

Potencial de mareas para la generación de energía mareomotriz en el golfo de California, México

Manuel Alberto de la O Peralta¹
Paola Vasconcelos Ricardez²
Luis Emilio Ventura Jerónimo³
Nahum Nolasco Caba⁴

RESUMEN

En México, la alta demanda de energía es un tema que ha dado de qué hablar en los últimos años, por lo cual en la búsqueda de nuevas alternativas de generación de energía se ha demostrado que la energía mareomotriz permite aprovechar el movimiento de las mareas para la generación de energía eléctrica. Este artículo pretende demostrar que, en zonas del golfo de California como San Felipe y Santa Rosalía es posible la implementación de la energía mareomotriz. A través de revisiones bibliográficas se obtuvo información sobre los factores ambientales de San Felipe, ubicado en Baja California y Santa Rosalía en Baja California Sur, ya que estas zonas cuentan con potencial para un desarrollo energético mareomotriz. Los resultados muestran que es posible implementar la energía ma-

reomotriz gracias a las corrientes provenientes del golfo de California, donde se muestran que en los sitios estudiados se reportan alturas de mareas de hasta 5 metros de amplitud. El desarrollo de este tipo de energía ayudará a renovar, ampliar y mejorar los sistemas de generación de energía en México, aunque implementar este tipo de energía significa una gran inversión inicial debido a los altos costos de construcción de una planta, desarrollarla conlleva la reducción del consumo de energías fósiles en la región del golfo de California, al igual que la reducción de los costos de la energía eléctrica en los hogares para apostar por un futuro más limpio y sustentable.

Palabras clave: energía mareomotriz, energía renovable, generación, mareas.

¹ Alumna de primer semestre de la Licenciatura en Ingeniería Biomédica. Universidad Olmeca. Correo Electrónico: uo22407007@olmeca.edu.mx

² Alumno del primer semestre de la Licenciatura en Ingeniería Biomédica. Universidad Olmeca. Correo Electrónico: uo22407003@olmeca.edu.mx

³ Alumno de primer semestre de la Licenciatura en Ingeniería Biomédica. Universidad Olmeca. Correo Electrónico: uo22407006@olmeca.edu.mx

⁴ Docente de la Licenciatura en Ingeniería Biomédica. Universidad Olmeca. Correo Electrónico: uo18017@olmeca.edu.mx

En todo el mundo, el desarrollo de las actividades comerciales e industriales, consideradas básicas para el crecimiento económico y desarrollo de los países, se ha basado en la producción y consumo masivo de energía, que en la mayoría de los casos es generada a través del procesamiento de recursos naturales no renovables, los cuales, al ser sometidos a diversos procesos físicos y químicos, generan residuos y contaminantes que afectan y degradan el suelo, el agua y el aire.

En la actualidad y mediante el desarrollo de la ingeniería como una disciplina fundamentada en las ciencias aplicadas y la tecnología, se ha logrado incorporar tecnologías limpias en los procesos de producción de energía, lo cual, a su vez, se ha traducido en el nacimiento de nuevos conceptos de fuentes de energía, como la solar, la eólica, la geotérmica, la hidráulica y la mareomotriz. Esta última entendida como aquella energía producida a través de la explotación del recurso hídrico marino mediante el beneficio de la energía potencial presente en las masas de agua embalsada, energía que se aprovecha por medio de su transformación cinética expresada en el movimiento de turbinas debido al paso de agua a través de ellas, el cual es ocasionado por la dirección del flujo propio de las mareas en las zonas costeras (Quintero y Quintero, 2015).

ANTECEDENTES

En 1580 fue instalada bajo el arco del puente de Londres una rueda hidráulica con la función de suministrar agua a la ciudad, labor que cumplió por dos siglos y medio. En 1737 el francés Belidor inventó una combinación de dispositivos colocados para un funcionamiento continuo de máquinas capaces de producir fuerza mecánica. En 1880 fue puesta en servicio una estación de potencia en Hamburgo para bombear agua de riego, también han sido reportadas otras instalaciones en Rusia, Norteamérica e Italia; algunas de estas estructuras eran de tamaño impresionante; se tienen datos de un molino de marea construido en el siglo

XVIII en Rhode Island que utilizaba ruedas de 20 toneladas, 11 pies de diámetro y 26 pies de ancho. Los primitivos molinos de marea producían una cantidad de energía mecánica entre 30 y 100 W que fueron suficientes para satisfacer la demanda anterior a la aparición del motor eléctrico.

