

Artículo de revisión:

## Desarrollo de la Energía Mareomotriz en Chile

Daniel Vega Salinas

Gerente Técnico, DVS Tecnología, Casilla 641, Puerto Varas, Chile. E-mail:  
danielvegasalinas@gmail.com

### Resumen

El presente artículo trata una revisión del estado del arte de la energía marina, que puede ser generada por las mareas o el oleaje, se analizaron las experiencias a nivel mundial, así como se estudió la factibilidad técnica y económica de la instalación de esta fuente de energía en Chile, específicamente para la industria del cultivo de salmón.

Palabras clave: energía marina, mareas, oleaje, acuicultura.

### Abstract

The present study is a review of marine energy sources, that can be generated by tidal or waves, it analyzed the experiences at worldwide level, and it was studied the technical and economical factibility of use of this energetic source in Chile, specifically in salmon farming industry.

Keywords: marine energy, tides, wave, aquaculture.

### Introducción

La Energía Marina puede ser dividida en dos grandes grupos (Fig. 1): la energía Undimotriz que corresponde a la energía que se logra a partir de energía mecánica generada por el movimiento de las olas; y la energía Mareomotriz que se obtiene aprovechando la energía cinética de las mareas.



Fig. 1. Clasificación y ejemplos de Energía Marina: Undimotriz y Mareomotriz.

Para las energías Mareomotrices existen principalmente dos formas de aprovechar la energía de las mareas: mediante una barrera utilizar su energía potencial (Fig 2a), y la otra es aprovechando la energía cinética de las mareas con una Turbina de Flujo Abierto (Fig. 2b).

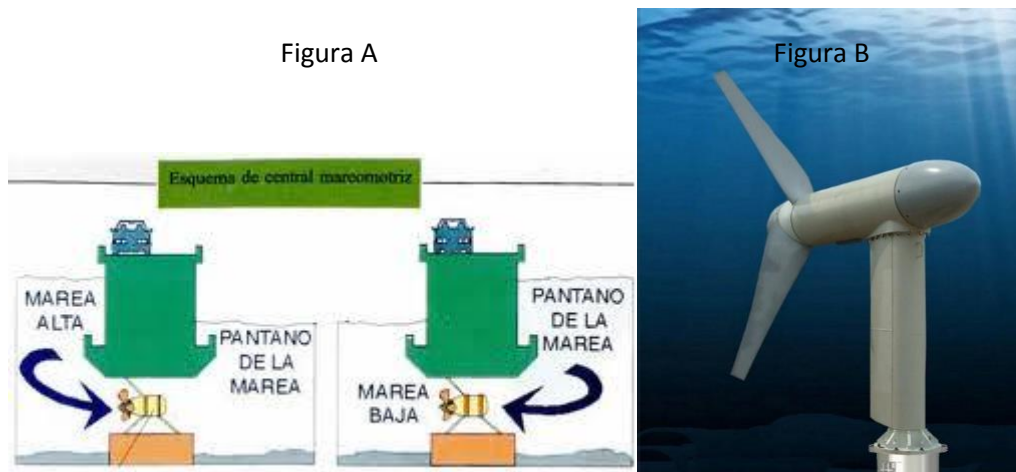


Fig. 2. Utilización de la energía potencial de las Corrientes de Mareas, generando por medio de Turbinas de Mareas de Flujo Confinado en una barrera o de vallas (A), o aprovechando su energía cinética con una turbina de Flujo Abierto (B).

La Energía Marina está siendo una alternativa real de energía, y diversas iniciativas a distintas escalas están instalándose actualmente en más de 15 países (Tabla 1). Los problemas

técnicos se han ido solucionando paulatinamente. Pero continúa siendo el mayor obstáculo el financiero.

