



PROPOSICIÓN DE UN MODELO DE CENTRAL DE ENERGÍA UNDIMOTRIZ EN UN SECTOR COSTERO DEL ÁREA DE VALPARAÍSO

Nicolás Guzmán Montesinos*

Chile es un país en pleno desarrollo, con un aumento de población y tecnología exponenciales que requieren obligatoriamente un mayor consumo energético y una mayor producción de energía eléctrica. La energía undimotriz se perfila como una alternativa de energía limpia y renovable, técnicamente viable para Valparaíso, y que cuenta con un gran potencial: las alturas de ola y períodos son adecuados, de acuerdo a los parámetros de las matrices de potencia de los dispositivos convertidores de energía.

Los resultados de esta investigación fueron obtenidos mediante el modelo numérico SWAN, para el cual se utilizó el método purista -con espectros de oleaje obtenidos del proyecto Olas Chile II- y usando batimetría GEBCO y batimetría obtenida en terreno. Los resultados indican que Punta Curaumilla se perfila como una alternativa atractiva para la generación de energía undimotriz, ya que se obtuvieron 126 Kw de potencia promedio para 20 años por metro lineal de ola.

- Introducción.

La creciente demanda energética mundial, el aumento del precio de los combustibles fósiles producto de su escasez, así como la contaminación y su nocivo impacto en el medio ambiente, han forzado a la industria global a buscar distintas fuentes de energía renovables con el fin de reemplazar los recursos energéticos no renovables. En Chile, la situación es idéntica, por lo que se hace indispensable comenzar a desarrollar sistemas de energía renovable, con el objetivo de mantener y aumentar el consumo energético, para así poder continuar con el progreso de nuestro país.

En atención a lo anterior, el problema de estudio consiste en que el 60% de nuestra matriz energética nacional

proviene de la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) para la generación de energía eléctrica, (véase figura 1). De este porcentaje, sólo un 20% de estos combustibles es producido en Chile, lo que nos hace depender en un 80% de la compra de éstos a otros países, afectando nuestra estabilidad económica y nuestro desarrollo en general.

Si bien la energía nuclear y la hidroeléctrica son energías libres de contaminantes, la primera depende del Uranio-235, recurso no renovable, y la segunda genera un impacto ambiental a veces no despreciable al embalsar los cauces naturales de los ríos. Estas situaciones han hecho que opciones basadas en Energías Renovables no Convencionales (ERNC), tales como la biomasa, y las energías geotér-

* Teniente 2° ING.NV.H.

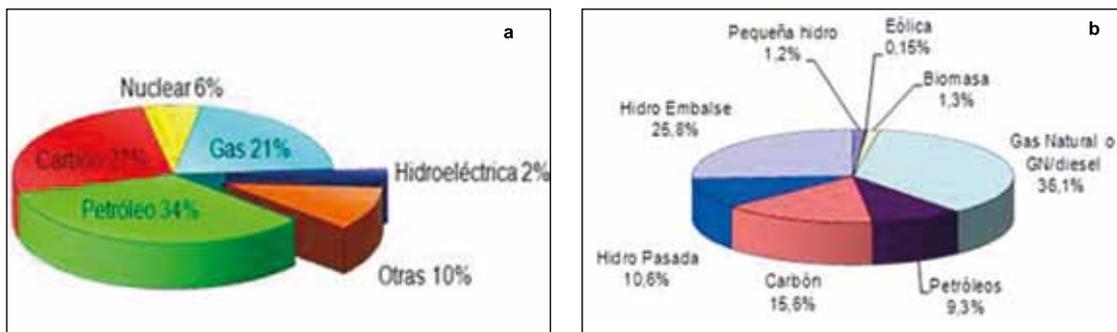


Figura 1. a) Matriz energética mundial [3] . b) Matriz energética de Chile del año 2008 [8].

mica, eólica, solar, mareomotriz y undimotriz, sean consideradas como alternativas potencialmente viables, pese a su dispar grado de desarrollo.

Dentro de las ERNC, la energía undimotriz ha captado la atención mundial debido a la gran disponibilidad del recurso que utiliza para su generación. La energía undimotriz corresponde a aquella generada por las olas del océano, una de las más poderosas de su especie, ya que “la energía de las olas es 5 veces mayor que la eólica a 20 metros sobre la superficie y entre 20 y 30 veces la energía solar” [1].

