



ASOCIACIÓN INTERAMERICANA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL –
AIDIS

XXXII CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

07 al 11 de Noviembre del 2010

Bávaro-Punta Cana, República Dominicana.

El cumplimiento de las metas del milenio en la búsqueda de la universalización de los servicios.

VIABILIDAD DE LA CONVERSIÓN DE ENERGÍA OCÉANO TERMAL (OTEC) PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE Y AGUA POTABLE EN PAÍSES EN DESARROLLO

Dirección de contacto: José A. Martí, Apartado Postal 191303, San Juan, Puerto Rico
00919-1303, email: jmarti@offinf.com; tel.1-787-753-6575; fax 1-787-753-0396

Tema VI: Producción Limpia (energías renovables).

VI-Martí-1

*Feasibility of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) for Production
of Renewable Energy and Drinking Water in Developing Countries.*

José A. Martí¹ Manuel A.J. Laboy² Orlando E. Ruiz³



Abstract

Ocean thermal energy conversion (OTEC) is a baseload renewable energy source that uses temperature difference between surface and deep water in tropical oceans to generate electricity and, if desired, potable water. This alternate energy source does not depend on fossil fuels, is not vulnerable to world market fluctuations, and has significantly less environmental impacts than conventional energy sources.

The idea was conceived during the 19th century by Jules Verne, and later formally postulated by French physicist Jacques Arsène D'Arsonval. In 1930, the first plant was built in Cuba by French engineer Dr. Georges Claude. The energy crisis of the mid-1970's, resulted in substantial amount of research on OTEC, undertaken by the United States, France, India, Japan and other countries during the period from 1979 to 1998. Low oil prices and competition from other energy sources caused governments and investors to lose interest in OTEC during the period from the mid 1980's to 2007.

Due to the recent high costs of fossil fuels and to concern about their potential effects on global climate, interest in OTEC has resurged. Presently, several groups are working to implement OTEC on a commercial scale. Due to its ability to produce electricity and, if desired, potable water from purely local sources at fixed cost, OTEC may be particularly attractive for developing countries in tropical regions. This paper

¹Offshore Infrastructure Associates, Inc. (OIA), San Juan, Puerto Rico. jmarti@offinf.com. El Ing. Martí tiene sobre 30 años de práctica en planificación, ingeniería ambiental y gestión de proyectos. Está envuelto en OIA desde 2005.

²Offshore Infrastructure Associates, Inc., San Juan, Puerto Rico

³Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez.

presents methodology to assess the viability of OTEC as a practical alternative for developing countries.

VIABILIDAD DE LA CONVERSIÓN DE ENERGÍA OCÉANO TERMAL (OTEC) PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE Y AGUA POTABLE EN PAÍSES EN DESARROLLO

Resumen

La conversión de energía océano termal o energía termoceánica, ("OTEC", por sus iniciales en inglés) usa la diferencia entre las capas calientes de la superficie y el agua fría en el fondo del mar para generar energía y, si se desea, agua potable en forma continua. La misma no depende de combustibles o energía nuclear, no es vulnerable a fluctuaciones en los mercados mundiales y tiene impactos ambientales menores que las fuentes de energía convencionales. La idea fue concebida por Julio Verne en 1869, y postulada formalmente por el físico francés Jacques Arsène D'Arsonval en 1881. La primera planta fue construida en Cuba en el 1930, por el ingeniero francés Georges Claude en la bahía de Matanzas, Cuba. La crisis del petróleo de la década de 1970 hizo resurgir el interés en OTEC. Entre finales de la década de 1970 y principios de la de 1990, se realizaron investigaciones por entidades de Estados Unidos, Japón, Francia y la India, entre otros. La implementación comercial no se llegó a realizar porque el petróleo llegó a niveles muy bajos en la década de 1990.