A finales del siglo XIX comenzó a disminuir el desarrollo del aprovechamiento mareomotriz debido a la proliferación de otras fuentes de energía como las plantas térmicas, hidroeléctricas, plantas a gas, pero ahora este tipo de aprovechamiento es muy valorado, con argumentos racionales de tipo ambiental y económicos como el precio de los combustibles (Gómez-Montaña y Burgos-Ramírez, 2008).

La energía mareomotriz requiere de la construcción de un dique para el almacenamiento del agua, cuyo movimiento hace girar turbinas. Este tipo de energía ha tomado fuerza en países como Francia, Canadá, Suiza, Reino Unido, Estados Unidos de América y China, en los cuales estos sistemas de producción de energía ya se encuentran en operación y con proyección de expansión. Se argumenta que la energía mareomotriz se ha utilizado durante siglos, al aprovechar la subida y bajada de mareas para proporcionar energía a los molinos de trigo, aserraderos y fábricas de cerveza, respecto a que en algunas regiones europeas (como los Países Bajos, España y el Reino Unido) fueron construidos molinos de agua (Quintero y Quintero, 2015).

Se ha estudiado la utilización de principios propios de los aerogeneradores o turbinas de viento en la producción de energía eólica aplicados a las turbinas para la generación de energía mareomotriz (Batten *et al.* 2007) y se ha profundizado en el estudio de los efectos e impactos ambientales negativos de estos proyectos en aguas estuarinas y costeras. La implementación de sistemas de producción de energía a través del aprovechamiento de las mareas y corrientes en cursos de agua y zonas costeras tuvo un aumento significativo entre los años 2000 y 2010 (Blunden *et al.*, 2013).

Una de las primeras y más grandes centrales de

generación de energía mareomotriz es la de la central de La Rance, ubicada en Francia donde la amplitud de la marea alcanza los 13.5 metros de altura, una de las más altas del mundo. Esta central fue terminada en 1967, funciona con un ciclo de doble efecto con acumulación por bombeo, tiene un dique de 700 metros de largo, 24 de ancho y 27 de alto, 6 compuertas de 15 metros de longitud y 10 de altura con una esclusa que comunica el mar con el estuario. Presenta un embalse con una superficie de 20 km² y una capacidad de embalsamiento de 186 millones de m³ entre pleamar y bajamar, cuenta con 24 turbinas Bulbo axiales de 24 MW que funcionan en doble sentido y un alternador de 64 polos alojados en el interior del bulbo, se regula mediante un distribuidor de 24 álabes directrices que dirigen el agua hacia los álabes también orientables del rodete para mayor rendimiento.

También existe la central de la bahía De Fundy ubicada en la frontera entre Canadá y USA en el río Anápolis, con amplitudes de marea de 15 m y un dique de 30.5 m de altura y 46.5 m de longitud, posee una turbina Straflo axial de 18 MW con cuatro polos y un alternador periférico de 144 polos (Gómez Montaña y Burgos Ramírez, 2008).

JUSTIFICACIÓN

La energía mareomotriz ha tenido gran presencia en los últimos años en diversos países que han logrado desarrollar su uso a un nivel de aprovechamiento en relación con su potencial energético y con los estudios sobre su impacto ambiental.

México cuenta con uno de los mayores potenciales energéticos en cuanto a las energías renovables, las más abundantes y de gran desarrollo son la hidroeléctrica, la eólica, solar y biomasa. En la actualidad se estudia la implementación de la energía mareomotriz en algunas zonas del país cuyos factores ambientales son favorables para el desarrollo de dicha energía.

En este trabajo se plantea comparar las características de dos zonas dentro del golfo de California para

determinar cuáles son los factores que permitan el establecimiento y aprovechamiento de la energía mareomotriz y cómo estos contribuyen a su desarrollo en México.

OBJETIVO GENERAL

Demostrar que en las zonas de San Felipe y Santa Rosalía del golfo de California es posible la implementación de la energía mareomotriz.

METODOLOGÍA

A través de revisiones bibliográficas se utilizaron datos de páginas oficiales del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE), la Secretaría de Marina (SEMAR), así como artículos de instituciones académicas nacionales e internacionales.

