía del mar*. Obtenido de <https://smienergias.wordpress.com/category/energia-mareomotriz/la-energia-mareomotriz/>
- Lunar Energy*. (4 de mayo de 2016). Obtenido de <http://www.lunarenergy.co.uk/>
- Martínez, J. M. (2012). *Estudio de las centrales de aprovechamiento de la energía mareomotriz*. Universidad Politécnica de Catalunya, Expresión Gráfica.
- Mayo, A. H. (2016). Particularidades hidrometeorológicas del litoral Gibara-Playa Guardalavaca. *Revista Cubana de Meteorología*, 18(2), 152-163.
- Mayo, A. H. (2016). Tendencias climáticas de las inundaciones costeras en el litoral Gibara-Playa Guardalavaca, provincia Holguín, Cuba. *Revista de Climatología*, 15, 93-102.
- Montesinos, A. (2016). BOLETÍN INFORMATIVO DIGITAL RENOVABLE.CU. *Energía y tu*, No.49. Obtenido de <http://www.cubaenergia.cu>
- París, M. G. (2013). *Energía Mareomotriz: Tecnologías de extracción*. Pontificia Universidad Católica de Chile, Ingeniería Hidráulica y Ambiental PUC.
- Portal del Ingeniero Ambiental*. (22 de abril de 2016). Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com.2016>
- Rodríguez, E. (14 de abril de 2014). *En construcción -Energía y Electrónica*. Obtenido de <http://www.fierasdelaingenieria.com/las-plantas-de-energia-mareomotriz-mas-grandes-del-mundo/>
- Rodríguez, E. (2014). *En construcción -Energía y Electrónica*.
- SeaPower*. (4 de mayo de 2016). Obtenido de <http://www.seapower.se/>

Subsea oil y gas directory. (4 de abril de 2016). Obtenido de <http://www.subsea.org/>
THE GULF STREAM TURBINE. (4 de abril de 2016). Obtenido de <http://www.gulfstreamturbine.com/wikipedia>. (22 de abril de 2016). Obtenido de <http://www.wikipedia.org>
Wikipedia. (30 de abril de 2016). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_potencial
Wikipedia. (10 de mayo de 2016). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Gibara#Bah.C3.ADa_de_Gibara