El reciente aumento en los costos del petróleo, la posibilidad que la producción del mismo esté llegando a un máximo (pico de Hubbert), y la relación entre las emisiones de carbono y el cambio climático global, han hecho resurgir el interés en OTEC. Debido a la capacidad de producir electricidad y, si se desea, agua potable, de forma continua y a un costo fijo, OTEC puede ser una alternativa viable para países tropicales en desarrollo, donde los altos costos de energía son particularmente adversos. Este trabajo presenta criterios técnicos, económicos y ambientales para determinar la viabilidad del establecimiento de sistemas OTEC en países en desarrollo

Palabras clave: energía, OTEC, termoceánica, Hubbert, renovable, calentamiento, agua potable

Introducción

La energía océano termal (OTEC) es una tecnología de energía renovable de carga base que aplica a zonas donde la diferencia en temperatura entre la superficie caliente del mar y el agua fría profunda es igual o mayor de 20°C. **Ver la figura 1.**

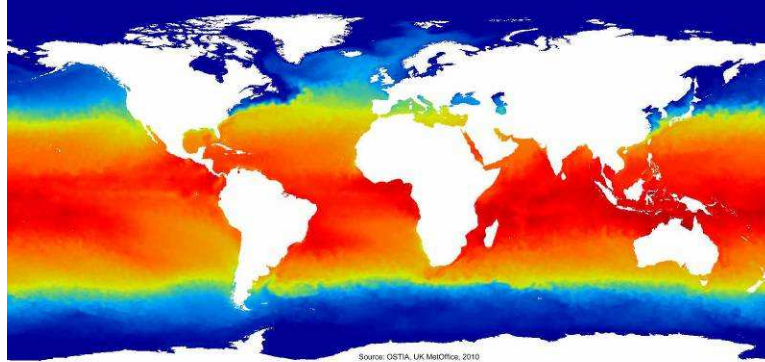


Figura 1- Las zonas rojas y naranjas son aptas para la implementación de OTEC

(fuente: programa OSTIA, Oficina Meteorológica del Reino Unido 2010)

En esencia, OTEC recupera la energía solar absorbida por el océano. Una de las grandes ventajas de OTEC es que permite, si se desea, la co-producción de hasta 2 millones de litros diarios (500 mil galones por día) de agua potable por cada megavatio de electricidad generada. Debido a que OTEC no utiliza combustible fósil, la electricidad producida tiene costo fijo y no es susceptible a la volatilidad de costo que afecta otras fuentes de energía tales como el petróleo, el carbón y el gas natural. Más aún, el impacto ambiental es menor que otras fuentes de energía ya que OTEC no genera productos de combustión, ni residuos radioactivos o peligrosos. Esto es particularmente relevante hoy en día, en vista de la relación entre las emisiones de carbono y el calentamiento global.

El principio de OTEC

Un sistema OTEC es un motor térmico, en principio similar a los usados en una planta termoeléctrica, donde el calor se usa para vaporizar un fluido y mover un generador. En el caso de OTEC, en lugar de combustibles, se usa el diferencial en temperatura entre la superficie y el fondo del mar para evaporar un fluido termal (generalmente amoniaco). El sistema OTEC mas sencillo es el de **ciclo cerrado**, ilustrado en la **Figura 2**, que se usa para producir electricidad solamente.

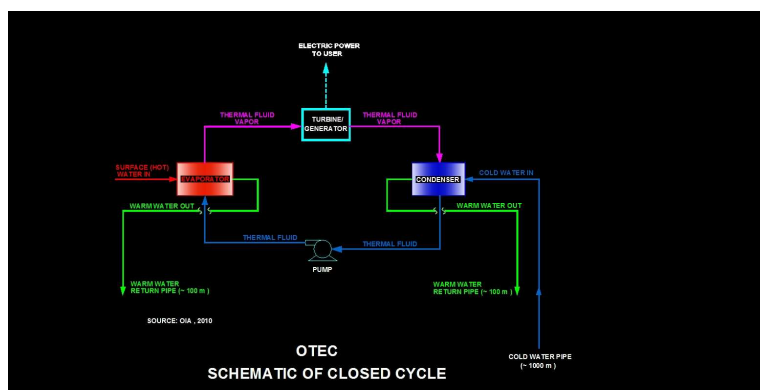


Figura 2: esquemático del ciclo cerrado de OTEC

(fuente: OIA, 2010)