Se obtuvo información sobre los factores ambientales de la región del golfo de California, ya que esta zona cuenta con alcances de desarrollo energético mareomotriz, como también datos sobre la velocidad del viento y registros sobre la amplificación de las mareas en el golfo. Además, se tomaron en cuenta criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de inclusión:

- Información de artículos, páginas oficiales - Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California CICESE, Secretaría de Marina (SEMAR).
- Fecha de publicación entre: 2005 y 2022.
- Información a partir de las palabras clave: energía, energía mareomotriz, generación, energía renovable y mareas.

Criterios de exclusión:

- Publicaciones desactualizadas fuera de los años establecidos.
- Información que no incluya las palabras clave dentro del resumen o descripción.

- Información no proveniente de instituciones académicas o páginas oficiales.

Presentación de resultados

Los datos que fueron extraídos de cada uno de los artículos y sitios consultados se utilizaron como referencias para la elaboración de gráficas sobre la información que se ha mencionado.

RESULTADOS

Concluida la revisión bibliográfica y la información solicitada en la metodología, se muestra la siguiente obtención de resultados.

En la **figura 1** se muestra la localización de los

correntómetros empleados por los investigadores del CICESE para obtener registros longitudinales y transversales de velocidad de las corrientes de marea en el golfo de California.

En la **figura 2** se muestran datos sobre la altura de las mareas cada mes en las localizaciones de San Felipe, Baja California y Santa Rosalía, Baja California Sur, durante el año 2020. Se observan los meses en los cuales las mareas alcanzan su máxima amplitud.

En las **figuras 4 y 5** se hace una muestra de la temperatura del aire, temperatura del mar y radiación solar, en un lapso de treinta días en San Felipe, Baja California y Santa Rosalía, Baja California Sur, en el año 2020.

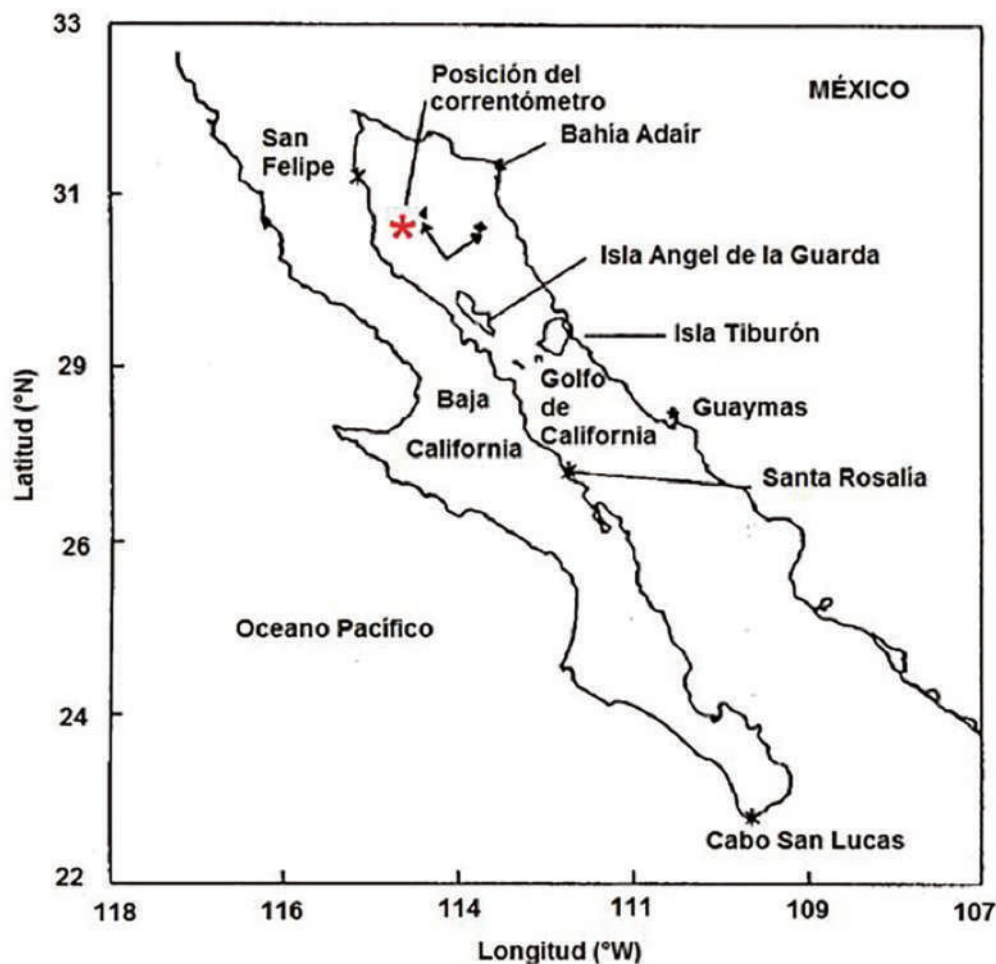


Figura 1. Localización de los correntómetros (Quiñonez., *et al.* 2019).

