

ESTIMADO GRUESO DE ENERGÍA CINÉTICA EN LAS CORRIENTES MARINAS DE LA ENSENADA DE LA PAZ

Dr. Alfredo Bermúdez Contreras
Ing. Manuel Oseguera Cházaro
Dr. Alfredo Flores Irigollen

Profesores Investigadores
Departamento Académico de Ingeniería en Pesquerías
de la Universidad Autónoma de Baja California Sur
Contacto: abermudez@uabcs.mx

RESUMEN

Este trabajo propone y aplica una metodología sencilla, rápida y que requiere poca información para calcular una primera aproximación de la energía cinética presente en las corrientes marinas generadas por las mareas en la ensenada de La Paz, Baja California Sur, México. El valor máximo de energía cinética obtenido para una marea del año de 2013 fue de 20 GJ. La metodología propuesta utiliza el área de la ensenada, el rango de cada marea durante el año y una sección transversal simplificada del canal de entrada y salida de la ensenada. Los resultados obtenidos son satisfactorios como primera aproximación e indican la existencia de un potencial energético importante que amerita la realización de análisis más detallados con modelos hidrodinámicos refinados para conocer el potencial energético con mejor precisión.

Palabras clave: energía renovable, corriente, potencial, metodología, marea.

ABSTRACT

This work proposes and applies a simple and fast methodology that requires little information to calculate a first approximation of the kinetic energy present in tidal currents in the lagoon of La Paz in the state of Baja California Sur, Mexico. The maximum kinetic energy value found for a single tide during 2013 equals 20 GJ. The methodology proposed works with the surface area of the lagoon,

the range of every tide in the year and a simplified cross section of the canal that feeds the lagoon. The results obtained work well as a first approximation and indicate that there is an important potential that demands more detailed analyses with refined hydrodynamic models in order to assess the kinetic energy potential with greater precision.

Key words: renewable energy, current, potential, methodology, tide.

INTRODUCCIÓN

Baja California Sur (BCS) es el estado con el litoral más extenso de México. Al tener acceso tanto al Mar de Cortés como al Océano Pacífico, la posibilidad de encontrar fuentes de energía renovable originadas en el mar parece lógica, sin embargo, aun cuando existen algunos trabajos e investigaciones en curso sobre estas fuentes de energía en México (Alcocer & Hiriart, 2012; Carbajal & Backhaus, 1998; Hiriart Le Bert, 2009; IEA OES-IA, 2009), los potenciales energéticos marinos específicos para BCS a partir del oleaje, corrientes, mareas y diferencias de temperatura o salinidad han sido poco estudiados.

Para el caso de la ensenada de La Paz (EDLP) en BCS, también conocida como Laguna de Aripez, es importante mencionar que aunque la dinámica de corrientes ha sido estudiada y modelada para otros fines (Cervantes-Duarte

& Guerrero-Godínez, 1988; González-Orduño & Jiménez-Illescas, 1998), no lo ha sido para evaluación de potenciales energéticos. El presente trabajo propone y aplica una metodología para ofrecer un primer estimado rápido de forma gruesa del potencial energético que podría encontrarse en las corrientes marinas generadas por mareas en la EDLP.

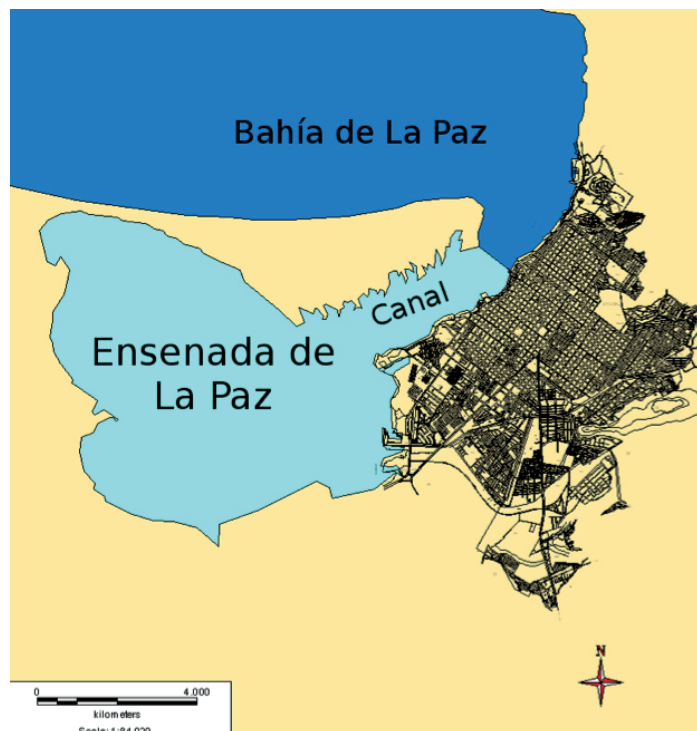
Las mareas tienen su origen en la interacción gravitacional del sistema Tierra-Luna-Sol y se perciben como un cambio cíclico y altamente predecible de nivel en el mar (Chen, Liu, & Hsu, 2013; Johnstone, Pratt, Clarke, & Grant, 2013; Rourke, Boyle, & Reynolds, 2010). Esto implica el movimiento de grandes masas de agua e involucra altas cantidades de energía.