Existen otras modalidades, tales como el **ciclo abierto**, donde se evapora directamente el agua del mar y se usa para mover el generador, lo que permite la co-generación de agua desalada. Existe también un **ciclo híbrido**, que combina el ciclo cerrado y el

abierto. En los tres casos, es necesario obtener agua fría profunda del mar para condensar el fluido térmico. El agua fría está normalmente disponible a cerca de 1,000 metros de profundidad, donde la temperatura se mantiene a unos 4 °C ó menos.

Historia

El concepto de OTEC fue propuesto inicialmente por Julio Verne en su novela “Veinte Mil Leguas de Viaje Submarino”, publicada en Francia en el 1869. El físico francés Jacques Arsène D’Arsonval propuso formalmente la idea en el 1881. Su discípulo, el ingeniero y empresario francés Georges Claude construyó en 1930 una planta de OTEC de ciclo abierto en la Bahía de Matanzas, Cuba, la que operó hasta que fue destruida por una tormenta. La crisis energética de la década de 1970 motivó al gobierno de los Estados Unidos a involucrarse en el estudio de OTEC. De 1975 a 1990, se efectuaron múltiples programas de investigación y desarrollo que demostraron la viabilidad técnica y comercial de OTEC. El Recinto de Mayagüez de la Universidad de Puerto Rico (RUM) y la Autoridad de Energía Eléctrica (AEE) participaron en varios de estos estudios, donde se identificaron localizaciones potenciales para plantas OTEC en Puerto Rico. Los planes originales del Departamento de Energía norteamericano contemplaban construir entre 20 y 40 plantas OTEC para mediados de la década de 1990. Sin embargo, nunca se llegaron a construir plantas capaces de generar electricidad a gran escala. Otros países también efectuaron estudios sobre OTEC. Entre los más importantes, se encuentran los efectuados en 1980-82 por Toshiba/Tokio Electric Power en la República de Nauru, y los efectuados en la India entre 1980 y 1990. La principal razón por la que se detuvo la implementación de OTEC fue económica. El barril de petróleo fue bajando de precio, llegando a niveles cercanos a los \$10 en la década de 1990.

¿Por qué ahora?

Recientemente, ha resurgido el interés en OTEC, debido a varias causas. El precio del petróleo ha llegado a \$148 el barril en el 2008. Hay sospechas de que las reservas mundiales han comenzado a agotarse, lo que los economistas llaman la teoría del pico de Hubbert. Todo aumento en el costo del petróleo genera un alza en la demanda y el costo de otros combustibles. Aún más grave es la contribución al calentamiento global de las emisiones provenientes de combustibles. Otro factor importante es el llamado “*Nexo agua-energía*”. Para producir energía se requieren grandes cantidades de agua y para producir y distribuir agua potable se requieren grandes cantidades de energía. Esto lleva algunos analistas a considerar que el agua puede ser una de las principales fuentes de conflictos en el Siglo XXI. Por esto, OTEC resulta altamente pertinente hoy en día, particularmente para países en desarrollo que dependen del petróleo u otras fuentes de energía importadas. En estos casos, OTEC puede ser comercialmente viable hoy, sin la necesidad de subsidios gubernamentales. **La figura 3** ilustra esquemáticamente una planta OTEC propuesta para Puerto Rico.