Tabla N° 1

Resumen de Proyectos con Utilización de Energía Marina en el Mundo. Modificado de Bustamente A. (2009)										
Orden	Proyecto	Potencia (kW)	Lugar	Tipo	Orden	Proyecto	Potencia (MW)	Centrales	Lugar	Tipo
1	Pico	500	Azores	Oleaje	1	Varias potencias acumuladas	6.210	8	China	Mareomotriz
2	Limpet	500	Escocia	Oleaje	2	Sihwa Lake Station	254		Corea de Sur	Mareomotriz
3	Osprey	500	Escocia	Oleaje	3	Central Rance	240	1	Francia	Mareomotriz
4	KVAerner	500	Noruega	Oleaje	4	Sistema CETO	210		EE.UU	Mareomotérmica
5	Tapchan	400	Noruega	Prototipo	5	Annapolis	18		Canadá	Mareomotriz
6	Central Kislaya	400	Rusia	Mareomotriz	6	Kislaya	8,0		Rusia	Mareomotriz
7	Madrás	150	India	Oleaje	7	Balsa Cockerell	2,0		Inglaterra	Oleaje
8	OWEC	15 - 150		Comercial	8	Flotador Vessel	1,5		Suecia	Experimental
9	Turbinas marinas	110	Inglaterra	Corrientes marinas	9	Clam	1,25			Prototipo
10	Mighty Whale	110	Japón	Prototipo	10	Tapchan	1,1		Indonesia	Oleaje
11	Belfast	75	EE.UU	Prototipo						
12	Sakata	60	Japón	Prototipo						
13	Bomba de Pistón	45	Dinamarca	Oleaje						
14	Boya Masuda	40	Japón	Oleaje						
15	China	30	China	Oleaje						
16	Unión Ferosa	30	España (La Coruña)	Oleaje						
17	Kujukuri	30	Japón	Oleaje						
18	Péndulo	15	Japón	Oleaje						
19	Kaimai	1,3	Japón	Prototipo						
20	Mc Cabe		Irlanda	Prototipo						
21	BBDB		Japón	Generador flotante						

Aunque hay varios prototipos de hélices submarinas a prueba, aún la Energía Mareomotriz no es una industria desarrollada. Francia, Rusia, Escocia, Canadá y Estados Unidos fueron de los primeros países que emprendieron la tarea de I+D, y tienen la tarea bastante avanzada, pero queda mucho por hacer. Con qué materiales construir las turbinas, de qué formas y tamaños, y a qué profundidad, siguen siendo preguntas sin una respuesta única o que tenga un estándar.



Fig. 3. Instalaciones de Generación Mareomotriz en Funcionamiento

A pesar de que las Turbinas de Mareas fueron propuestas poco después de la crisis de petróleo de los años 70, estas turbinas sólo se convirtieron en una realidad en la última década, cuando una turbina de “prueba de concepto” de 15 kw fue operada en Linnhe, Escocia. Prototipo similar a una turbina de viento de eje horizontal de Flujo Abierto, precursor de la hélice SeaGen (Fig. 3), que ofrece ventajas significantes sobre los sistemas de Flujo Confinado (Fig. 2a), que incluyendo menores efectos nocivos sobre el medio ambiente. El año 2007 se instalaron las primeras turbinas que aprovechan esta energía. Éstas fueron instaladas en East River en Nueva York, EEUU, en Kvalsundet, Noruega y en Lynmouth, Inglaterra (Fig. 3).

Como la primera propuesta de Energía Mareomotriz en Chile, se puede indicar cuando René Fischman junto con la empresa Burge de Blue Energy Canada Inc. (BEC) proponen el año 2005, hacer un viaducto en el Canal de Chacao con su tecnología de puente de marea, para producir a gran escala energía eléctrica. Posteriormente Fischman trae a Chile el 2009 a Alexander Gorlov, profesor de la Northeastern University de Boston e inventor de la turbina helicoidal vertical (GHT).

En Enero del 2009 con financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) CORFO y la Comisión Nacional de Energía (CNE) encargan a la empresa Garrad Hassan & Partners (IGH), el estudio “El Potencial de la Energía Marina en el país”. Este estudio concluye que la Energía Marina (Mareomotriz + Undimotriz) en Chile es de 240 GW, energía que es equivalente a 15 veces más de la potencia instalada en el país (16 GW).

En Agosto del 2010 la empresa chileno-canadiense Hydrochile otorga Becas a 2 Magíster en Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Católica, bajo el Convenio del Departamento de Ingeniería de la U. Católica y la empresa Hydrochile. Con financiamiento Innova- CORFO se inicia el Proyecto: “Catastro del recurso energético asociado al oleaje para el apoyo de proyectos de generación de energía undimotriz”. Con fondos FONDEF por 700 millones se inicia (Marzo 2011) el Proyecto: “Evaluación del recurso energético asociado a corrientes mareales en el Canal de Chacao para la selección e implementación de dispositivos de recuperación de energía”.

Posteriormente (2011) personal de InvestChile viajan a la Universidad de Edimburgo, para conocer desarrollo en la Energía Marina. Ese mismo año Fischman da la Charla Técnica: “Puente de Chacao + Energía Marina” en el Centro para el Progreso y la Gobernación Provincial de Llanquihue. Un especialista de Energías Renovables del BID, señala que países como Canadá, Reino Unido y España, se encuentran muy interesados en probar los distintos tipos de generadores mareomotrices en condiciones reales de operación y no en laboratorios.

