

Energía del mar para su integración en la matriz energética del Ecuador

Juan S. Guamán^{1,2} , Juan L. Espinoza³ , Eliseu M. Ribeiro¹ 

¹ School of Technology and Management, Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, Portugal.

² Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (DEET), Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

³ Institute for Systems and Computers Engineering of Coimbra (INESCC), Coimbra, Portugal.

Autores para correspondencia: sebastian.guamanh@ucuenca.ec, 2152195@ipleiria.pt

Fecha de recepción: 25 de agosto de 2017 - Fecha de aceptación: 29 de septiembre de 2017

ABSTRACT

This research aims to identify the different forms of energy of the sea and describe which one is available to be used in Ecuador, using cutting-edge technologies. The possibility of including in the energy matrix of the country the contribution of energy from the marine currents, through an electricity generating plant of 20 MW of power, is shown. This technology is selected based on the technical characteristics appropriate to the national reality to develop the economic-financial analysis of the proposal. It is concluded that a project of this type is feasible, based on the Cromwell current, and its impact on the energy matrix of Ecuador is analysed.

Keywords: Non-conventional renewable energies, energy from the sea, Cromwell marine current, energy matrix of Ecuador, IEE.

RESUMEN

Esta investigación tiene por objetivo identificar las distintas formas de energía del mar y describir aquella que esté disponible para ser aprovechada en el Ecuador, mediante tecnologías de vanguardia. Se muestra la posibilidad de incluir, en la matriz energética del país, el aporte de la energía proveniente de las corrientes marinas, mediante una planta generadora de electricidad de 20 MW de potencia. Se selecciona esta tecnología en base a las características técnicas adecuadas a la realidad nacional, para luego hacer el análisis económico-financiero de la propuesta. Se concluye que es factible un proyecto de este tipo, a partir de la corriente de Cromwell, y se analiza su impacto en la matriz energética del Ecuador.

Palabras clave: Energías renovables no convencionales, energía del mar, corriente marina de Cromwell, matriz energética del Ecuador, IEE.

1. INTRODUCCIÓN

En la última década, el Estado ecuatoriano ha implementado proyectos de generación de electricidad con el fin de obtener soberanía energética y promover la sostenibilidad del país. Sin embargo, con el cambio de la matriz energética, se acrecentó la dependencia en las fuentes hídricas, con la construcción de 8 megaproyectos hidroeléctricos que, juntamente con los ya existentes, aportaron al país el 57.8% de la electricidad generada en el 2016. A pesar de este incremento, la contribución de las termoeléctricas, en base a combustibles fósiles, fue significativa ese año, con casi el 40% de generación, mientras que el espacio ocupado por las energías renovables no convencionales (ERNC) fue solamente del 2.2% (ARCONEL, 2017).

El perfil costanero del país, con su gran extensión de aproximadamente 640 km, motiva la búsqueda de un recurso energético en el Océano Pacífico ecuatoriano, tanto a nivel continental como en el archipiélago de Galápagos. La Figura 1 presenta el mapa político del Ecuador.



Figura 1. Mapa de la República del Ecuador (Skyscrapercity.com, 2017).

En esta investigación se pretende demostrar la factibilidad de implementar proyectos de generación eléctrica a partir de una de las formas energéticas marinas, para ampliar el aporte energético de las tecnologías limpias y reducir la contaminación producida por la termoelectricidad convencional. El objetivo inicial de este estudio es describir el potencial energético marino del Ecuador, analizando las cuatro principales formas energéticas, como son: mareomotriz, undimotriz, eólica en el mar y corrientes marinas. Posteriormente, se identifica la tecnología que se adapta mejor a las características energéticas de la costa ecuatoriana y el lugar propicio donde implementarla. Un tercer objetivo busca realizar el análisis económico-financiero para ejecutar un proyecto de este tipo. Finalmente, se describe el impacto que generaría este proyecto en la matriz energética del Ecuador.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio, en su primera parte, es de tipo exploratorio pues no existe una investigación similar que determine qué tecnología marina es la más adecuada para las condiciones del país. En la segunda parte, se desarrolla una investigación aplicada que propone una tecnología de vanguardia que permita contar con una matriz energética más diversa en el Ecuador. Por su naturaleza, la metodología aplicada se considera cuantitativa, al tener dentro del estudio datos reales y calculados en base a información tomada de fuentes confiables.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La Tabla 1 presenta el análisis realizado a los diferentes parámetros característicos de cada una de las cuatro fuentes energéticas del océano, de donde se concluye que las corrientes marinas, y, en particular, la corriente de Cromwell, o contra-corriente ecuatorial que fluye hacia el este (U.S. Navy Weather Research Facility, 1961), es la que presenta las mejores posibilidades de implementación.