Chile posee un gran potencial para generar energía undimotriz, (véase figura 2), con un valor del recurso energético crudo nacional de 164 GW. Esto indica que “si un pequeño porcentaje de este recurso es utilizado, el impacto en la matriz energética chilena sería significativo” [2].

Además, el año 2008 fue publicada la Ley 20257, que establece que, para el año 2024, el 10% de la energía total nacional producida debe provenir de ERNC, en plazos progresivos, y con riesgo de elevadas multas, de no cumplirse un 5% entre 2010-2014.

Considerando los factores anteriores, este trabajo se orienta a evaluar la factibilidad de la instalación de una planta de energía undimotriz en el área de Valparaíso.

En caso de lograr lo planteado, se tendría una fuente energética alternativa, limpia y permanente en el tiempo. La pro-

yección en el tiempo es muy importante, ya que las fuentes que generan y controlan las olas (viento, gravedad, mareas, etc.) son inagotables. En caso de ser factible, la Armada podría utilizar este tipo de energía para abastecer a los buques de la Escuadra Nacional o a las reparticiones de tierra. Sin perjuicio de lo anterior, este sistema podría implementarse eventualmente en un futuro de mediano plazo en algún sector de la ciudad de Valparaíso. De esta forma, sea en el caso naval o civil, se comenzaría a utilizar energía proveniente de las olas, lo que mitigaría la quema de combustibles fósiles y la dependencia energética del extranjero, contribuyendo a la economía, al cuidado del medio ambiente y a los procesos asociados al calentamiento global.

- **Desarrollo.**

El objetivo general de este trabajo es determinar la factibilidad técnica de instalar una central de energía undimotriz en un sector costero del área de Valparaíso. Para poder cumplir lo anterior, se debió evaluar el oleaje en Valparaíso, determinar el sitio más energético, calcular la potencia del oleaje del sitio y seleccionar el dispositivo más adecuado.

Con el fin de evaluar el recurso de oleaje en la zona de Valparaíso, se requirió conocer las características de las olas en la costa de la provincia de dicha región, que comprende aproximadamente el territorio entre los 32,5° S y los 33,5° S.

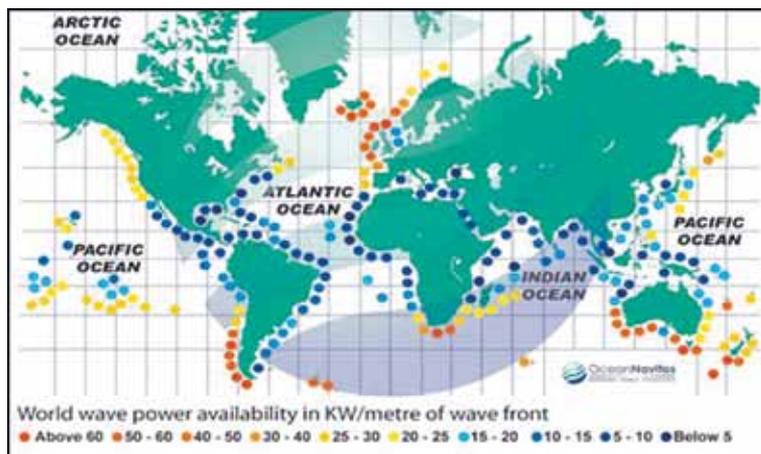


Figura 2. Potencial de energía undimotriz en el mundo [6].

Las características de las olas en la costa fueron obtenidas a través de la propagación de oleaje desde aguas profundas con el modelo numérico SWAN (Simulating Waves Nearshore). Este modelo calcula diversos fenómenos asociados al oleaje y es el más completo disponible actualmente en forma gratuita en el mercado. Para arrojar los resultados requeridos, este modelo necesita dos series de datos principales de entrada: los parámetros del oleaje y la batimetría. Los parámetros del oleaje utilizados corresponden a la base de datos espectrales o "hindcast" de oleaje de 20 años (1984-2004), obtenidos del nodo frente a las costas de Valparaíso del proyecto Olas Chile II, estudio elaborado por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) y la consultora Baird & Associates. Por su parte, la batimetría utilizada fue extraída de la base de datos GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans).