El Ministerio de Energía indica el año 2011 que se encontraban en ejecución 12 proyectos en: evaluación del potencial asociado a olas y corrientes marinas; diseño de prototipos de equipos de generación; análisis de comportamiento de vientos y mareas; evaluación de distintas tecnologías y la aplicabilidad a la realidad nacional; y el desarrollo de proyectos pilotos en zonas rurales o de difícil acceso.

El Ministerio de Energía, BID y Scottish Development International producen el año 2012 el Seminario de Energías Marinas de Chile (2012). En Abril del mismo año se entrega el estudio: “Energía Marina en Chile. Avanzando en el Desarrollo del Recurso Chileno”. Trabajo en donde se concluye que la Energía Marina en el país se presenta como una de las mejores del mundo.

En Brasil en el mes Junio del 2012 se realiza la Cumbre de Desarrollo Sustentable de Naciones Unidas, conocida con la sigla Rio+20, donde se reúnen la Ministra del Medio Ambiente, el embajador de Chile en Reino Unido, y el ministro principal de Escocia, para plantearle las ventajas de esta energía renovable y ofrecer el apoyo Escoses, si es que Chile decidía dar el paso. En diciembre del mismo año se difunde el Proyecto Marinet, dedicado a la investigación transnacional del recurso marino en la Eurozona, donde participa Brasil. El Ministerio de Minería (Marzo 2013) inicia la elaboración de una Estrategia para el Desarrollo de la Energía Marina en Chile.

La Universidad de Santiago (USACH) firma Convenio en Marzo 2013 con el Instituto de Investigaciones Científicas de Instalaciones Energéticas de Rusia (IICE), para orientar el análisis de la energía eléctrica a partir de energía Undimotriz.

### Aspectos Legales

Una Concesión Marítima implica el pago por el uso de la superficie concedida. En este sentido, hay una serie de potenciales opciones que podrían ser implementadas en línea con el marco legislativo en Chile, sin embargo, no existe en nuestra legislación en forma explícita el uso de una Concesión Marítima para uso de la Energía Marina, por lo tanto, se plantea en estudios jurídicos al respecto, que es imprescindible capacitar en esta materia a los que otorgar las Concesiones Marítimas.

Se plantea también en dichos estudios, que una forma de otorgar estas Concesiones sería siguiendo un enfoque similar al de las Concesiones Mineras. En estas existen dos tipos de concesiones: Concesiones de Exploración y Concesiones de Explotación. Una Concesión de Exploración aborda la exploración de un área, mientras una Concesión de Explotación es adjudicada para comenzar la operación de una mina en un área específica. La Concesión de Exploración tiene un costo significativamente menor y una duración de dos años (extensible por un período adicional de dos años por la mitad del área solicitada en un principio), mientras que la Concesión de Explotación tiene una duración ilimitada.

Los estudios jurídicos plantean que un enfoque similar podría ser seguido para la Energía Marina: la adjudicación de las empresas de una Concesión pequeña y barata para llevar a cabo investigación en un área específica, entonces, una vez que la compañía es capaz de desarrollar un proyecto, la Concesión se otorga de manera similar a la normativa vigente. En este sentido, podrían ser adaptadas y utilizadas acciones similares a las tomadas por el Ministerio de Bienes Nacionales para los proyectos Eólicos. El Ministerio se dio cuenta que las tarifas cobradas por el Gobierno para el uso de terrenos eran demasiado altos, haciendo que los proyectos Eólicos sean económicamente inviables, por ello se tomaron acciones para reducir los cobros de uso de terreno cuando éstos eran usados para proyectos eólicos.

### Aspectos Técnicos conocidos

La mayor densidad que tiene el agua de mar ( $1.030 \text{ kg/m}^3$ ) en comparación con la del aire ( $1.225 \text{ kg/m}^3$ ), permite que una central Mareomotriz pueda ser operada con bastante menos velocidad de agua, para alcanzar la misma potencia que una central Eólica, o con una menor área de exposición en sus hélices. Por tal motivo, una velocidad de corriente marina de 2 m/s equivale en viento a una velocidad de 18 m/s (Fig. 4).

