

Potencial mareomotriz como fuente de energía en la costa sur del estado de Veracruz, México

HERNÁNDEZ-ESCOBEDO, Quetzalcoat†*, CRUZ-REYNA, Othoniel, CATELLANOS-MESSA, Luis y RUEDA-MARTÍNEZ, Fernando

Recibido Febrero 5, 2016; Aceptado Marzo 31, 2016

Resumen

En la actualidad con la generación de energía mediante fuentes renovables de energía pretenden contrarrestar los efectos nocivos de los combustibles fósiles. En diversos puntos del planeta se han fijado la atención en un abundante recurso natural: los mares. Las mareas son una interesante fuente de energía actualmente poco estudiada en México. En este trabajo el objetivo principal es una evaluación preliminar del potencial mareomotriz generado al sureste del Golfo de México. El estudio se basa en datos registrados cada hora durante 3 años, por el Servicio Mareográfico Nacional de la UNAM. Se analizan estadísticamente los datos con la finalidad de validarlos y en base a los niveles de mareas obtener un cálculo inicial de la potencia eléctrica generada mediante un embalse hipotético en la costa de Coatzacoalcos. El embalse se presenta con dos configuraciones distintas para tener un mejor prospecto de generación de energía y así determinar la posibilidad de implementar un sistema de generación que aproveche este recurso natural, el primer embalse se diseñó con un área de 1000 m² y el segundo con 2000 m² generando una potencia eléctrica de 89 kW y 183 kW, respectivamente.

Energías renovables, mareomotriz, Golfo de México, potencia eléctrica generada

Abstract

Now, the electric generation through renewable energy sources has an objective, decreased the harmful effects of fossil fuels. In the planet some people has studied and focused in a huge source: the sea. Tidal are an interesting source of energy, unfortunately fewer studied in Mexico. In this work the main objective is to assess tidal power at southeast of Gulf of Mexico. This study is based in 3 years of data recording every 1 hour; the source of data is the Servicio Mareografico Nacional through UNAM. Statistically analysed with the objective of determine the power output generated design an hypothetic dam at the coast. This dam is presented in two versions to identify the best configuration; the first one is designed of 1000 m² and the second one of 2000 m², generating 89 kW and 183 kW respectively.

Renewable energy, tidal, Gulf of Mexico, power generation

Citación: HERNÁNDEZ-ESCOBEDO, Quetzalcoatl, CRUZ-REYNA, Othoniel, CATELLANOS-MESSA, Luis y RUEDA-MARTÍNEZ, Fernando. Potencial mareomotriz como fuente de energía en la costa sur del estado de Veracruz, México. Revista de Energía Química y Física 2016, 3-7: 54-64.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: qhernandez@uv.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

En el mundo existen adelantos en el desarrollo de las energías renovables para contrarrestar el uso y dependencia de los combustibles fósiles. En especial en la energía eólica (Huckerb, 2011), solar (De Richter, et al. 2013), geotérmica (Fridleifsson, 2001), biomasa (Gurunga, et al. 2012) e hidráulica (Liu, et al. 2013). Sobre la energía de las mareas se han hecho esfuerzos en las universidades y en la industria de la generación de energía para evaluarla. La energía mareomotriz tiene el potencial de desempeñar un papel valioso en un futuro de energía sostenible. Es una fuente de energía muy predecible, que sólo depende de la fuerza gravitacional de la luna y el sol y las fuerzas centrífugas creadas por la rotación del sistema Tierra-Luna (Liu, et al. 2013).

Para almacenar la energía de las mareas se necesita construir una presa en un lugar donde existan mareas altas (Stopaa, et al. 2013) y para la extracción de la energía se utilizan sistemas similares a los utilizados para transformar la energía eólica en energía eléctrica (Zhou, et al, 2013), un gran arreglo de turbinas y un fuerte flujo de agua a lo largo de una barrera pueden hacer significantes contribuciones para satisfacer la demanda de electricidad mediante la energía renovable de las mareas (Xia, et al. 2010).

En el diseño de barreras para el almacenamiento de agua se pueden causar impactos ecológicos significativos especialmente en las zonas de alimentación de aves cuando se construyen en los estuarios o bahías costeras (Bryden, et al. 2007), aun así se considera que con los avances tecnológicos en ingeniería y el aumento del costo de la energía tradicional podría significar que los recursos energéticos marinos serán económicos en los próximos años.