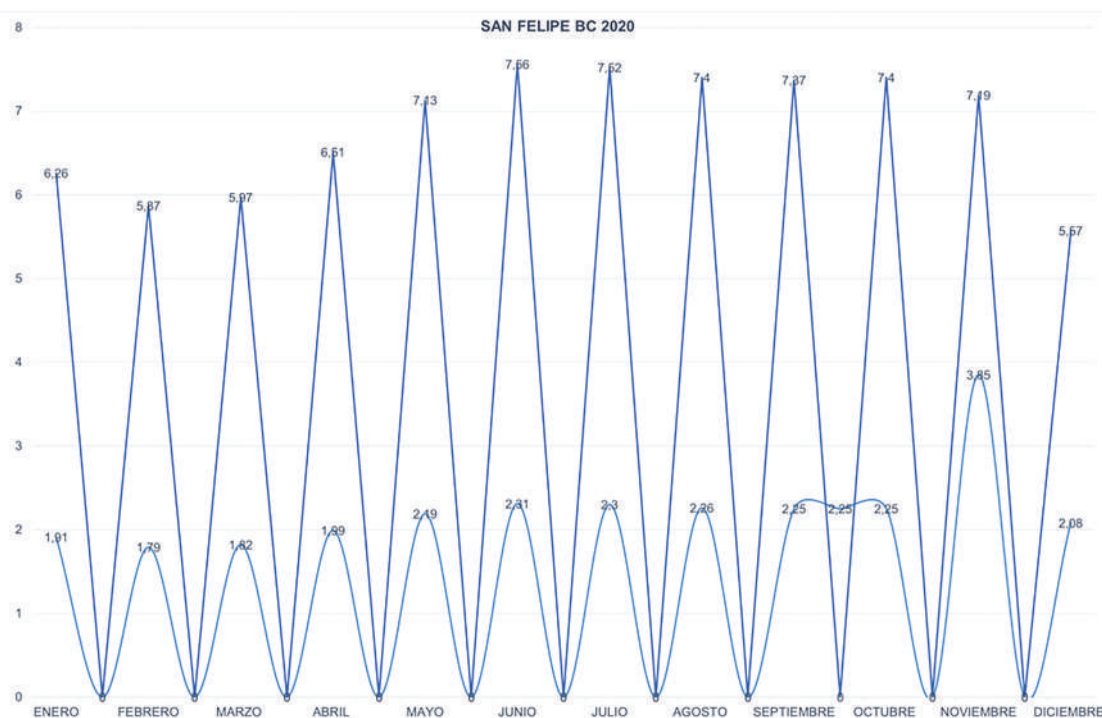


Figura 2. Amplitud de mareas presentada en metros y pies, en San Felipe B. C. Elaboración propia, con datos de (Estaciones Mareográficas, 2020).