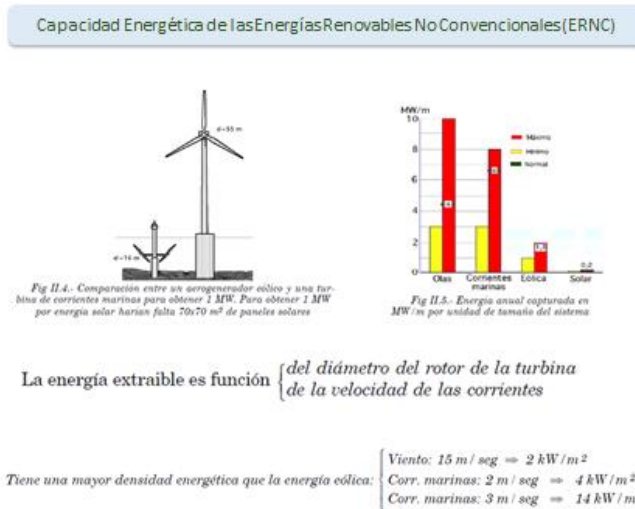


Fig. 4. Comparación gráfica de la capacidad de generación entre la Energía Eólica y Mareomotriz. Tomado de:

<http://files.pfernandezdiez.es/EnergiasAlternativas/mar/PDFs/02Corrientes.pdf>

Por otra parte, se señala que las Turbinas de Mareas de Flujo Abierto utilizan las corrientes que se mueven con velocidades entre 1 y 2,5 m/s (2 a 5 nudos) generando entre 0,2 a 4,3 kW/m<sup>2</sup> respectivamente. Una corriente de más rápido movimiento (> 3 m/s) puede producir daños en las hélices de la misma forma que un vendaval de gran fuerza puede dañar a los generadores de turbina de viento tradicionales, mientras que a velocidades menores no generan beneficios económicos (Fig. 5).

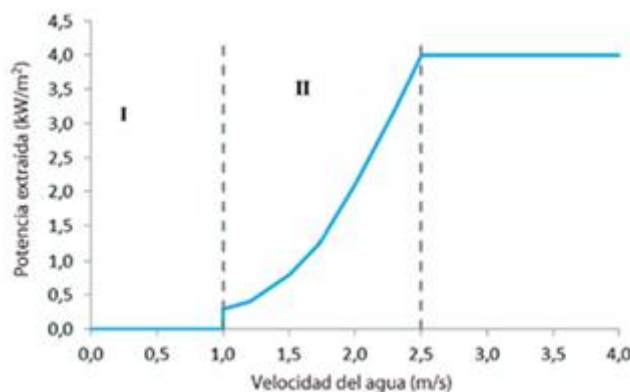


Fig. 5. Velocidades de Corrientes de Mareas que son aprovechables para producir energía eléctrica por medio de una Turbina de Mareas de Flujo Abierto. Tomado de Energía Marina en Chile. Avanzando en el Desarrollo del Recurso Chileno. Informe desarrollado por Errázuriz & Asociados Ingenieros en cooperación con la Universidad de Edimburgo y la empresa de abogados Guerrero, Olivos, Novoa y Errázuriz de Chile, para la Embajada Británica en Chile. Abril 2012.

### Problemas para el Aprovechamiento de la Energía Mareomotriz en Chile

Como se ha indicado, Chile se cuenta entre los países que dispone de uno de los mayores potenciales de Energía Marina en el mundo (240 GW), según el estudio CORFO-CNE-BID 2009. Concentrándose en la zona austral de Chile (desde Puerto Montt al sur), las áreas donde estaría la mayor cantidad de energía Mareomotriz potencial, la que se encuentra mayormente concentrada en sus estuarios, canales, fiordos e islas (Fig. 6).

Sin embargo en el estudio de Errázuriz & Asociados Ingenieros (2012), referenciando al trabajo CORFO-CNE-BID 2009, se plantea como uno de los mayores problemas a solucionar, y que tendría en la zona austral de Chile como una gran limitante para el desarrollo de la utilización de la Energía Mareomotriz a partir de su energía cinética: es no poder disponer de estudios más acabados de las corrientes, ya que, es necesario para su implementación de las correntometrías de muchos puntos, en distintos tiempos y profundidades, para poder tener un perfil real de la distribución de corrientes, tanto en el tiempo como en el espacio.

Por otra parte en la zona costera las oscilaciones de las Corrientes de Mareas, generalmente, son elípticas y rotatorias, mientras que en zonas donde la dirección de la circulación es restringida como en ríos, estrechos, canales y fiordos, las corrientes son reversibles. Debido a este comportamiento reversible se genera un momento donde la magnitud de la corriente es cero, conocido como Estoa. Dado que la disminución o aumento en la mayor parte de los casos es progresiva, se habla de un “Período de Estoa” y en este período la magnitud de la corriente es cercana a cero.

Por esta razón, las Corrientes de Mareas responden a un patrón que no sólo depende del forzamiento mareal, sino también de perturbaciones no-lineales asociadas a armónicos de aguas someras (Speer et al. 1991), de fricción lateral o de fondo (Cáceres et al. 2003), o a variaciones en el campo local del viento (Cáceres et al. 2002). En la práctica, esto conlleva a que la energía cinética disponible a partir de las Corrientes de Mareas, son por una parte cíclicas y predecibles, así como también de intensidades variables, partiendo de muy baja intensidad o inexistentes hasta las que se requieran como rango máximo (Fig. 7).