Antes de propagar hacia la costa de Valparaíso, se emplearon nueve espectros seleccionados en forma aleatoria, utilizando dos métodos de propagación diferentes, hacia la antigua posición de la boya Triaxys, de la cual se extrajeron los datos medidos in situ. Los métodos utilizados fueron el método de parámetros de resumen, que utiliza dichos parámetros

(altura significativa, período peak) y el método purista, que utiliza espectros de oleaje. Luego, se compararon los datos de la boya con los datos entregados por SWAN: se obtuvieron resultados de correlación de un 97% para las alturas significativas y de un 90% para los períodos peak al utilizar el método purista o espectral, lo que demuestra la alta precisión tanto del "hindcast" de Olas Chile, como del modelo numérico

SWAN, (véase figura 3). Las propagaciones que consideraron el método de parámetros de resumen resultaron ser menos precisas, pero aún se mantuvieron sobre el 90% de correlación. Por lo tanto, dependiendo del fin que se pretenda dar al estudio y de los medios con los que se cuente, se podrá definir qué método es más conveniente.

A continuación, se tomaron los espectros de 20 años de oleaje del "hindcast" y se obtuvo un promedio total por cada mes de data (en total, doce espectros). Estos espectros fueron ingresados al modelo SWAN junto con la batimetría GEBCO y fueron propagados hacia la costa de Valparaíso. Las propagaciones arrojaron como

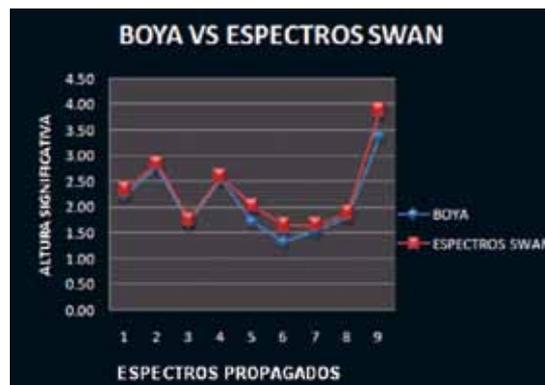


Figura 3: Comparación entre los espectros de oleaje entregados por el modelo numérico SWAN versus los datos medidos por la boya Triaxys en la bahía de Valparaíso.

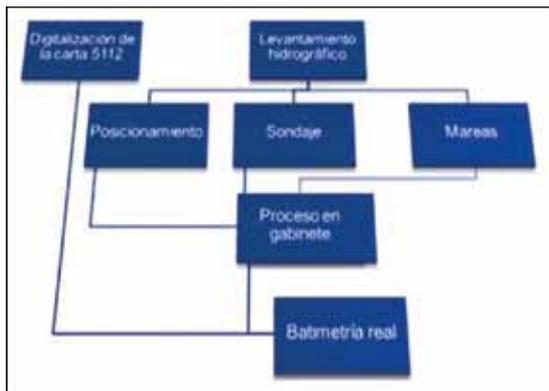


Figura 4: Esquema general de la obtención de la batimetría para la segunda serie de propagaciones.

resultado seis sectores de la provincia de Valparaíso que presentan alturas de ola sobre 2 metros, lo que potencialmente es positivo para la generación de energía undimotriz. También se observó poca variación mensual de las alturas, períodos y direcciones de los espectros propagados.

Para la elección del sitio, se creó un método de selección basado en un estudio anterior y en el que se consideraron altura de oleaje, cercanía a los centros de consumo, cercanía a la conexión eléctrica, pendiente de la batimetría, cercanía a las rutas de navegación principales y cercanía a los centros de explotación turística. A cada uno de estos factores se le asignó un valor y una ponderación, cuyo cálculo dio como resultado a Punta Curaumilla, ubicada a 5 kilómetros al sur de Valparaíso.

El cálculo de la potencia se obtuvo mediante el uso de ecuaciones derivadas de la teoría lineal del oleaje, a las que se les ingresaron los parámetros de oleaje entregados por SWAN. Para que SWAN pudiese calcular los parámetros de forma más precisa, se ingresaron los mismos espectros promedio anteriores, pero esta vez utilizando batimetría medida en terreno. Para obtener la batimetría, se hizo el proceso completo, abarcando desde la recolección de la data en terreno hasta la obtención de la sonda corregida por posicionamiento y marea (véase figura 4).

Esta batimetría fue obtenida mediante un levantamiento hidrográfico y la digita-

lización de la cartografía náutica vigente, ambos realizados durante el mes de mayo de 2010. Para la digitalización se utilizó el programa CARIS, con el cual se vectorizó la información escaneada de la carta SHOA N° 5112, correspondiente a la zona de interés.