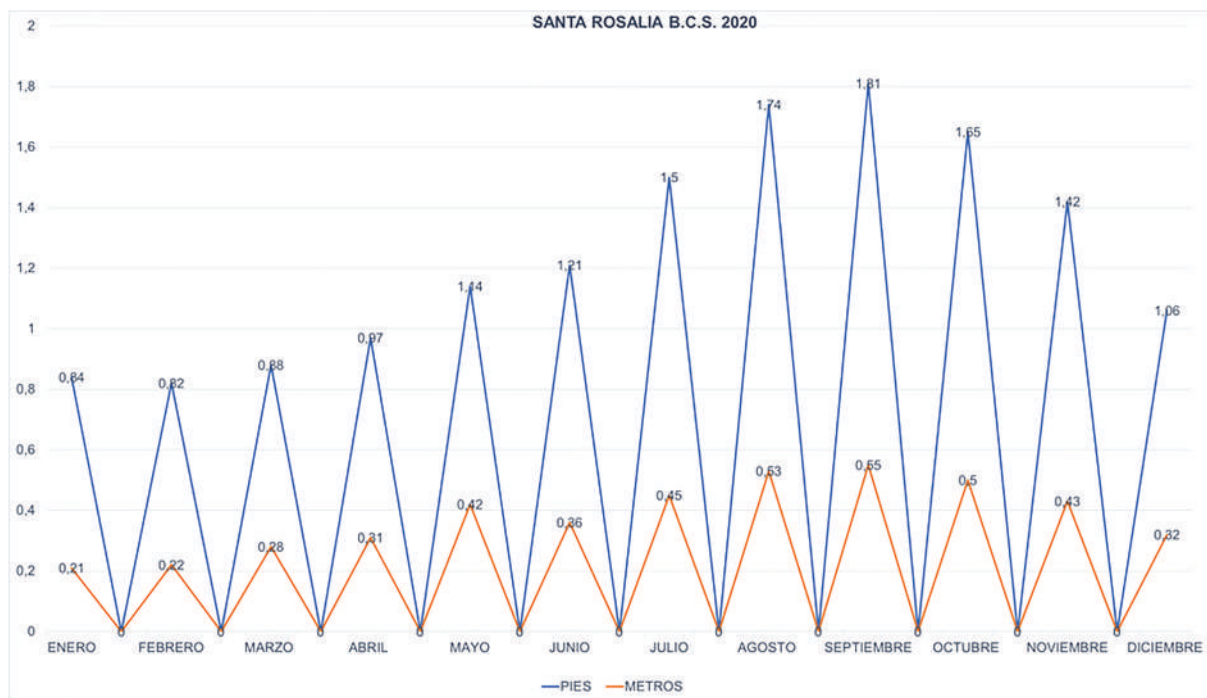


Figura 3. Amplitud de mareas presentada en metros y pies, en Santa Rosalía B. C. S. Elaboración propia con datos de (Estaciones Mareográficas, 2020).

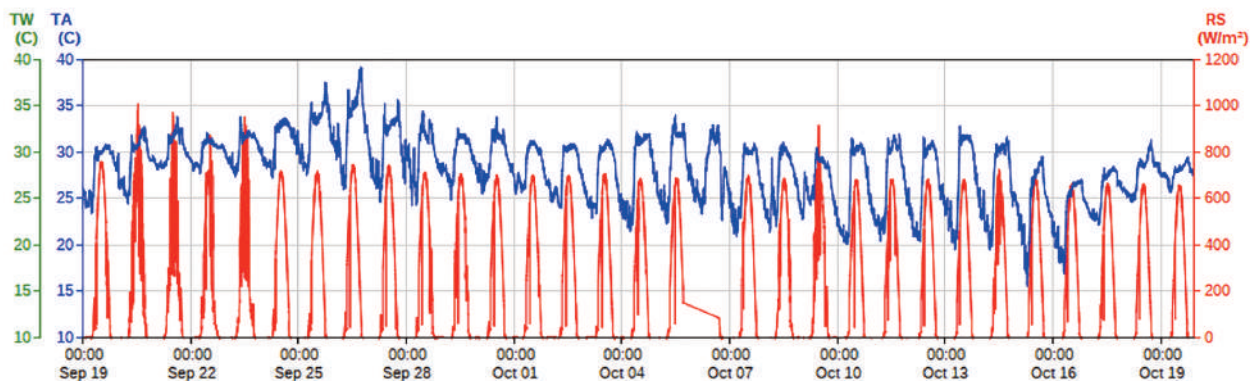


Figura 4. Temperatura del aire (línea azul), temperatura del mar (línea verde) y radiación solar (línea roja), San Felipe, B. C. (Redmar, 2020).