Se ha demostrado que la altura deseable de las mareas para la generación de energía debe ser mayor que 4m (Rajagopalan y Nihous, 2013). Un proyecto exitoso es el de la planta La Rance en Francia (Andre, 1978; Frau, 1993; Charlier, 2007) que genera 240MW de electricidad, también se han realizado estudios como el de la barrera en el estuario del río Severn en el Reino Unido el cual podría alcanzar una producción de energía anual de 15.6 TWh (Crothers, et al. 1994; Sathiamoorthy y Probert, 1994; UK Department of Trade and Industry, 2002; Kerr, 2007) y en Indonesia donde se pronostica una generación de energía eléctrica en el estrecho Alas de 330 GWh (Blunden, 2013).

La energía cinética es aprovechada por convertidores de energía de corriente marina, se han hecho diferentes modelos para evaluar su eficiencia, diseño y su viabilidad económica. La extracción de energía con turbinas marinas puede ser una manera respetuosa del medio ambiente para generar energía eléctrica renovable sin emisiones de gases de efecto invernadero.

El impacto ambiental en muchos casos se presume pequeño. Es probable que este dependa de las condiciones específicas del sitio, así como en la tecnología elegida. El problema que existe con respecto a la mayoría de las energías renovables es su intermitencia y poca fiabilidad, lo cual afecta a la generación de energía y a su viabilidad económica, lo que hace a la energía mareomotriz una energía constante y la cual podría proporcionar una carga base. Tal sistema requiere una costa donde la fase de marea varía con la localización geográfica.

Materiales y métodos

Fuente de datos

Se analizaron lecturas de los niveles de las mareas durante diversos años en diferentes puntos de la costa del estado de Veracruz, México, dichas estaciones de medición se encuentran ubicadas en los puertos de Tuxpan, Alvarado, Veracruz y Coatzacoalcos, su ubicación específica se muestra en la Tabla 1. Tales unidades de medición (mareógrafos) son instaladas, operadas y monitoreadas por el Servicio Mareográfico Nacional (SMN) del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) (SMN, 2013), instituto que recopila datos de mareas a lo largo de las costas de México para su almacenamiento y análisis diverso.

Puerto	Clave	Latitud	Longitud
Alvarado	400A- Alvarado, México	18° 46.1 N	95° 45.3 W
Coatzacoalcos	405A - Coatzacoalcos, México	18° 8.6' N	94° 24.7' W
Tuxpan	404A - Tuxpan, México	20° 58.1 N	97° 18.7 W
Veracruz	250A - Veracruz, México	19° 11.5 N	96° 7.4 W

Tabla 1 Posición geográfica de los puntos analizados

La estación 405A presenta datos de lecturas reales desde el año 1970 hasta el año 1986, sólo se analizan los 3 últimos años ya que son los que están completos, con la posibilidad de generar predicciones para años fuera de éste periodo en diversos intervalos de tiempo, acorde a las necesidades de análisis. La Fig. 1 esquematiza la ubicación geográfica de las 4 estaciones presentes en el estado de Veracruz.



Figura 1 Visualización de las estaciones analizadas en Veracruz

Análisis de datos

Fue necesario organizar la información de alturas de mareas, dadas en milímetros (mm), en intervalos de tiempo que dieran un panorama general del comportamiento de las mismas, sin restar importancia al análisis puntual de los datos que brindan la base necesaria para el modelado y estimación de resultados.

Es por esto que dentro de las diversas variantes en periodos de muestreo, se optó por visualizar las lecturas de los niveles de mareas en periodos de una hora durante las 24 horas los 365 días del año para los 16 años analizados presentes en la estación mencionada, sin embargo aquí solo se analizarán los años de 1983, 1984 y 1986.

Los datos se organizaron mediante Microsoft Office Excel. De los datos tabulados, se obtuvieron los promedios de lecturas por hora durante todos los días de cada mes, el promedio durante las primeras y últimas doce horas del día, así como las desviaciones estándar, para permitirnos validar la fiabilidad de los datos presentados, y los valores máximos, que servirán de referencia para el cálculo de potencia, y mínimos de marea.

Análisis inicial y métodos estadísticos.

Los datos se analizarán mediante el estudio de regresión lineal, coeficiente de determinación (R^2) y de correlación (ρ).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

La regresión lineal o ajuste lineal es un método matemático (ecuación 1) que modela la relación entre una variable dependiente Y , las variables independientes x_i , β_0 y β_1 son constantes desconocidas (parámetros del modelo de regresión) y un término aleatorio ε_i que es la perturbación aleatoria que recoge todos aquellos factores de la realidad no controlables u observables y que por tanto se asocian con el azar.