Tabla 1. Características de las formas de energía marina.

Forma energética	Parámetros mínimos requeridos	Parámetros existentes en Ecuador
Mareomotriz	<i>Diferencia entre mareas alta y baja</i> 5 metros	4.27 metros
Undimotriz	<i>Altura significativa de onda (m) - Periodo de repetición (s)</i> 5 metros - 8 segundos	2.14 metros - 13 segundos
Eólica marina	<i>Velocidades de Viento</i> 25 km/h	13 km/h
Corrientes marinas	<i>Velocidad de corriente marina</i> 1 m/s	1.5 m/s

La Corriente de Cromwell o Corriente Sub-superficial Ecuatorial del Pacífico, fue descubierta en 1952 por Townsend Cromwell durante una expedición en el Océano Pacífico en lugares cercanos a las Islas Galápagos, el núcleo o eje principal de este movimiento de masas de agua se encuentra centrado en la línea ecuatorial. Dentro sus principales características físicas se tienen que esta es una corriente muy estrecha, pues circula en un margen de 2 grados tanto al norte como al sur del eje ecuatorial, aparece a los 20 metros de profundidad y desaparece a los 250 metros, pero su velocidad y potencia máxima se halla alrededor de los 100 metros dentro de la superficie. El propósito principal de esta corriente marina es reemplazar las masas de agua y los nutrientes de las mismas, que circulan hacia el oeste del Pacífico y, al ser estrecha, se convierte en una de las más rápidas del mundo, con un promedio de 1.5 m/s y dentro de las de mayor velocidad (Yoshida, 1959; U.S. Navy Weather Research Facility, 1961), superada solamente por la Corriente del Golfo con presencia en Centro América y la Corriente de las Agulhas que circula en el sur de África y que poseen velocidades de 1.8 y 2.5 m/s, respectivamente (Arriaza, Rodas, Lugioyo, & Loza, n.d.).

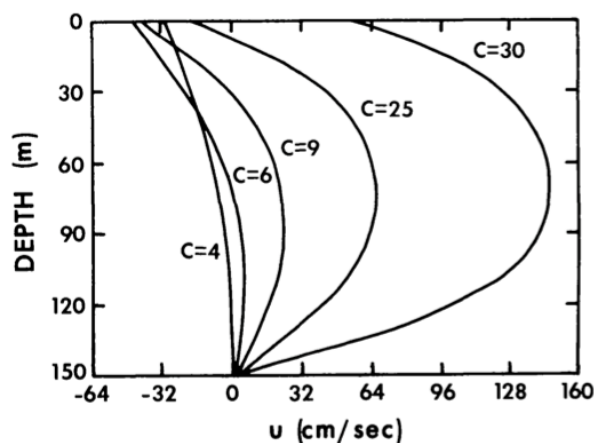


Figura 2. Velocidad de la corriente de Cromwell respecto a la profundidad de medición (Philander, 1980).

Los resultados de la segunda parte de esta investigación son presentados en cinco secciones comprendidas entre la Figura 2 y la Tabla 5. La Figura 2 muestra el potencial energético en términos de velocidad a la que se trasladan las corrientes marinas. En particular, se muestra que la velocidad de

la corriente de Cromwell alcanza los 1.5 m/s a una profundidad de 80 m. Con este valor se considera factible la generación de electricidad, de acuerdo a las tecnologías diseñadas para este fin (Bryden & Couch, 2005) y que se presentan en la siguiente sección. En la Tabla 2 se muestran los parámetros para la selección de la tecnología mediante la cual se obtendrá electricidad a partir de la corriente marina. El criterio que prevalece es la velocidad nominal requerida para que las máquinas entreguen su potencia de diseño. El equipo recomendado en este estudio es el Gen 4 KHPS, de la casa fabricante Verdant Power, que requiere de la menor velocidad respecto a los demás, puede generar electricidad a partir de 1 m/s aunque en términos económicos ocupa el segundo lugar.