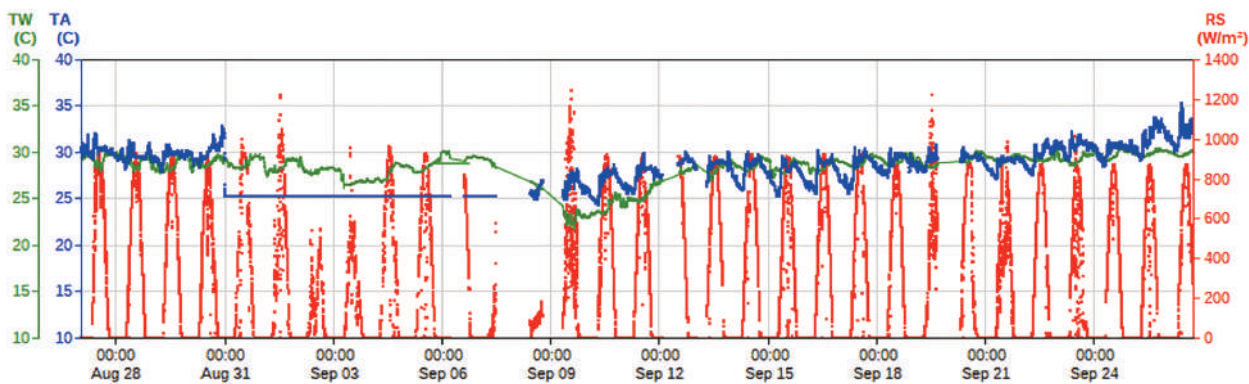


Figura 5. Temperatura del aire (línea azul), temperatura del mar (línea verde) y radiación solar (línea roja), Santa Rosalía, B. C. S. (Redmar, 2020).

Por último, en las **figuras 6 y 7** se llevó un registro de la rapidez del viento en un periodo de 30 días en San Felipe, Baja California y Santa Rosalía, Baja California Sur, en el año 2020.

DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos y la investigación realizada, se encontró que en la región del golfo de California hay dos puntos estratégicos para la generación de dicha energía, los cuales son en San Felipe, B. C. y Santa Rosalía, B. C. S. como se muestra en las **figuras 2 y 3**.

Los datos de la figura 1 señalan que la pleamar en San

Felipe es mucho mayor en comparación con los datos de la figura 3 en Santa Rosalía, esto concuerda con la investigación de Quiñonez Osuna *et al.* (2019), la cual menciona que para esta zona las predicciones de la altura de mareas son potencia probable de generación, basadas en modelos teóricos.

Por otro lado, con los datos de las **figuras 4, 5, 6 y 7** muestran que la energía del viento, la del sol y la temperatura del agua son factores favorables en las inmediaciones del golfo, lo que indica un óptimo aprovechamiento en conjunto de estas tres fuentes renovables.

La implementación de sistemas de producción

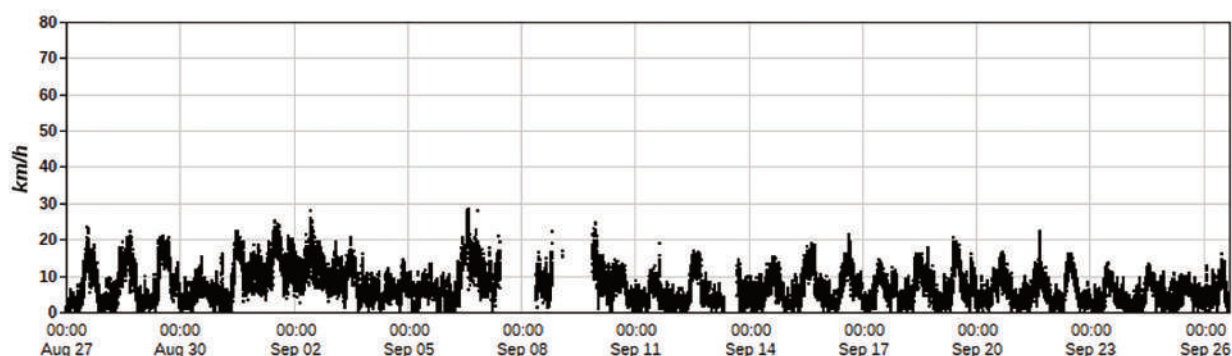


Figura 6. Rapidez del viento en San Felipe, B. C. (Redmar, 2020).