El coeficiente de determinación (R^2) es un valor que, dentro de un contexto estadístico, predice resultados futuros dentro de un grupo de datos, o valida una hipótesis de esos mismos datos. El coeficiente determina la calidad del modelo para replicar los resultados, y la proporción de variación de los resultados que puede explicarse por la ecuación 2.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (2)$$

Donde $(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$ es la variación de los valores estimados de Y alrededor de su media, que se denomina suma de cuadrados debido a su regresión, y $(Y_i - \bar{Y})^2$ representa la variación total de los valores reales de Y respecto de su media muestral.

En estadística, el coeficiente de correlación (ρ) es una medida de la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas.

De manera menos formal, podemos definir ρ como un índice que puede utilizarse para medir el grado de relación de dos variables siempre y cuando ambas sean cuantitativas. Cuando ρ es positiva (o directa) los valores más altos en una variable tienden a coincidir con los más altos de la otra variable, y cuando es negativa (o inversa) los valores más altos en una variable tienden a coincidir con los más bajos de la otra variable.

Determinación de la potencia teórica.

La energía potencial de un sistema de las mareas en cada ciclo de marea (un flujo y una inundación) se puede simplificar y estimado por la ecuación 3.

$$E = \eta * \rho * g * h * q \quad (3)$$

Donde E es la energía potencial del sistema de mareas en cada ciclo de marea (J/ciclo), η es la eficiencia del sistema (hidro turbina), ρ es la densidad del agua de mar (kg/m^3), g es la aceleración de la gravedad (m/s^2), h es la diferencia entre el nivel medio del agua en la cuenca y del mar (m), y q es el caudal de agua de mar que fluye a través de la turbina en cada ciclo (m^3).

Con el fin de estimar E , primero, se puede asumir que la eficiencia del sistema es 100%, lo que significa el resultado de este cálculo es la máxima potencia disponible y la potencia potencial explotable no real.

El caudal de agua de mar que fluye a través de la turbina en cada ciclo de flujo y reflujo en el caso sencillo cuando el área de la cuenca es uniforme durante las mareas altas y bajas se puede calcular utilizando la ecuación 4.

$$q = A * H \quad (4)$$

Donde A es el área de la cuenca del bombardeo (m^2) y H es la amplitud de la marea máxima (m). Y, por último, la amplitud de la marea media es igual a la mitad de la distancia máxima de las mareas, $h = H/2$. Esto es debido al hecho de que a medida que el flujo pasa a través de la turbina, la diferencia entre el agua en la cuenca y al nivel del mar se reduce.

Es con la ecuación 3 que se obtuvieron los índices de potencia mostrados en la Tabla 3, valores que representan el potencial de generación contemplando solo el embalse y la diferencia de alturas, en un próximo estudio se pretende estimar una potencia más exacta, considerando un arreglo de varias turbinas de bulbo de doble flujo que permitan incrementar la generación de energía en éste estudio (Xia, et al. 2010).

Aprovechamiento de las mareas.

La energía mareomotriz es una de las energías más disponibles de los mares. A diferencia de la mayoría de las otras energías renovables, que directa o indirectamente se derivan de la energía solar, esta energía es creada por las fuerzas gravitacionales de la Luna y el Sol en las aguas de la Tierra y la rotación de la Tierra. Una de las ventajas que ofrece la energía de las mareas sobre la energía solar y eólica es su previsibilidad. Se estima que hay alrededor de 100 GW de energía de las mareas en los organismos mundiales de agua, de las cuales sólo una fracción es explotable, ya que se produce en los golfos y estuarios (Pelc y Fujita, 2002).

Para aprovechar la energía de las mareas apropiadamente, se han estudiado diversas configuraciones de sistemas, bien sea por medio de represas similares a los sistemas hidroeléctricos ampliamente conocidos.

Otro método es colocar turbinas de corriente, similares a los generadores eólicos, en puntos estratégicos de una cuenta donde se amplifican las velocidades de las corrientes, originadas por el movimiento de la masa de agua por las mareas, debido a las características geográficas de esos sitios; y un sistema más, embalses mar adentro, aislados, llamados Tidal Lagoons (Peater, 2014) que son, esencialmente, piscinas de un par de km^2 de área a unos cientos de metros de la costa donde se establecen las instalaciones eléctricas para almacenamiento, transformación y transporte de la energía producida.

Embalse tipo.

