

ENERGÍA UNDIMOTRIZ - TECNOLOGÍA ARGENTINA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

A. Haim, M. Pelissero, J. Pozzo, F. Gallo, M. Jauregui, N. Ceciaga, G. de Vita, L. Pitón, R. Bufanio. F. Muiño, G. Carreras, P. Gyssel, M. Balbiani, N. Maldonado, E. Cirelli, M. Montoneri, N. Benítez, E. Canepa, R. Tula, S. Bagnasco y A. Lifschitz

Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires – Medrano 951 - 3° Piso - Of. 303 – Tel. 4867-7574 - C1179AAQ – Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Argentina – e-mail: undimotriz@gmail.com

Recibido: 05-08-19; Aceptado:04-11-19; Publicado en línea:09-12-19.

RESUMEN.- La energía undimotriz o energías de las ondas marinas es un recurso energético aun no aprovechado comercialmente por la industria energética mundial, hay diversos prototipos experimentales en el mundo intentando captar este recurso para transformarlo en energía eléctrica, sin embargo, a pesar del enorme potencial energético undimotriz mundial y en especial de nuestro país, este recurso aún no se está aprovechando. Desde el 2009, la UTN.BA está trabajando en un proyecto de investigación, desarrollo e innovación de tecnología con el objetivo de aprovechar la energía undimotriz. Esta presentación reúne la información nacional e internacional de los principales dispositivos probados en el mar y principalmente la investigación y desarrollo que se está llevando a cabo en la UTN.BA en estos últimos 10 años. Este desarrollo fue patentado en el INPI en el año 2011 y fue aprobado en el 2019 bajo el número de patente: AR083174B1. El equipo consiste en una boya que capta la energía undimotriz y la transforma en energía mecánica y luego en eléctrica mediante un brazo de palanca y un sistema electromecánico. La boya es de 3 metros de diámetro y pesa 2,5 toneladas, potencia del equipo es de 30kW por boya pero se puede escalar a tamaños y potencias más grandes. Actualmente se está trabajando para instalar el 1er equipo de la Argentina en la Ciudad de Mar del Plata

Palabras claves: energía undimotriz, mar, tecnología renovable.

WAVE ENERGY – ARGENTINE TECHNOLOGY FOR THE GENERATION OF ELECTRIC POWER

ABSTRACT – Wave energy or marine wave power is an energy resource not yet used commercially by the global energy industry, there are several experimental prototypes in the world trying to capture this resource to transform it into electrical energy, however, despite the enormous wave energy potential worldwide and especially from our country, this resource is not yet being used. Since 2009, the UTN.BA is working on a technology research, development and innovation project with the aim of harnessing wave energy. This presentation gathers the national and international information of the main devices tested at sea and mainly the research and development that is being carried out in the UTN.BA in these last 10 years. The development was patented at the INPI in 2011 and was approved in 2019 under the patent number: AR083174B1. The equipment consists of a buoy that captures wave energy and transforms it into mechanical energy and then electrical energy by means of a lever arm and an electromechanical system. The buoy is 3 meters in diameter and weighs 2.5 tons, equipment power initially is 30kW per buoy but it can be scaled to larger sizes and powers. Work is currently being done to install the 1st team of Argentina in the City of Mar del Plata

Keywords: wave energy, sea, technology, renewable.

1. INTRODUCCIÓN

La energía undimotriz es la energía que poseen las ondas marinas que son generadas principalmente por los vientos que deforman la superficie del agua. Esa deformación se la denomina ondas marinas, que a medida que son generadas por el viento van superponiéndose unas sobre otras aumentando su tamaño y por lo tanto su energía. Las ondas cuando llegan a la costa o a zonas donde disminuye la profundidad del mar, esta rompe o se quiebra, a este fenómeno se lo denomina ola y se produce principalmente cuando la altura de la onda es igual a la profundidad, por lo que se dice que la ola toca fondo.

Esta onda marina es capaz de almacenar la energía del viento y transportar su energía cientos de kilómetros con una pérdida muy baja. Es por ello que las densidades energéticas promedio mundiales son mayores que la energía solar y eólica, además, si comparamos la densidades del aire con la del agua marina, encontramos que esta es 850 veces más densa; este es uno de los motivos de porque la energía undimotriz supera ampliamente al resto.