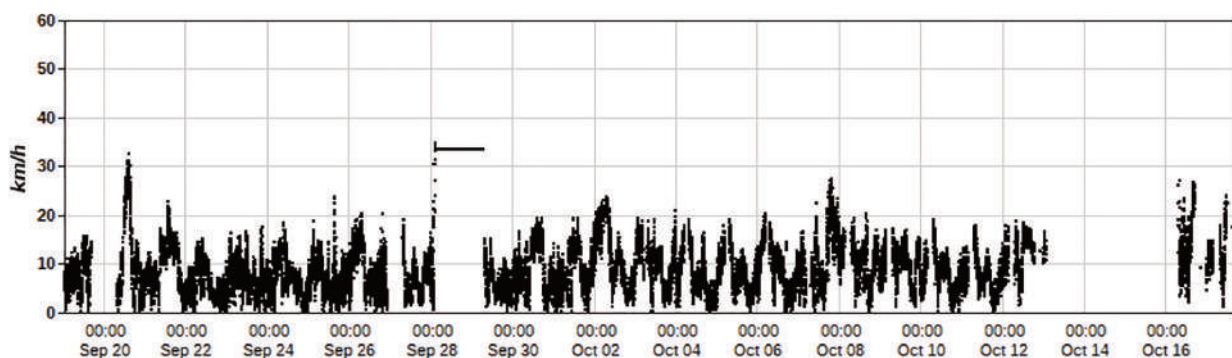


Figura 7. Rapidez del viento en Santa Rosalía, B. C. S. (Redmar, 2020).

de energía a través del aprovechamiento de las mareas y corrientes en cursos de agua y zonas costeras ha ido en aumento en los últimos años. Para el año 2000 se encontraban en operación las plantas de energía mareomotriz de La Rance en Francia (puesta en servicio: 1966, potencia instalada: 240 MW), Kislaya Bay en Rusia (puesta en servicio: 1968, potencia instalada: 0,4 MW) (López *et al.*, 2010). En México se cuenta con excelentes condiciones para el aprovechamiento de la energía mareomotriz, sin embargo, en la actualidad no existen plantas de este tipo debido a los impactos sociales, económicos y ambientales que provocaría una planta mareomotriz.

En la **figura 8** se hace una comparación entre las centrales de energía mareomotriz existentes en el año 2000 y las que se encuentran en operación actual-

mente, además de los emplazamientos para nuevas plantas proyectadas.

Si se toma en cuenta a México como emplazamiento para una nueva planta mareomotriz con respecto al río Colorado, el cual desemboca en el golfo de California, cerca de la región estudiada, se indica que cuenta con el potencial para la generación de energía mareomotriz.

Comparado con otras regiones, por ejemplo, Reino Unido, que es una de las zonas con mayor generación de dicha energía con una media de marea de 6.5 m de altura y las zonas estudiadas en México, en este caso San Felipe y Santa Rosalía, con medias de 6 y 4 metros en pleamar. Por lo tanto, el aprovechar el ascenso y descenso del agua del mar apunta a un desarrollo clave y amigable con el medio ambiente.

| País | Emplazamiento | Altura media de marea m | Superficie embalsada km ² | Potencia estimada MW | Producción aproximada GWh/año |
|----------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------------|----------------------|-------------------------------|
| Rusia | Bahía de Mezen | 6,76 | 2640 | 15000 | 45000 |
| | Penzhinsk, Mar de Okhost | 11,4 | 530 | 87400 | 190000 |
| | Bahía de Tugur | 6,8 | 1080 | 7800 | 16200 |
| India | Golfo de Khambat | 6,8 | 1970 | 7000 | 15000 |
| | Golfo de Kutch | 5,0 | 170 | 900 | |
| Corea | Garolim | 4,7 | 100 | 400 | |
| | Cheonsu | 4,5 | | | |
| Reino Unido | Severn | 7,0 | 520 | 8640 | 17000 |
| | Mersey | 6,5 | 61 | 700 | |
| | Duddon | 5,6 | 20 | 100 | |
| | Wyre | 6,0 | 5,8 | 64 | |
| | Conwy | 5,2 | 5,5 | 33 | |
| Australia | Bahía de Secure | 7,0 | 140 | 1480 | |
| | Ensenada de Walcott | 7,0 | 260 | 2800 | |
| Canadá | Cobequid | 13,4 | 240 | 5338 | 14000 |
| | Cumberland | 10,9 | 90 | 1400 | |
| | Shepody | 10,0 | 115 | 1800 | |
| Estados Unidos | Turnagain Arm | 7,5 | | 6500 | 16600 |
| | Knit Arm | 7,5 | | 2900 | |
| | Pasamaquoddy | 5,5 | | | |
| México | Río Colorado | 6,7 | | | |
| Argentina | San José | 5,9 | 778 | 5040 | 9400 |
| | Santa Cruz | 7,5 | 222 | 2420 | |
| | Río Gallegos | 7,5 | 177 | 1900 | |

Figura 8. Emplazamientos destacados para el aprovechamiento de centrales mareomotrices en el mundo (López, *et al.* 2010).