Como punto de partida para obtención de valores de potencia preliminares (Tabla 3), se propuso un embalse tipo tomando como referencia proyectos previos en investigación y/o desarrollo. De todos éstos métodos de explotación de las mareas, en este caso en particular se seleccionaron las denominadas Tidal Lagoons ya que representan el formato más viable para su instalación en la costa de Coatzacoalcos, Veracruz ya que son los embalses más sencillos de construir. Es por esto que los posteriores cálculos se realizaron en base a dos embalses hipotéticos de 1000 y 2000 m^2 de área de laguna, ambos a una distancia de 180 m de la línea costera. Embalse con un diseño geométrico cuadrangular con paredes de roca y concreto, para una mayor facilidad de construcción con una altura por encima del nivel del mar de 3 m para dar margen al llenado por marea viva, con los niveles de marea contemplados en el estudio, y dejando un margen de aproximadamente 1.5 m para variaciones de las mareas por su propio comportamiento, o bien por condiciones meteorológicas como lluvia y vientos que puedan afectar la integridad del volumen de agua contenido en la laguna.

La Fig. (2) representa ambos embalses hipotéticos junto con la ubicación geográfica de los mismos, punto inicial de éste estudio, solo presentando el área de interés, más no un esquema final de proyecto que incluya la ingeniería propia de construcción y generación de energía.

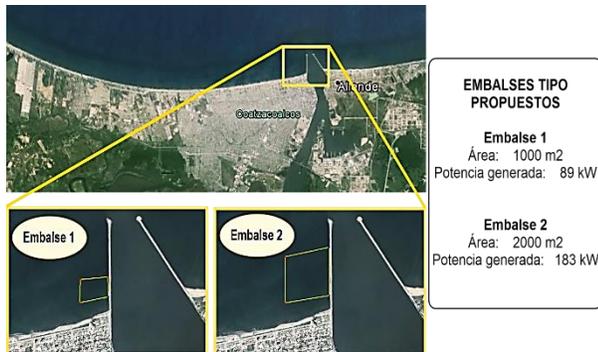


Figura 2 Embalses propuestos

Resultados

Validación de modelo matemático inicial. Como primer resultado tenemos la aproximación del modelo matemático mediante Excel el cual, por presentar una parte de los resultados, se muestra en la Tabla 2 que indica los valores de los coeficientes de correlación y determinación que indican en nivel de fiabilidad del modelo matemático inicial para el comportamiento de mareas en Coatzacoalcos.

	1983		1986	
	R	R ²	R	R ²
ENE-FEB	0.883	0.779	0.949	0.901
FEB-MAR	0.723	0.522	0.632	0.4
MAR-ABR	0.645	0.416	0.805	0.649
ABR-MAY	0.917	0.84	0.878	0.772
MAY-JUN	0.957	0.917	0.908	0.825
JUN-JUL	0.963	0.928	0.958	0.918
JUL-AGO	0.895	0.801	0.956	0.914
AGO-SEP	0.764	0.584	0.684	0.468
SEP-OCT	0.715	0.511	0.71	0.505

Tabla 2 Coeficiente de correlación y de determinación

La información presentada en la Tabla 2 refuerza en su mayoría la hipótesis generada del estudio de R², al contar con valores de ρ desde 0.632 hasta 0.958, se puede concluir que el modelo, y la relación que presentan las mareas a las mismas horas de un mes respecto a las del mes sucesor es alta, esto es, la relación de los niveles de marea a lo largo del año son altos y constantes. Si bien, los valores de correlación representan un amplio rango, el aspecto generalizado de los valores asemeja la tendencia de los demás años. De lo que se concluye que tal y como se supone, las mareas son fenómenos predecibles y repetitivos en ciclos establecidos, lo cual avala el potencial de ésta fuente como generador de energía alternativa, al presentar una correlación alta se corrobora una estabilidad en los niveles de marea que podrían aprovecharse.

Se utilizaron aproximaciones de Fourier que generaron valores para los niveles de mareas muy cercanos a los obtenidos del SMN, sin embargo, las medias empleadas para el cálculo de potencia fueron las obtenidas por Fourier ya que representan una tendencia más suave y estable que considera todas las posibles variaciones de alturas a lo largo del periodo de muestreo.

En la Tabla 3 se muestran los coeficientes de determinación de los ajustes de Fourier finales, los cuales indican la confiabilidad de los modelos obtenidos, las ecuaciones no son mostradas por guardar sencillez en la presentación de la información.