Una forma de aprovechar el potencial energético de las mareas ha sido mediante la construcción de embalses con compuertas que permitan controlar el paso de agua marítima de un lado a otro del embalse. Estos esquemas crean una diferencia en el nivel de agua a ambos lados del embalse lo cual se aprovecha para generar electricidad mediante turbinas similares a las usadas en la generación hidroeléctrica; sin embargo, su uso puede tener consecuencias significativas en los ecosistemas marinos locales dado que afectan en gran medida los patrones naturales de flujo de materiales y organismos; además de su elevado costo de construcción (Elliot, 2012).

Una alternativa de menor impacto (Chen et al., 2013) para extraer energía de las mareas es a través de las corrientes que se crean por la variación de nivel del mar. Si bien en mar abierto las velocidades de estas corrientes no son muy altas, cuando las corrientes encuentran restricciones topográficas tales como canales angostos y/o someros o circulaciones alrededor de islas, las velocidades de las corrientes se intensifican (Adcock & Draper, 2014; Elliot, 2012). Este hecho facilita la extracción de energía de las corrientes mediante dispositivos que trabajen con la energía cinética de las mismas (ver Rourke et al., 2010). En la EDLP se tiene un ejemplo del fenómeno de intensificación de la velocidad de corrientes marinas derivadas de mareas al pasar por el canal natural que existe frente a la ciudad y que es la única entrada (y salida) de agua (ver Figura 1).

Sin embargo, antes de planear cualquier proyecto de aprovechamiento, se requiere estudiar el potencial de los sitios propuestos, la electricidad que podría generarse mediante el uso de algún dispositivo en particular, e incluso el efecto de la interacción entre dispositivos. Estos estudios requieren modelos muy detallados y costosos (Hammar, Ehnberg, Mavume, Francisco, & Molander, 2012;

Jo, Lee, Rho, & Lee, 2014; Li, Lence, & Calisal, 2011). Un método rápido y de bajo costo a manera de prefactibilidad podría ser muy útil para justificar estudios más detallados.



MATERIALES Y MÉTODO

Para estimar la energía cinética de las corrientes en la EDLP se estudió la variación de mareas durante un año mediante una metodología sencilla, rápida, de bajo costo y que requiere de pocos datos. En general, esta metodología consiste en a.) Determinar el rango de cada marea durante el año, b.) Calcular la cantidad de agua movida durante cada marea, c.) Estimar velocidades promedio del agua y d.) Calcular la energía cinética involucrada en cada marea. Así, se describen las fases de aplicación:

- I. Para cada marea i , el rango ascendente o descendente (Rim) y su duración (Dim) se calculó a partir de datos del nivel del mar para cada hora del año de 2013. Estos datos se obtuvieron mediante el software MAR V1.0 2011 de Juan I. González/CICESE.
- II. Posteriormente, con imágenes satelitales obtenidas mediante sistemas de información geográfica (SIG) se determinó el área de la EDLP (A_e) resultando 52.10 km². La multiplicación de Rim por A_e resultará en el volumen de agua que entró o salió de la EDLP durante cada marea (Via). Al dividir Via entre Dim se obtienen los flujos promedio (Fim).
- III. Usando SIG también se determinó el ancho del canal

que alimenta la EDLP (Bc) en su parte más angosta. Este canal es de aguas someras y en el punto de máxima profundidad (Pm) alcanza hasta 10 m (Sainz-Hernández (1984) vía Cervantes Duarte & Guerrero Godínez (1988)). Con esto se estimó el área de la sección transversal (St) del canal en su parte más angosta asumiendo una geometría de triángulo invertido de 1 km de base por 10 m de altura, lo cual resulta en 5000 m². Así, dividiendo Fim entre St se obtienen velocidades promedio (Uim) del agua durante cada marea.