CONCLUSIÓN

Las energías renovables están cada vez más presentes en el desarrollo energético mundial. La política energética de México establece su planeación a corto, mediano y largo plazos, sustentada en el criterio del uso racional y sustentable de los limitados recursos de hidrocarburos de los que dispone la nación. Esto según informes de la Secretaría de Energía (2022).

Por otro lado, la energía mareomotriz ha sido uno de los métodos de producción de energía más efectivos en algunos países de Europa, de los cuales destacan Francia y Reino Unido, que cuentan con factores naturales menos favorables que en México, tales como la velocidad del viento, el nivel de las mareas y

aun así tienen mayor capacidad de desarrollo en dicha energía.

En este artículo se mostró que implementar la energía mareomotriz en México sí es posible ya que a través de la metodología aplicada se demostró que la capacidad con la que cuentan las mareas del golfo de California son favorables para su aplicación, las cuales dependen de la zona de embalse.

El implementar la energía mareomotriz en territorio nacional significaría una gran inversión inicial debido a los altos costos de construcción de una planta. Sin embargo, el desarrollar este tipo de energía en México conlleva a la reducción del consumo de energías fósiles en la región del golfo de California,

lo que ayudaría a reducir los costos de la energía eléctrica en los hogares.

Es importante que en México se priorice el desarrollo de las energías renovables, como la energía mareomotriz, ya que al explorar los factores naturales en relación a la generación de energía, más allá de la extracción de combustibles fósiles que han predominado desde años atrás, ayudará a renovar, ampliar y mejorar los sistemas de generación de energía para apostar por un futuro más limpio y sustentable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Batten, W. M. J., Bahaj, A. S., Molland, A. F. y Chaplin, J. R.,** (2007). Experimentally validated numerical method for the hydrodynamic design of horizontal axis tidal turbines. *Revista Ocean Engineering*, 34 (7). 931-1068. [Fecha de consulta, 9 de agosto de 2022]. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2006.04.008>
- Blunden, L. S., Bahaj, A. S. y Aziz, N. S.** (2013). Tidal current power for Indonesia? An initial resource estimation for the Alas Strait. *Revista Renewable Energy*, 49 (1). 137-142. [Fecha de consulta, 9 de agosto de 2022]. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.01.046>
- Estaciones Mareográficas.** [Fecha de consulta, 8 de octubre de 2022]. Obtenido de: https://oceanografia.semar.gob.mx/mapa_estaciones.html
- Gómez-Montaño, L. A., & Burgos-Ramírez, W. Y.** (2008). Actualización del inventario de posibilidades de generación de energía mareomotriz en Colombia. Tesis de posgrado. Universidad de La Salle, Bogotá. [Fecha de consulta, 9 de agosto de 2022]. Obtenido de: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica/69?utm_source=ciencia.lasalle.edu.co%2Fing_electrica%2F69&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages
- López, J., Hiriart Le Bert, G. & Silva, R.** (2010). Cuantificación de energía de una planta mareomotriz. *Revista Ingeniería Investigación y Tecnología*, 11(2), 233-245.
- Quintero, L.E., & Quintero, J.R.,** (2015). Energía mareomotriz: potencial energético y medio ambiente. *Revista Gestión y Ambiente*, 18 (2), 121-134. [fecha de Consulta 09 de Agosto de 2022]. obtenido de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169443282007>
- Quiñonez Osuna, J. R., Marinone Moschetto, S. G., Flores Aguilar, M. D., & Carmona Duarte, D.** (2019). Evaluación de la energía mareomotriz en el norte del Golfo de California con fines de generación de energía eléctrica. *Revista De Ingeniería Eléctrica*, 33-39. [fecha de Consulta 25 de septiembre de 2022]. obtenido de: <https://doi.org/10.35429/jee.2019.8.3.33.39>
- Redmar.** (2020). [Fecha de consulta 25 de septiembre de 2022]. obtenido de: <http://redmar.cicese.mx>
- Secretaría de Energía | Gobierno | gob.mx.** (2022). [Fecha de consulta, 4 de noviembre de 2022], obtenido de: <https://www.gob.mx/sener>