Año	Mes	SSE	RMSE	R2
1983	Enero	9378	25	0.9646
	Febrero	6890	26.25	0.9323
	Marzo	12420	30.91	0.8974
	Abril	3080	16.02	0.9127
	Mayo	2980	15.14	0.9099
	Junio	2069	13.13	0.9676
	Julio	2937	15.03	0.9812
	Agosto	4961	19.53	0.9631
	Septiembre	10070	26.82	0.9784
	Octubre	15500	34.54	0.8623
	Noviembre	5233	20.88	0.9798
	Diciembre	8818	26.04	0.9716
1984	Enero	7768	24.45	0.9662
	Febrero	2836	16.06	0.9843
	Marzo	7500	24.02	0.8494
	Abril	1472	9.591	0.9836
	Mayo	4993	17.14	0.9824
	Junio	4923	17.54	0.9868
	Julio	2905	13.07	0.9975
	Agosto	2389	11.86	0.9703
	Septiembre	5096	20.61	0.7924
	Octubre	10290	24.61	0.9845
	Noviembre	6734	21.93	0.9701
	Diciembre	9391	26.88	0.9578
1986	Enero	4297	18.18	0.9736
	Febrero	7358	27.13	0.9375
	Marzo	12760	31.33	0.872
	Abril	5434	19.7	0.9125
	Mayo	4120	17.8	0.9593
	Junio	1925	12.67	0.9905
	Julio	3414	15.09	0.8521
	Agosto	5832	21.18	0.9421
	Septiembre	3331	16.66	0.9533
	Octubre	8326	25.31	0.9603
	Noviembre	10110	29.03	0.9672
	Diciembre	11490	29.73	0.8267

Tabla 3 Estadísticas generales

Alturas medias.

Para calcular un estimado de potencia, es necesario determinar las alturas medias que se tomarán como base para dichos cálculos.

Las alturas seleccionadas no son la diferencia de los máximos y mínimos, sino el promedio de alturas arrojado por la aproximación de Fourier, que en nuestro caso representa el nivel de altura que alcanza la marea, alrededor de 0.4 m, considerando un punto cero de referencia establecido por el mareógrafo. Se considerará así en función de que al tomar la media de las lecturas se consideran todas las variaciones, alturas máximas y mínimas de todo el mes, es decir la variación total de alturas y no el valor puntual de una sola lectura para los mismos periodos que indica un valor mínimo de altura, el cual no es representativo para el cálculo de potencia.

Es decir, para Marzo de 1983, las alturas máximas y mínimas son de 2.316 y 1.859 m, respectivamente, lo que da una diferencia de altura de tan solo 0.4 m, mientras que al considerar la media para éste mismo mes, tenemos una altura de 1.908 m, altura que representa la variación general de alturas durante el mes, es decir, todas las diferencias para cada día.

Los gráficos (1, 2 y 3) representan las alturas medias obtenidas posterior al ajuste por medio de Fourier del comportamiento de mareas para cada año, dichas alturas son las consideradas en el cálculo de potencia, todas para los mismos meses en los 3 años, donde se nota aprecia el comportamiento homogenizado que estima el análisis de Fourier.