Por lo tanto, la otra dificultad que se esgrime para el desarrollo de la Energía Mareomotriz es la propiedad fluctuante de la disponibilidad de energía, que se produce con las Corrientes de Mareas, que hace necesario como trabajo previo, disponer de una técnica de acumulación de la energía, para que, posteriormente pueda estar disponible en forma continua, lo que permitiría mantener la calidad de suministro al sistema que lo requiera.



Dicho lo anterior, es necesario indicar, que si bien gran parte de estas problemáticas son verdaderas, recientemente (Abril 2014) se ha financiado un proyecto a la empresa DVS Tecnología (tecnología aplicada) por medio de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), y participación como asociados al proyecto de las empresas Efficiency (eficiencia energética) y Mainstream (salmonera), para que “Desarrolle un Sistema Autónomo de Generación Eléctrica a partir de la energía cinética de las corrientes marinas, para disminuir sustancialmente el uso del Petróleo en los Centros de Engorda de Salmones en el Mar”. Proyecto que se ha denominado Pontones de Energía.

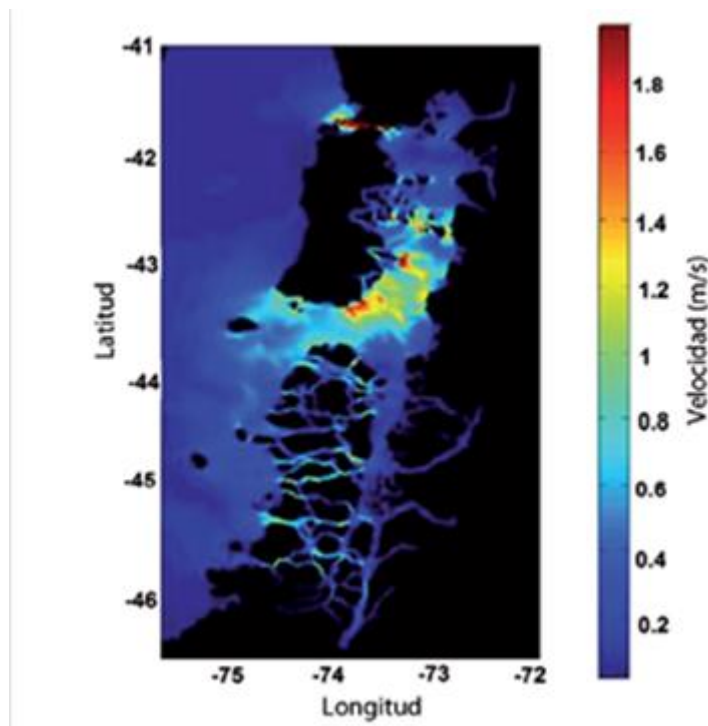


Fig. 6. Mapa de Velocidades de Corrientes de Mareas Potenciales que son aprovechables para producir energía eléctrica por medio de una Turbina de Mareas de Flujo Abierto. Tomado de Energía Marina en Chile. Avanzando en el Desarrollo del Recurso Chileno. Informe desarrollado por Errázuriz & Asociados Ingenieros en cooperación con la Universidad de Edimburgo y la empresa de abogados Guerrero, Olivos, Novoa y Errázuriz de Chile, para la Embajada Británica en Chile. Abril 2012.

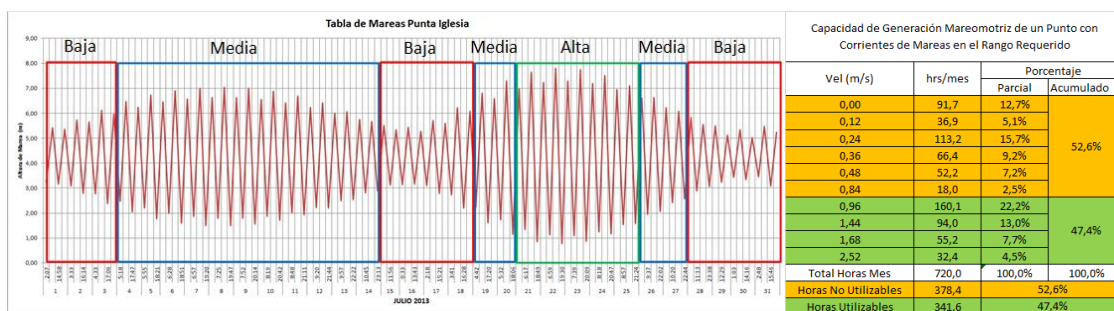


Fig. 7. Estimación de la Capacidad de Generación Mareomotriz de un Punto de Corrientes de Mareas en el Rango Requerido