Tabla 2. Resumen de características de las tecnologías propuestas.

Tecnología en estudio	Potencia nominal (MW)	Velocidad mínima (m/s)	Velocidad nominal (m/s)	Costo de implementación (MMS\$/MW)	Vida útil (años)
SeaGen	1	1	2.5	3.8	---
Gen 4 KHPS	0.175	1	2	3.77	20
Rotech TT	1	---	2.6	2.14	---
AR 1500 TT	1.5	---	3	7.35	25

Para seleccionar la potencia a implementar con el proyecto, se toma como referencia cuatro termoeléctricas existentes en la zona costanera del Ecuador, donde se cuenta con el potencial energético marino (Tabla 3). Con el proyecto propuesto se busca relevar una de ellas, a fin de obtener la misma cantidad de energía, evitando la quema de combustibles fósiles.

Tabla 3. Resumen de las características de los posibles lugares para implementación del proyecto.

Locación	Potencia instalada (MW)	Distancia a la costa (km)	Distancia marina al proyecto (km)	Combustible
Jaramijó	140	4.5	14	Fuel Oil #6
Manta	20.4	2.27	4	Fuel Oil #6
Miraflores	42	1.51	4	Gas (20 MW) 12 (Fuel Oil #6) 10 (Diesel)
Esmeraldas	132.5	5.36	>24	Diesel Fuel Oil

La elección de la central termoeléctrica Manta, a seis kilómetros de las coordenadas del proyecto, se dio en base a dos parámetros: costo (por transporte de energía a la subestación de esta planta) y aspectos ambientales (Manta trabaja con fuel oil #6 que es el combustible más contaminante de los presentados en la Tabla 3). Para obtener similar cantidad de potencia instalada que la termoeléctrica de Manta es necesario contar en el proyecto propuesto con 115 máquinas Gen 4 KHPS. Una vez que se ha determinado las características técnicas del proyecto, se procede a analizar su factibilidad económica. La Tabla 4 resume los resultados del estudio financiero. Para la obtención de estos valores, se consideraron las actuales condiciones económico-financieras del país (CONELEC, 2013) y un tiempo de vida útil del proyecto de 20 años, como determina el fabricante.

Tabla 4. Resumen de los resultados financieros.

Descripción	Valor
Inversión	\$ 85'000.000
VAN	\$ 40'186.653,49
TIR	11%
PAYBACK	9 años 3 meses aprox.

Finalmente, el impacto en la matriz energética será apreciado mediante el incremento del aporte energético de las ERNC en un 20%, tal como se muestra en la Tabla 5. En la parte ambiental se reduce anualmente 87,921 toneladas de emisiones de CO₂ al evitar la generación de electricidad con la termoeléctrica desplazada. Este valor se obtuvo considerando un factor de emisión de 0.7079 toneladas de CO₂ por cada megavatio hora generado (Haro & Oscullo, 2016) y una producción anual de la termoeléctrica de 124,200 MWh al año, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Balance energético del Ecuador 2016 y resultados con la implementación de la planta propuesta.

RNC	Hidráulica	Térmica	Interconexión	Total
Balance energético del Ecuador en 2016 (MW, %)				
612.11	15833.84	10867.91	81.66	27395.52
2.23%	57.8%	39.67%	0.30%	100%
Energía generada por la planta propuesta (MW, %)				
	124.2	0.45%		
Nuevo escenario con la implementación de la planta proyectada (MW, %)				
736.31	15833.84	10731.29	81.66	27395.52
2.68%	57.8%	39.22%	0.30%	100%

4. CONCLUSIONES

Este estudio exploratorio muestra que existe potencial energético en la sección de océano perteneciente al Ecuador. Es factible un proyecto de generación de electricidad de al menos 20 MW, a partir de la corriente de Cromwell, pues los parámetros técnico-económicos así lo indican. De esta forma, la energía del mar se convierte en una vía adicional hacia el objetivo nacional de contar con una matriz de generación de electricidad más limpia. No existe un estudio similar en el país, pero éste puede ser el inicio para investigar nuestros recursos marinos.