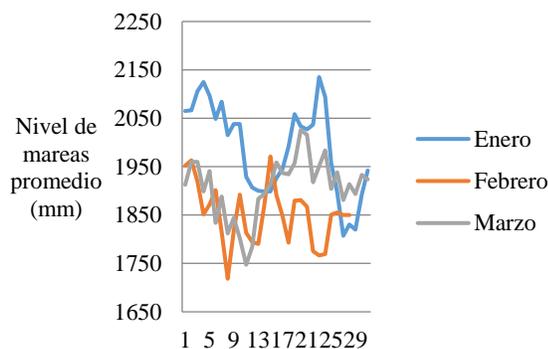


Gráfico 1 Alturas promedio de los meses de enero, febrero y marzo de 1983

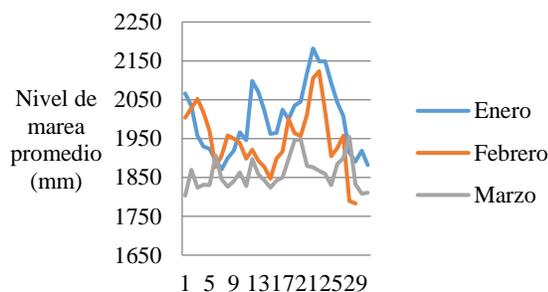


Gráfico 2 Alturas promedio de los meses de enero, febrero y marzo de 1984

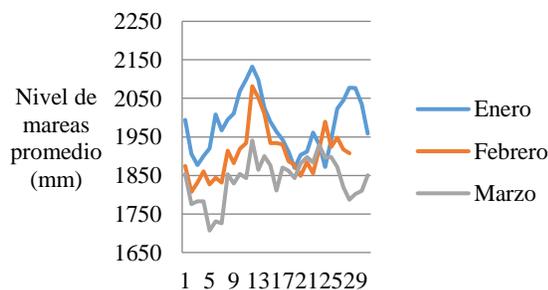


Gráfico 3 Alturas promedio de los meses de enero, febrero y marzo de 1986

En los gráficos 4, 5 y 6 se muestra el comportamiento y alturas de las mareas para los 3 años estudiados; organizados por cuatrimestres para una mejor interpretación, en las gráficas se observa el comportamiento de los datos crudos, identificados de color azul, (base de datos SMN) comparado con el comportamiento de la aproximación de Fourier; en color verde, éstos últimos representan la base del cálculo de potencia teórica aquí presentado.

Es necesario recalcar que es en este punto donde se puede observar la similitud y el suavizado de los datos originales a los tratados matemáticamente, comparación que respalda visualmente lo dicho previamente al respecto del modelado de matemático.