- IV. Finalmente, conociendo la densidad del agua de mar (ρ_m), la energía cinética (Eic) correspondiente a cada marea se calcula como:

$$E_c^i = 0.5 V_m^i * P_m * (U_m^i)^2$$

RESULTADOS

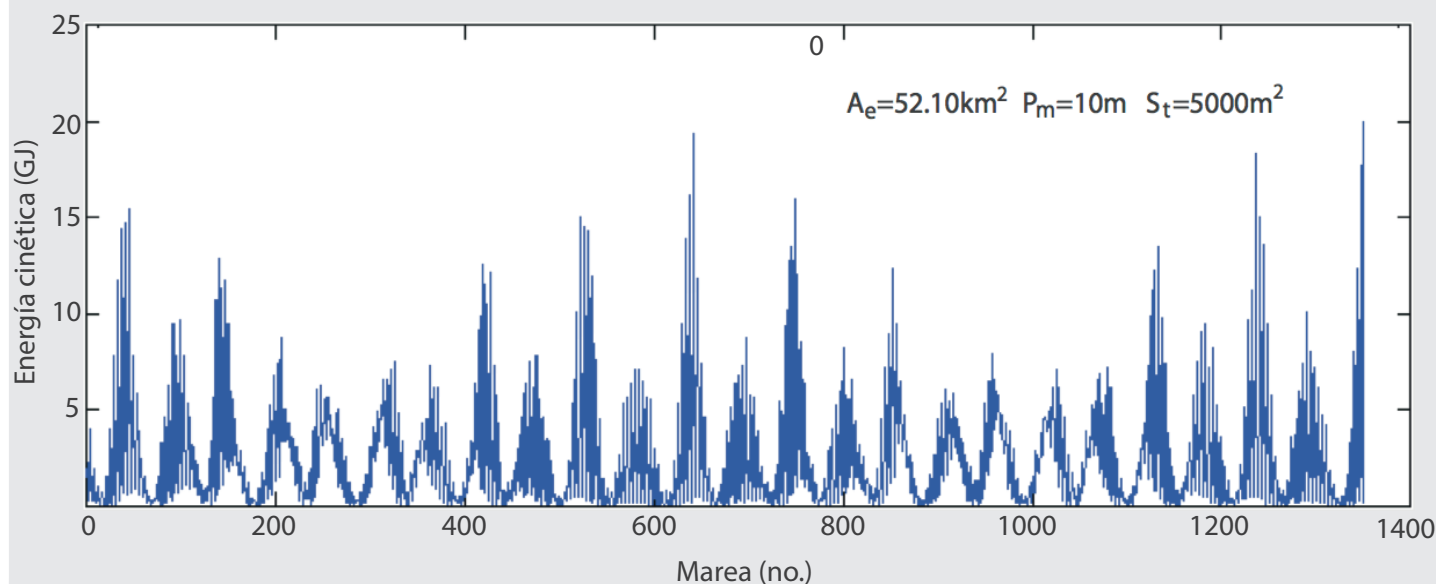
Con esta metodología se encontraron 1349 eventos de marea con rangos de variación de nivel de hasta 1664 mm, velocidades del agua de hasta 0.68 m/s y con valores de energía cinética de hasta 20.06 GJ (ver Figura 2). Como referencia, los valores de velocidad obtenidos con la metodología propuesta son comparables (mismo orden de magnitud) a mediciones reales hechas en zonas cercanas a la EDLP (Zaytsev, Rabinovich, Thomson, & Silverberg, 2010).