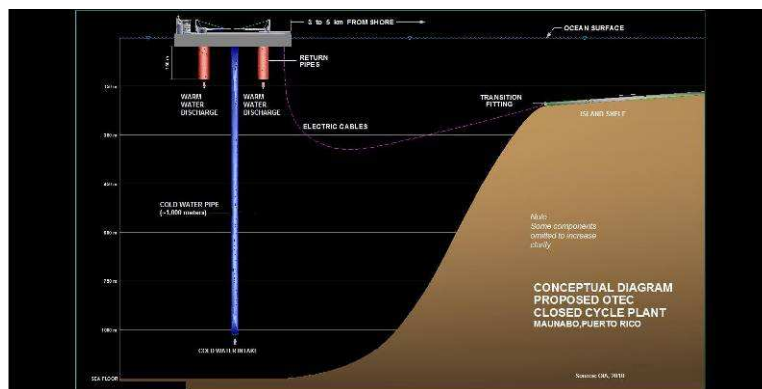


Figura 3: Esquemático de planta OTEC propuesta para Puerto Rico

(fuente: OIA, 2010)

Viabilidad de OTEC

Actualmente, OTEC es posible construir una planta OTEC usando componentes (intercambiadores de calor, turbinas, bombas, cables submarinos, etc.) y tecnologías (plataformas, tuberías, etc.) que están comercialmente disponibles y son usados en otras industrias. La viabilidad técnica no es un problema.

Los factores que hacen viable a OTEC son económicos y ambientales, siendo los más críticos los de índole económica. En esencia, para que un proyecto de OTEC sea viable comercialmente, es necesario poder vender la energía generada por la planta que cubran los costos y provean una ganancia razonable a los inversionistas. La viabilidad económica es la clave para la comercialización de OTEC.

Para que el proyecto sea comercialmente viable, el costo de la energía generada por otras fuentes debe ser mayor al de la energía generada por OTEC. Debido a que el costo capital de una planta OTEC es alto, esto necesariamente implica que el término de financiamiento y las tasas de interés son factores muy importantes para hacer viable un proyecto específico. Además de esto, la existencia de créditos o cargos por las emisiones de carbono (un modo de cuantificar los impactos ambientales) pueden ser importantes.

En todo ejercicio de análisis económico para OTEC es importante tener en cuenta la disponibilidad y los factores de capacidad de OTEC y como estos comparan con otras tecnologías. A diferencia de la mayoría de las tecnologías renovables, OTEC genera energía de forma continua, con factores de capacidad del 85% o más. Estos factores de capacidad son sólo comparables al uso de combustibles y a la energía nuclear. Los factores de capacidad de otras tecnologías renovables están típicamente en la gama de 25% a 40%. Incluso la energía hidroeléctrica convencional rara vez tiene factores de capacidad de más de 60%, debido a las variaciones en caudal de los cuerpos de agua.

Los costos capitales de las plantas OTEC fabricadas con componentes y técnicas disponibles son relativamente altos, en comparación con plantas de energía convencionales. Se estima que el costo capital de una central eléctrica de ciclo cerrado OTEC de unos 100 MWe es del orden de \$ 6.500 a \$ 8.000 / kWe, dependiendo de ciertas condiciones locales y de las características del proyecto. Esto se compara con costos de capital estimados en el orden de \$ 7.000 / kWe o más para la energía nuclear [13], y aproximadamente \$ 2.200 kWe/ de las plantas tradicionales de combustible fósil, con costes de capital mucho mayor para las nuevas plantas fósiles que incorpora la captura y secuestro de carbono. [14].

Sin embargo, a diferencia de la mayoría de otras tecnologías de generación continua, OTEC no requiere combustible, no produce emisiones y no genera residuos, como cenizas o materiales radiactivos. Sin embargo, debido a sus costos de capital relativamente elevado, ciertas condiciones específicas del caso debe estar presente para OTEC ser comercialmente viable. La primera es que las tecnologías de generación capaz de producir energía continuamente a un costo más bajo que OTEC no deben estar disponible en la ubicación propuesta. Por ejemplo, OTEC, no tiene sentido cuando la energía hidroeléctrica esté disponible. Además, (1) el recurso termal debe estar presente de forma continua (gradiente de temperatura igual o superior a 20 ° C durante todo el año), (2) las aguas profundas deben estar relativamente cerca de la costa, (3) debe existir un mercado para la producción de la planta, y (4) el costo de la electricidad generada por OTEC debe ser competitivo con los costos de generación de energía eléctrica por los métodos usados actualmente. Estas condiciones se dan en lugares desarrollados que consumen grandes cantidades de energía de combustibles fósiles, tales como Puerto Rico, la República Dominicana, Cuba y Hawaii, y también en las Antillas Menores, y las Islas del Pacífico. Un análisis mas detallado de la viabilidad económica de OTEC se presenta en la referencia 15.