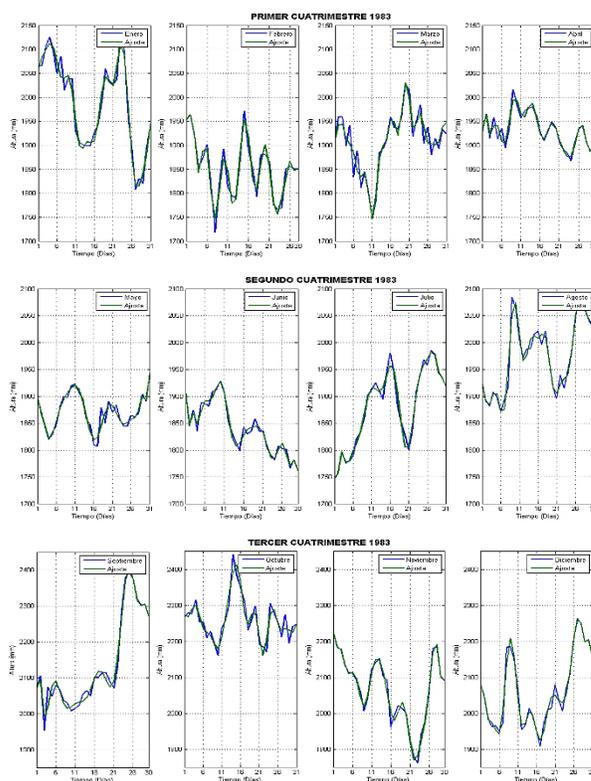


Gráfico 4 Comparación de niveles de mareas reales y modeladas para 1983

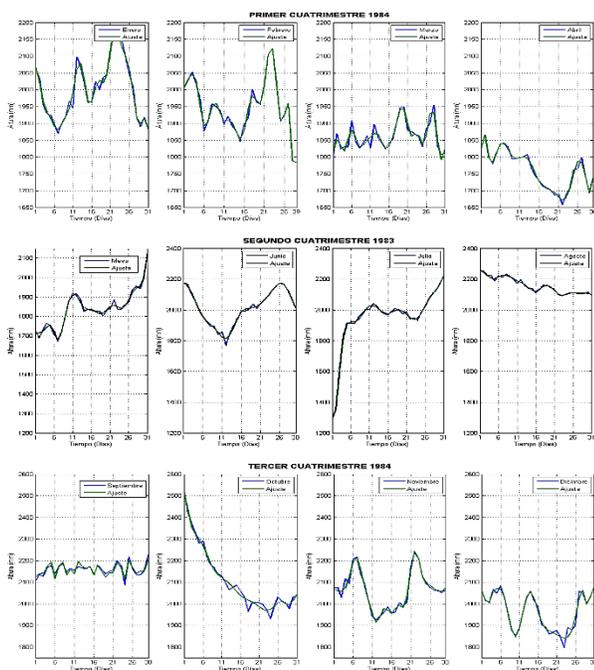


Gráfico 5 Comparación de niveles de mareas reales y modeladas para 1984

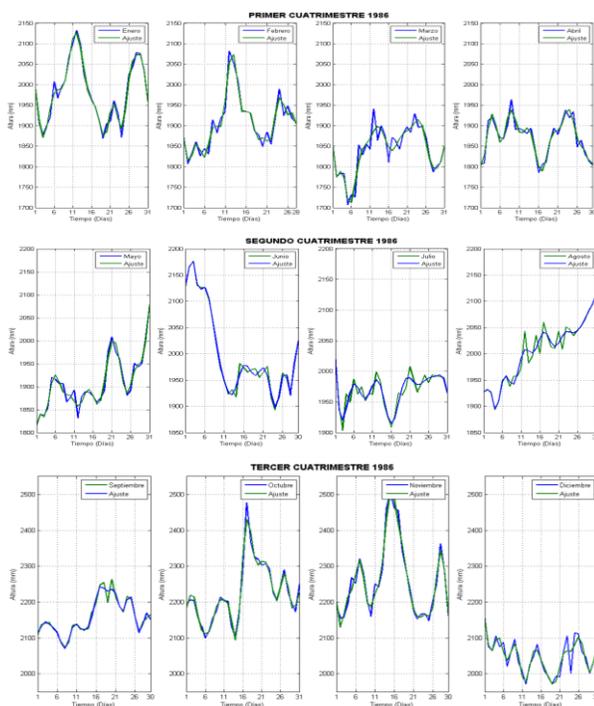


Gráfico 6 Comparación de niveles de mareas reales y modeladas para 1986

Potencia generada.

Año	Mes Analizado	Área del embalse	Altura media (m)	Potencia media generada (W)	Potencia media anual (kW)
1983	Enero	1000	1.987	248.243	89.976
	Febrero	1000	1.851	215.255	
	Marzo	1000	1.908	228.746	
	Abril	1000	1.932	234.57	
	Mayo	1000	1.871	219.99	
	Junio	1000	1.84	212.824	
	Julio	1000	1.881	222.272	
	Agosto	1000	1.976	245.367	
	Septiembre	1000	2.134	286.309	
	Octubre	1000	2.26	320.861	
	Noviembre	1000	2.065	267.936	
	Diciembre	1000	2.062	267.154	
1984	Enero	1000	1.999	251.189	90.179
	Febrero	1000	1.948	238.505	
	Marzo	1000	1.864	218.344	
	Abril	1000	1.764	195.461	
	Mayo	1000	1.825	209.275	
	Junio	1000	2.014	254.992	
	Julio	1000	1.926	233.025	
	Agosto	1000	2.163	294.071	
	Septiembre	1000	2.156	292.054	
	Octubre	1000	2.115	281.146	
	Noviembre	1000	2.063	267.405	
	Diciembre	1000	1.957	240.63	
1986	Enero	2000	1.961	483.427	183.858
	Febrero	2000	1.908	457.608	
	Marzo	2000	1.84	425.405	
	Abril	2000	1.871	440.068	
	Mayo	2000	1.908	457.735	
	Junio	2000	2.002	503.816	
	Julio	2000	1.905	455.929	
	Agosto	2000	1.938	472.042	
	Septiembre	2000	2.157	585.036	
	Octubre	2000	2.224	621.734	
	Noviembre	2000	2.259	641.656	
	Diciembre	2000	2.049	527.654	
Enero	2000	1.961	483.427		

Tabla 4 Comparación de la potencia calculada con diversas áreas de embalses

Conclusiones

Como objetivo principal de este trabajo se estimó una potencia eléctrica generada de hasta 360 kW por los tres años analizados en la costa de Coatzacoalcos, equivalente a 9.12 MWh, lo que representa 1.5 toneladas de CO₂ no emitidas a la atmósfera producido por la quema de combustibles fósiles como el carbón.

Los niveles de generación de energía calculados en éste trabajo comparados con los estudios mencionados, presenta un índice de generación de sólo 0.15 % comparado con la energía generada en La Rance (Andre, 1978; Frau, 1993; Charlier, 2007), un 0.00006 % respecto al río Severn (Crothers, et al. 1994; Sathiamoorthy y Probert, 1994; UK Department of Trade and Industry, 2002; Kerr, 2007) y un 0.003% de la energía generada en el estrecho de Alas (Blunden, 2013), considerando éstos proyectos como ejemplos de rangos de energía aprovechables económicamente viables, vemos que el costo de explotar las mareas en la costa de Coatzacoalcos sería mucho mayor al ahorro en consumo de energía eléctrica que podría obtenerse ya que los niveles de marea no permiten un gran potencial de generación, sin embargo estos resultados, si bien no representan un panorama ventajoso, cumplen con la finalidad del estudio presentado en este escrito, el cual tenía como objetivo principal determinar la cantidad de energía generada y sentar un precedente tangible de la viabilidad o imposibilidad de usar las mareas en Coatzacoalcos como una fuente de energía alterna.