CONCLUSIONES

La metodología propuesta es sencilla, rápida y requiere de pocos datos para su aplicación. Los valores de energía cinética obtenidos con esta metodología (hasta 20.06 GJ por evento) sugieren que existe un potencial energético importante en la EDLP que amerita un estudio más detallado. A pesar del valor de la metodología propuesta y de los resultados obtenidos, debe tenerse claro que los valores de velocidad calculados son promedios para cada evento de marea y por tanto no son representativos de condiciones puntuales. Por ejemplo, la velocidad del agua marítima variará conforme la marea progresa y no será la misma cerca de las orillas del canal que en la parte de mayor profundidad. Asimismo, la velocidad también variará entre el fondo y la superficie. Por ello, los resultados obtenidos deben considerarse solamente como un estimado grueso o primera aproximación del potencial de energía cinética. Para obtener datos más precisos con evoluciones espacio-temporales de mayor resolución es necesario utilizar modelos hidrodinámicos detallados que incorporen estas y otras consideraciones tales como perfiles batimétricos finos.

A pesar de las simplificaciones de la metodología, esta ha sido útil para obtener estimados gruesos del potencial de energía cinética de las corrientes marinas causadas por mareas en la EDLP y puede ser aplicada con facilidad a otros cuerpos de agua con condiciones similares.

Figura 2. Energía cinética para cada marea del año 2013



BIBLIOGRAFÍA

- Adcock, T. A. A., & Draper, S. (2014). Power extraction from tidal channels – Multiple tidal constituents, compound tides and overtides. *Renewable Energy*, 63(0), 797–806.
- Alcocer, S. M., & Hiriart, G. (2012). Ocean energy in Mexico - Recent developments. Retrieved from www.ocean-energy-systems.org
- Carbajal, N., & Backhaus, J. O. (1998). Simulation of tides, residual flow and energy budget in the Gulf of California. *Oceanologica Acta*, 21(3), 429–446.
- Cervantes-Duarte, R., & Guerrero-Godínez, R. (1988). Variación espacio-temporal de nutrientes en la ensenada de La Paz, B.C.S., México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 15(2), 129–142.
- Chen, W.-B., Liu, W.-C., & Hsu, M.-H. (2013). Modeling assessment of tidal current energy at Kinmen Island, Taiwan. *Renewable Energy*, 50(0), 1073–1082.
- Elliot, D. (2012). Tidal Power. In G. Boyle (Ed.), *Renewable energy - Power for a sustainable future* (3rd ed.). Oxford University Press.
- González-Orduño, A., & Jimenez-Illescas, Á. (1998). Simulación Hidrodinámica de Cuerpos Costeros Utilizando un Modelo de Diferencias Finitas en Cómputo de Alto Rendimiento para su Solución. In *Memorias del Congreso General de Cómputo cómputo.98@mx*, Noviembre 1998.
- Hammar, L., Ehnberg, J., Mavume, A., Francisco, F., & Molander, S. (2012). Simplified site-screening method for micro tidal current turbines applied in Mozambique. *Renewable Energy*, 44(0), 414–422.
- Hiriart Le Bert, G. (2009). Potencial energético del Alto Golfo de California. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 61(1), 143–146.
- IEA OES-IA. (2009). *OES-IA annual report 2009*. (A. Brito-Melo & J. Huckerby, Eds.). OES-IA.
- Jo, C.-H., Lee, J.-H., Rho, Y.-H., & Lee, K.-H. (2014). Performance analysis of a HAT tidal current turbine and wake flow characteristics. *Renewable Energy*, 65(0), 175–182.
- Johnstone, C. M., Pratt, D., Clarke, J. A., & Grant, A. D. (2013). A techno-economic analysis of tidal energy technology. *Renewable Energy*, 49(0), 101–106.
- Li, Y., Lence, B. J., & Calisal, S. M. (2011). An integrated model for estimating energy cost of a tidal current turbine farm. *Energy Conversion and Management*, 52(3), 1677–1687.
- Rourke, F. O., Boyle, F., & Reynolds, A. (2010). Marine current energy devices: Current status and possible future applications in Ireland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3), 1026–1036.
- Sainz-Hernández, E. (1984). *Transporte de agua en la Ensenada de La Paz, B.C.S., México*. UNAM.
- Zaytsev, O., Rabinovich, A. B., Thomson, R. E., & Silverberg, N. (2010). Intense diurnal surface currents in the Bay of La Paz, Mexico. *Continental Shelf Research*, 30(6), 608–619.