Además, la presencia de la corriente marina en el eje ecuatorial involucra energéticamente a las Islas Galápagos, específicamente a la Isla Isabela. Sin embargo, en consideración de dos factores, se concluye que todavía no se puede desarrollar proyectos energéticos en esta región ecuatoriana. El primero es el impacto ambiental que se generaría durante la instalación en esta zona de alta diversidad ecosistémica a nivel mundial, y el segundo es que la demanda energética de la zona urbana de la isla además de ser pequeña dista considerablemente del sector donde se podría implementar un proyecto energético marino y los gastos en transmisión de energía incrementarían los costos de este.

También es importante destacar que la tecnología propuesta no se limita a la implementación en océanos, de hecho, las primeras pruebas de las maquinarias propuestas se realizaron en un río ubicado en New York, Estados Unidos. Esta característica deja abierta la posibilidad de realizar estudios de implementación en movimientos de agua como bahías o ríos de considerable caudal dentro del Ecuador como el Río Guayas y sus afluentes, el cual tiene gran demanda de energía eléctrica en su cuenca.

AGRADECIMIENTO

Se agradece a la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC) y a la Escuela de Tecnología y Gestión del Instituto Politécnico de Leiria por el apoyo brindado para realizar este estudio.

REFERENCIAS

- ARCONEL. (2017). *Reportes Estadísticos*. Retrieved from <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/reportes-estadisticos/>
- Arriaza, L., Rodas, L., Lugioyo, M., Loza, S. (n.d.). *Modelación de las corrientes marinas en presencia de frentes fríos y su relación con la deriva de organismos en playas del este*. Instituto de Oceanología, 10 p. Available at [https://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/3568/054%20MODELACI%c3%93N%20DE%20ESCENARIOS%20DE%20CORRIENTE S...pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/3568/054%20MODELACI%c3%93N%20DE%20ESCENARIOS%20DE%20CORRIENTE%20S...pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Bryden, I. G., Couch, S. J. (2005). ME 1 - Marine energy extraction: tidal resource analysis. *Renewable Energy*, 31(2), 133-139. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.08.012>
- CONELEC. (2013). *Regulación No. CONELEC - 001/13, Pub. L. No. 001/13, § 6, 351 Código Orgánico de la Producción*. Available at http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/10/Codificaci%C3%B3n-Regulacion-001_13-Energias-Renovables_.pdf, 23 pp; y <https://www.corteconstitucional.gob.ec/sentencias/relatoria/relatoria/fichas/001-13-SIN-CC.pdf>, 13 pp
- Haro, L., Oscullo, J. (2016). Factor anual de emisión de CO₂ producido por el parque generador del sistema nacional interconectado del Ecuador, mediante la aplicación de la metodología de la convención marco sobre el cambio climático UNFCCC, para el periodo 2009-2014. *Revista Politécnica*, 37(1), 1-7. Available at https://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen37/tomo1/Factor_Anuar_de_Emision.pdf
- Philander, S. G. H. (1980). The equatorial undercurrent revisited. *Annual Reviews Earth Planet*, 8, 191-204.
- Skyscrapercity.com. (2017). *ECUADOR | Litoral e Insular*. Retrieved from <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1763572>
- U.S. Navy Weather Research Facility. (1961). *The Cromwell Current*. Report NWRP 36-0961-050, 11 p. Norfolk, VA: Navy Weather Research Facility. Available at <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/269590.pdf>
- Yoshida, K. (1959). A theory of the Cromwell current and of the equatorial upwelling. *Journal Oceanographic*, 15(4), 159-170. <https://doi.org/10.5928/kaiyou1942.15.159>