### Proyecto Pontones de Energía

Las empresas salmoneras instaladas en el sur de Chile, y que se concentran mayoritariamente entre las Regiones X y XI, disponen de una completa información de la Correntometría del área donde se instala un Centro de Engorda (Fig. 8). Esto es porque ellos deben asegurarse por distintas razones técnicas, que su centro no quede en una corriente que sobrepase los 3 Nudos (154 cm/s) en Sicigias; y por otra parte, que las velocidades de corrientes no sean menores a 0,2 Nudos (10 cm/s) en Cuadratura.

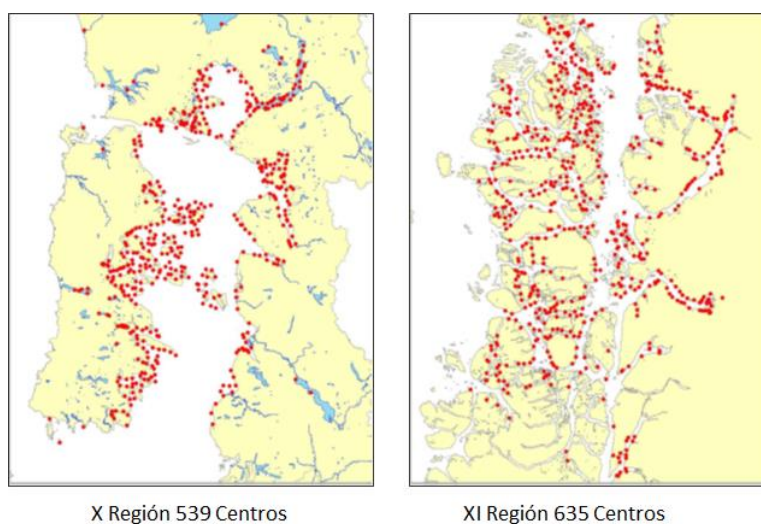


Fig. 8. Ubicación de la Concesiones Salmoneras, de las Regiones X y XI del sur de Chile.

Normalmente el rango de la velocidad en que se encuentran ubicados los módulos de cultivos, son de baja intensidad (10 a 154 cm/s), como para poder utilizar la energía cinética de las Corrientes de Mareas que les afectan, dado que como se ha indicado, se requiere de un rango que varía idealmente entre 100 y 250 cm/s. Sin embargo, existen lugares próximos a los Centros

de Engorda, donde las velocidades oscilan entre 2,0 y 5,0 Nudos, y que corresponden a zonas donde las Corrientes de Mareas responden a un patrón que no sólo depende del forzamiento mareal, sino también de perturbaciones no-lineales asociadas a armónicos de aguas someras, de fricción lateral o de fondo, o a variaciones en el campo local del viento, como hemos indicado que lo señalan distintos estudios (Speer et al. 1991, Cáceres et al. 2003, Cáceres et al. 2002).

Con el apoyo y el suministro de información que proporcionan las empresas salmoneras en general y Mainstream en particular, se ubicara el punto más adecuado y próximo a un Centro de Engorda, para la generación de energía Mareomotriz que permitan las Corrientes de Mareas en el rango requerido (1 a 2,5 m/s).

Por otra parte el Proyecto Pontón de Energía considera desarrollar de una Turbina de Flujo Abierto, que permita captar la energía cinética de las Corrientes de Mareas y transformarla en energía útil. Dado que todas las turbinas existentes en el mercado son patentadas, y de un costo que dé inicio dejarían inviable su implementación, el proyecto considera utilizar una modificación del equipo Desplazador de Masas de Agua (DMA). El DMA es un equipo hidromecánico que fue desarrollado en Chile, con patentes en Estados Unidos, Canadá y Chile. Dentro de sus principales características del DMA, se encuentra la capacidad de mover grandes masas de agua (4.320 m<sup>3</sup>/hr) con un consumo neto de potencia de 10 kW; que puede ser sumergido hasta los 15 metros de profundidad; y que está capacitado para trabajo pesado en forma continua (12 x 24 horas) durante meses, sin necesidad de ser retirado del agua para realizar mantenimiento. Este equipo a trabajo desde el año 2000 en la industria salmonera, acumulando a la fecha cerca de 10.000 horas de operación real, por tanto, ya se dispone de la experiencia necesaria para el requerimiento en un uso Mareomotriz.