Los aspectos ambientales que favorecen el uso de OTEC pueden también ser importantes. Sin embargo, la experiencia de los autores indica que los políticos tienden a favorecer las opciones con aparentes menor costo inmediato, a menos que se utilicen mecanismos para cuantificar los impactos ambientales en términos económicos. Esta fue probablemente la razón principal por la que el interés mundial por OTEC disminuyó cuando los precios del petróleo cayeron a finales de los años 1980 y 1990. Los impuestos al carbono o créditos de energía renovable son algunas de las formas en que los costos ambientales se puede cuantificar y considerar en un análisis económico.

En resumen, aun cuando las circunstancias son favorables para los OTEC, la tecnología tiene que competir con otras fuentes de energía. Para que sea económicamente viable, una planta OTEC debe ser capaz de entregar energía a los consumidores a un costo similar o menor que otras fuentes. Esto puede ocurrir en lugares tales como Puerto Rico, Hawaii, la República Dominicana, Haití, Cuba, entre otros.

Puede obtenerse más información sobre OTEC, incluyendo múltiples publicaciones de diversas fuentes, accediendo al portal: www.offinf.com.

Referencias

- [1] Cohen, R.. *Energy from the Ocean. Phil. Transactions*, Royal Society. London. A 307: 405-437.1982
- [2] Avery, W.H. Wu, C. *Renewable Energy from the Ocean, A Guide to OTEC*. Oxford University Press. New York, NY.1994
- [3] Avery, W.H. Berl, W.G. *Solar Energy from the Tropical Oceans*. Issues in Science and Technology. Winter 1997.
- [4] Claude, G. *Power from the Tropical Seas*. Mechanical Engineering. Volume 52, No.12, December, 1930
- [5] Brown, M.G. Gauthier, M. Meurville, J-M. 2002. *George Claude's Cuban OTEC Experiment: a Lesson of Tenacity for Entrepreneurs*. IOA Newsletter. Winter2002.

- [6] Johnson, M. S. *Shamcher: A Memoir of Bryn Beorse and his Struggle to Introduce Ocean Energy to the United States*. Private Publication 2005
- [8] Daniel, T. *A Brief History of OTEC Research at NELHA*. Natural Energy Laboratory of Hawaii, 1999.
- [9] U.S. Energy Information Agency (EIA) *Landed Costs of Crude Oil Imports From Selected Countries, 1973-2008*. 2008
- [10] Hubbert. M.K. *Energy from Fossil Fuels* in Science, Feb. 4, 1948.
- [11] U.S. Department of Energy. *Energy Demands on Water Resources: Report to Congress on the Interdependency of Energy and Water*, December 2006.
- [12] Plocek, T.J. Laboy, M., Marti, J. *Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC): Technical Viability, Cost Projections and Development Strategies*, Proceedings, 2009 Ocean Technology Conference, Houston, Texas.
- [13] U.S. Energy Information Agency (EIA) *Landed Costs of Crude Oil Imports From Selected Countries, 1973-2008*. 2008
- [14] Tellado, R. *En la mira la costa de Maunabo*. El Nuevo Día, San Juan, Puerto Rico, 24 de junio de 2008.
- [15] Marti, J.A. Plocek, T.J. Laboy, M.A; Ruiz, O.E. *Ocean Thermal Energy Conversion: Strategies for System integration and implementation using commercially available components and technology*, Proceedings, 2010 Ocean Technology Conference, Houston, Texas.
- [16] Marti, J.A. Laboy, M.A; Ruiz, O.E. *Commercial Implementation of Ocean Thermal Energy Conversion: Using the ocean for commercial generation of baseload renewable energy and potable water*. Sea Technology Journal, April, 2010.