Para el levantamiento hidrográfico, se ejecutó una comisión de terreno durante tres días en el área sur-veste de punta Curaumilla, que contaba con baja densidad de sondas y constituía un sector potencial de grandes alturas de olas, según lo arrojado por el modelo SWAN.

Para la recolección de la data batimétrica, se montó al costado de estribor del bote un equipo monohaz marca KNUDSEN, modelo 320M/P. Las líneas de sondeaje fueron programadas con antelación en el programa HYPACK, con un espaciado de 100 metros entre líneas y desde los 100 metros de profundidad hacia la costa.

Con el fin de diferenciar entre la batimetría medida en terreno y GEBCO, se efectuó una comparación entre ambas, (véase figura 5), lo que permitió identificar errores en los sectores cercanos a costa de hasta 240 metros en vertical, lo que provoca errores de estimación del recurso de oleaje de un 30%.

Para procesar la data obtenida en terreno, se debió efectuar el procesamiento de la data de mareas, la data geodésica y

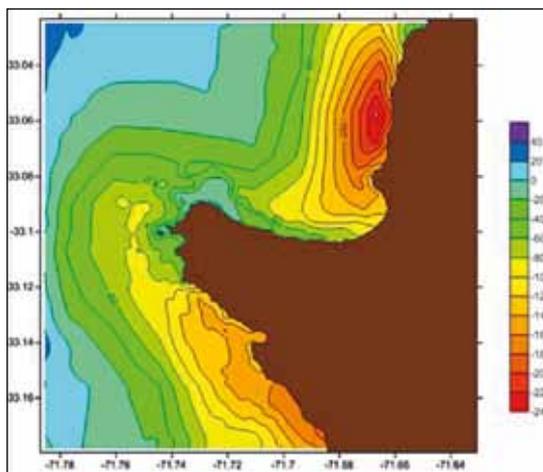


Figura 5: Superposición de las diferencias de altitud y profundidad entre la batimetría GEBCO y la batimetría obtenida en terreno.

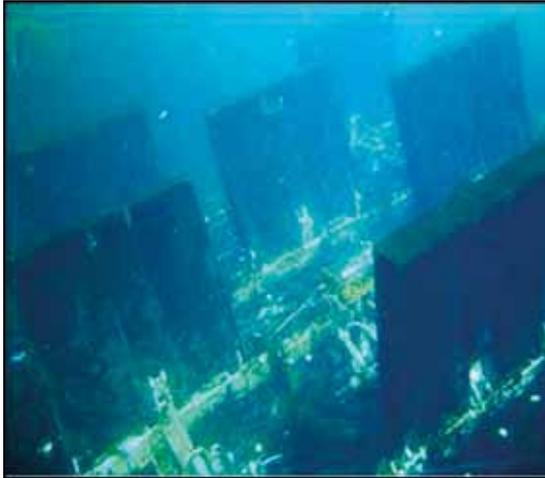


Figura 6. a) Dispositivo Waveroller [7]. b) Dispositivo Oyster [4].

la data batimétrica. Todos estos procedimientos fueron efectuados en el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), en los respectivos departamentos y secciones de cada uno de los procesos.

Luego, se efectuaron las propagaciones de los doce espectros hacia Punta Curau-milla, con una resolución mucho mayor del modelo - producto de la menor área de propagación - y con la batimetría obtenida en terreno. Los resultados promedio anual para el sitio más energético, ubicado al sur-weste de la punta, fueron de 3.5 metros de altura significativa, 13.5 segundos de período peak, dirección sur-weste, 16223 Joule/mt² de energía, 126000 Watts/mt de potencia de entrada y una baja variabilidad mensual del recurso, constituyéndose así Punta Curau-milla en un lugar sumamente atractivo para la generación de energía undimotriz.

Finalmente, para la elección del dispositivo más adecuado para la generación de energía en el sitio determinado, se utilizó un criterio de selección basado en el grado de desarrollo de los dispositivos, su ubicación y su potencia de salida. Los dispositivos en etapas comerciales, pre-comerciales y probados a escala real fueron los pre-seleccionados. Luego, de acuerdo a su ubicación horizontal y vertical, basado a su vez en la ubicación del mayor recurso energético, sólo dos de

los dispositivos cumplieron con las condiciones para ambas ubicaciones: Oyster y WaveRoller, (véase figura 6).