Para el efecto se le debe implementar una hélice captadora de energía de 6,5 m de diámetro (Fig. 9). Hélice que se encuentra en la etapa de cálculo y diseño por Gonzalo Tampier Ingeniero Naval de la Universidad Austral de Chile y Doctor en Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Técnica de Berlín - Alemania, y Claudio Troncoso Ingeniero Naval y Tesista Magíster en Ingeniería para la Innovación de la Universidad Austral de Chile.

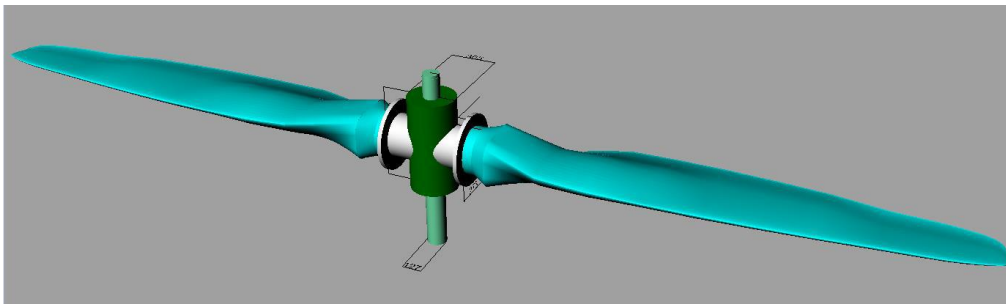


Fig. 9. Diseño Preliminar de Hélice Generadora de 6,5 m de Diámetro.

Para la acumulación y almacenamiento de la energía de las corrientes de mareas, el Pontón de Energía estará dotado de un sistema de almacenamiento de hidrógeno ( $H_2$ ) para cubrir momentos de baja generación consecuencia de los ciclos diarios y mensuales en las corrientes. Considerando el alto consumo de energía que presentan los alimentadores de peces, se descartó el uso de baterías convencionales como medio de almacenamiento, y se optó en su reemplazo por la producción de hidrógeno ( $H_2$ ) con la energía sobrante, utilizando una Celda electrolítica de agua de mar. El  $H_2$  se producirá a partir de electrólisis del agua durante el tiempo en que las turbinas están generando, para luego utilizarlo como combustible y producir electricidad homogénea, estable y contra demanda. La electrólisis se realizará con flujo continuo de agua de mar y producirá:  $H_2$  y  $O_2$ , evitando de este modo la formación de un lodo salino con alta concentración de cloro ( $Cl_2$ ) y/o hipoclorito de sodio ( $NaClO$ ) cuyo estudio y disposición final requeriría de un protocolo particular. Por último la oxidación del  $H_2$  en una Pila producirá electricidad y agua, como se muestra en la Fig. 10.

Otro aspecto importante para el Proyecto es respecto de la producción, almacenamiento y uso del hidrógeno, es que no existen indicios de que en Chile se produzca  $H_2$  a partir de ERNC, y tampoco que se esté utilizando como fuente primaria de energía. Respecto de su producción, este se produce a partir de hidrocarburos y también a partir de electrólisis del  $H_2O$  (INDURA 2013), pero no a partir de Agua de Mar. Respecto de su almacenamiento y transporte existe amplia experiencia al respecto, pues recibe el mismo trato que otros gases inflamables.

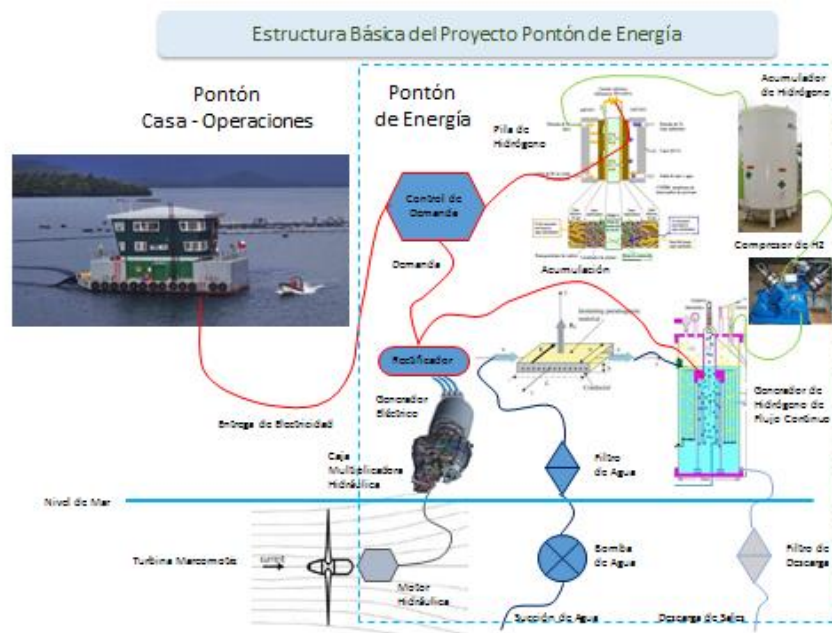


Fig. 10. Estructura Básica del Proyecto Pontón de Energía.