Agradecimientos

El presente estudio ha sido desarrollado al amparo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) en conjunto con la Universidad Veracruzana y su programa PROMEP que involucra a académicos y estudiantes involucrándolos en investigación para la “Determinación del potencial mareomotriz como fuente alternativa de energía en la costa sur del estado de Veracruz, México”. Así como al soporte del SMN de la UNAM al brindar los datos necesarios para el presente estudio.

Referencias

- Andre, H. (1978). Ten years of experience at the La Rance tidal power plant. *Ocean Management*, Vol (4), p. 165-178.
- Blunden, L.S, Bahaj, A.S, Aziz, N.S. (2013). Tidal current power for Indonesia? An initial resource estimation for the Alas Strait”. *Renewable Energy*. Vol. (49), p.137-142.
- Bryden, I.G., Couch, S.J. & Owen, A., et al. (2007). Tidal current resources assessment. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part A: Journal of Power and Energy*, Vol. (221), p. 125- 135.
- Charlier, RH. (2007). Forty candles for the Rance River TPP tides provide renewable and sustainable power generation. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Vol. (11), p. 2032–2057.
- Crothers, JH, Little, C, Mettam, C. (1994). Evolution and change in the Bristol Channel and Severn Estuary: introduction to the proceedings. *Biological Journal of the Linnean Society*, Vol. (51), p. 1–3.
- De Richter, R., Ming, T. & CaillolS. (2013). Fighting global warming by photocatalytic reduction of CO₂ using giant photocatalytic reactors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. (19), p. 82- 102.
- Frau, JP. (1993). Tidal energy: promising projects. La Rance, a successful industrial scale experiment. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol (3), p. 552–558.

- Fridleifsson, B. (2001). Geothermal energy for the benefit of the people. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. (5), p. 299-312.
- Gurunga, A., Van-Ginkel, S. & Woo-Chang K, et al. (2012). Evaluation of marine biomass as a source of methane in batch tests: A lab-scale study. *Energy*, Vol. (43), p. 396-401.
- Huckerb, J. (2011). *Marine Energy: Resources, Technologies, Research and Policies. Operational Oceanography in the 21st Century*, Vol. (20), p. 695.
- Kerr, D. (2007). Marine energy. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, Vol. (1853), p. 971-992.
- Liu, J., Zuo, J. & Sun, Z., et al. (2013). Sustainability in hydropower development-A case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. (19), p. 230-237.
- Peater, U. Tidal Electric Inc. <http://www.tidalelectric.com/#the-project-alaska> [Consultado 10.02.14]
- Pelc, R. & Fujita, R.M. (2002). Renewable energy from the ocean. *Marine Policy*, Vol. (26), p. 471-9.
- Rajagopalan, K., Nihous, G. (2013). Estimates of global Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) resources using an ocean general circulation model. *Renewable Energy*, Vol. (50), p. 532-540.
- Sathiamoorthy, M, Probert SD. (1994). The integrated Severn barrage complex: harnessing tidal, wave and wind power. *Applied Energy*, Vol. (49), p. 17-46.
- Servicio Mareográfico Nacional. Mexico. <http://www.mareografico.unam.mx:8080/Mareografico/>. (Consultado 18.09.13)
- Stopaa, J., Filipot, J.F. & Li, N., et al. (2013). Wave energy resources along the Hawaiian Island chain. *Renewable Energy*, Vol. (55), p. 305- 321.
- The Severn Barrage—definition study for a new appraisal of the project. (2002). UK Department of Trade and Industry. ETSU report no. T/09/00212/00/REP.
- Xia, J.J., Falconer, R.A., Lin, B. (2010). Impact of different renewable energy projects in tidal hydrodynamic processes in the Severn Estuary, UK. *Océano Modeling*, Vol. (32), p. 86-104.
- Xia, J.Q, Falconer, R.A. & Lin, B.L. (2010). Impact of different tidal power projects on the hydrodynamic processes in the Severn Estuary. *Ocean Modelling*, Vol. (32), p. 86-104.
- Zhou, Z., Benbouzid, M. & Charpentier, J., et al. (2013). A review of energy storage technologies for marine current energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. (18), p. 390-400.