Ahora bien, las potencias de salida de ambos dispositivos son diferentes: Oyster destaca con una mayor potencia de salida por metro cuadrado de dispositivo (véase figura 7); sin embargo, para igualar la potencia de Oyster, se requiere de una mayor cantidad de dispositivos de Wave-Roller, por lo que únicamente un estudio económico podría diferenciarlos, análisis que no se encuentra dentro del alcance de este estudio. Por lo tanto, ambos dispositivos cumplen las condiciones para constituirse como una central de energía undimotriz en el sector determinado, al sur-weste de Punta Curau-milla.

- Conclusiones y Recomendaciones.

Las ERNC se perfilan como una alternativa al problema energético para Chile, ya que son inagotables, no contaminan y cuentan con incentivos legales para su producción. Dentro de las ERNC, la energía undimotriz es una de las más poderosas, según estudios recientes.

Valparaíso tiene un gran potencial para generar energía undimotriz, en particular en el sector de Punta Curau-milla, donde las condiciones son altamente favorables, con olas de 3.5 metros, período

dos de 13.5 segundos y potencia de 122 Kilowatts por metro de ola. Además, la variabilidad mensual es baja, lo que mejora las condiciones para la instalación de una central.

En cuanto al método, el purista resultó ser el más adecuado para la propagación de oleaje, en comparación con otros.

Los datos de Olas Chile II, el modelo numérico SWAN y la batimetría GEBCO son altamente precisos para las propagaciones en aguas profundas; sin embargo, para aguas someras es necesario utilizar batimetrías medidas en terreno, para así no incurrir en errores sobre la estimación del recurso de oleaje.

Por último, los dispositivos Oyster y WaveRoller se adecuan en buena

forma a las condiciones del sitio seleccionado.

Se recomienda seguir con esta investigación y complementarla a través de los siguientes estudios: impacto ambiental, eléctrico, transporte de sedimentos, análisis técnico-económico y topográfico. De esta forma, se podrá verificar la factibilidad técnica de implementar el estudio anterior. También se recomienda realizar pruebas en la mar con un prototipo de los dispositivos propuestos y comparar los resultados prácticos con los teóricos. Finalmente, se sugiere extender el estudio a otras áreas del país, en busca de sitios de iguales o mejores condiciones para la generación de este tipo de energía.

Oyster power matrix assuming same Hs as deep water, wave saturated above Hs = 4.0m

		Energy period (secs)								
		5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0
Significant wave height (m)	0.5	idle	idle	idle	idle	idle	idle	1	3	3
	1.0	20	30	38	42	44	44	45	47	45
	1.5	80	85	92	97	102	103	104	100	104
	2.0	140	147	152	156	155	155	160	161	156
	2.5	192	197	208	202	203	209	211	201	204
	3.0	241	237	237	241	243	238	236	231	235
	3.5	-	271	272	269	268	267	270	260	260
	4.0	-	291	290	290	280	281	276	278	277
	4.5	-	291	290	290	280	287	276	278	277
	5.0	-	-	290	290	280	287	276	278	277
5.5	-	-	290	290	280	287	276	278	277	
6.0	-	-	290	290	280	287	276	278	277	

Figura 7. Matriz de potencia de salida del dispositivo Oyster [5]. Nótese que la potencia con las características de oleaje en Punta Curaumilla, podrían tener funcionando al dispositivo casi en su potencia nominal (máxima).

* * *

BIBLIOGRAFÍA

[1] Bhattacharyya, R. y McCormick, M. (eds.), Wave Energy Conversion, Oxford: Elsevier, 2003.
 [2] Cruz, J., et al., Preliminary Site Selection – Chilean Marine Energy Resources, Garrad Hassan, 2009.
 [3] http://cefir.org.uy/atlas/index.php?option=com_content&view=article &id=1 &Itemid=2
 [4] <http://www.aquamarinepower.com/technologies/>
 [5] <http://www.inference.phy.cam.ac.uk/cps/energy/TrevorWhittaker.pdf>
 [6] http://www.oceannavitas.com/r_and_d/the_resource.html
 [7] <http://www.rise.org.au/info/Tech/wave/index.html>
 [8] <http://www.solounplaneta.com/2007/10/15/chile-y-la-energia/>