Respecto de la tecnología y conocimiento requeridos para la explotación del H<sub>2</sub> como un medio de almacenamiento de energía, el Proyecto postula utilizar 2 tecnologías: 1) Producir H<sub>2</sub> utilizando una Celda de electrólisis de agua de mar; y 2) Convertir el H<sub>2</sub> en energía eléctrica utilizando una Pila de H<sub>2</sub>.

Para electrólisis con agua de mar se han encontrado trabajos que indican que las Celdas al trabajar con agua fresca de mar tienden a producir H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, sin embargo en la medida que el caldo se concentra la tendencia es a la producción de H<sub>2</sub> y Cl<sub>2</sub> (The Open Fuel Cells Journal, 2010, 3, 1-7). Otros trabajos indican que esto se puede solucionar utilizando una membrana selectiva, al tiempo de revestir el cátodo con un polímero en base a Iridium IV (IrO<sub>2</sub>) para aumentar la eficiencia casi al 100% de recuperación del O<sub>2</sub>.

Una Pila de combustible es un dispositivo que convierte la energía química de un combustible en electricidad a través de una reacción química con el oxígeno u otro agente oxidante, las de H<sub>2</sub> son las más comunes, pero también las hay de hidrocarburos como el gas natural y alcoholes como metanol. Las Pilas de combustible son diferentes de baterías en que requieren una fuente constante de combustible y oxígeno / aire para mantener la reacción química, sin embargo, las celdas de combustible puede producir electricidad continuamente durante el tiempo que se suministran estas entradas.

Las primeras Pilas de combustible fueron inventados en 1838, pero su primer uso comercial llegó después de un siglo en la NASA, donde los programas espaciales las utilizan para generar energía para sondas, satélites y cápsulas espaciales. Desde entonces, las celdas de combustible se han utilizado en muchas otras aplicaciones, en especial como fuentes de respaldo para edificios comerciales, industriales y residenciales y en zonas remotas o de difícil acceso. También se utilizan como fuente primaria en: ascensores, automóviles, autobuses, aviones, barcos, motocicletas y submarinos.

La eficiencia energética de una Pila de combustible es generalmente entre 40-60%, o hasta 85% de eficiencia en cogeneración, si se captura el calor residual para su uso. El mercado de Pilas de combustible está creciendo, y Pike Research estima que el mercado de Pilas de combustible estacionarias llegará a 50 GW en 2020.

La solución propuesta para ser implementada en el Proyecto no intervendrá el Pontón-Casa; sólo suministrará una nueva fuente de electricidad que podrá alternarse con el uso del actual generador a petróleo, desplazándolo al uso en emergencias. La solución propuesta por el proyecto Pontón de Energía comprende fundamentalmente diseñar, construir e integrar sistemas de: 1) Turbinas de Paso y Sistema de Generación Eléctrica; 2) Sistema de Producción y Almacenamiento de Hidrógeno; y 3) Sistema de Generación Eléctrica en base a una Pila que se le suministra Hidrógeno y aire.

### Referencias

- Bustamante, A. 2009. Estudio de Factibilidad Técnica para Generación de Energía del Océano en Pontones de Salmoneras: Sugerencia de Tecnología y Diseño. Memoria de Título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Escuela de Ingeniería en Obras Civiles. Universidad Diego Portales. Santiago Chile. 78 pp.
- Dagá, J. 2008. Aprovechamiento Hidroeléctrico de las Mareas y su posible Desarrollo en Chile. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. 200 pp.
- Errázuriz, et. al. 2012. Energía Marina en Chile. Avanzando en el Desarrollo del Recurso Chileno. Informe desarrollado por en cooperación con la Universidad de Edimburgo y la empresa de abogados Guerrero, Olivos, Novoa y Errázuriz de Chile, para la Embajada Británica en Chile. 92 pp.
- Fernandez, P. II.- Energía de las Corrientes Marinas. 17 pp.  
<http://files.pfernandezdiez.es/EnergiasAlternativas/mar/PDFs/02Corrientes.pdf>
- Philippi, et. al. 2013. Análisis del marco regulatorio para incorporar fuentes de energías renovables no convencionales en el mar chileno. 322 pp.
- Versalovic, S. 2011. Identificación de Barreras para el Desarrollo de la Energía Marina en Chile. Memoria de Título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Escuela de Pregrado. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. 34 pp.