2. ENERGÍA UNDIMOTRIZ EN EL MUNDO

2.1 Historia.

Los primeros testimonios sobre la utilización de la energía de las olas se encuentran en China, donde, en el siglo XIII, empiezan a operar molinos por acción del oleaje. Al

principio del siglo XX, el francés Bouchaux-Pacei suministra electricidad a su casa en Royan mediante un sistema neumático, parecido al sistema de columna de agua oscilante. En esa misma época, se prueban sistemas mecánicos en California y en 1920 se ensaya un motor de péndulo. Uno de los pioneros en el campo del aprovechamiento de la energía de las olas, fue el japonés Yoshio Masuda que empezó sus investigaciones en 1945 y en 1947 ensayó en el mar el primer prototipo de una plataforma flotante. A partir de 1960, desarrolla un sistema neumático para la carga de baterías en boyas de navegación con una turbina de aire de 60 W, se alcanzaron a vender más de 1.200 unidades. La investigación a gran escala del aprovechamiento de la energía de las olas se inicia a partir de 1974 en varios centros del Reino Unido, donde se estudian complejos sistemas para este aprovechamiento, esta actividad cesa totalmente en 1982 por falta de recursos económicos. Sin embargo a mediados de 1980, se ponen en marcha varias plantas piloto en Europa y Japón (Pozzo et al., 2018).

Tabla 1: Cuadro de potencia por unidad de superficie de las energías renovables (P. Ibañez 2008)

Fuente energética	Potencia por cada unidad de superficie (W/m ²)
Biomasa	0,6
Solar	200
Eólica	400 a 600
Undimotriz	2.000 a 3.000

2.2 Equipos instalados.

En los últimos 20 años se han desarrollado e instalado en el mar numerosos dispositivos para el aprovechamiento de la energía undimotriz, países como Noruega, Portugal, Reino Unido, España y Dinamarca son los principales desarrolladores de equipos pre comerciales. Uno de los equipos más destacados fue el Pelamis de 750 kW; en el año 2004 se puso en funcionamiento en la costa de Portugal. El equipo posee 4 cuerpos flotantes de 150 metros de largo en total, estos están unidos entre si mediante articulaciones que permiten que el Pelamis copie la forma de onda, en estas articulaciones tienen un mecanismo (pistón) que transforma ese movimiento en presión hidráulica de un aceite, para luego ser enviado a una turbina acoplada a un generador eléctrico (Pozzo et al., 2018).



Fig. 1: Pelamis

Ocean Power Technology desarrolló una mono boya que fue instalado en las costas de Hawaii en el 2009, su potencia fue de 866 kW. El equipo va apoyado sobre el lecho marino mediante una columna, mientras la boya sube y baja por efecto de las ondas marinas alrededor de esta, entre ambos elementos (boya y columna) hay un pistón hidráulico que envía aceite a alta presión a una turbina acoplada a un generador eléctrico (Pozzo et al., 2018)



Fig. 2. Boya de Ocean Power Technology.

En las costas de Brasil en el Puerto de Pecem en Ceará se instaló un prototipo de boya con un brazo que accionaba un sistema hidráulico de pistones que enviaba agua dulce a presión en un sistema cerrado a una cámara hiperbárica para luego ser enviado mediante una tobera una turbina Pelton acoplada a un generador eléctrico (Pozzo et al., 2018).



Fig. 3. Equipo undimotriz en Brasil.

En Dinamarca, en el 2010 se instaló un laboratorio de pruebas para ensayar un equipo undimotriz montado sobre 4 columnas que se desplazan verticalmente para protección contra tormentas y ajuste al altura del mar por la variación de la marea. Del laboratorio se extienden 2 brazos con una boya en su extremo que al flotar y desplazarse verticalmente acciona un sistema de aceite hidráulico que es enviado mediante cañerías y válvulas a una turbina acoplada a un generador eléctrico (Pozzo et al., 2018).



Fig. 4: Wave Star. Dinamarca

3. RECURSO ENERGÉTICO

3.1 Situación mundial.

La potencia generada por este recurso undimotriz se expresa de la siguiente forma: kilo Watt por cada frente lineal de onda (kW/m), este dato es directamente proporcional al cuadrado de la altura por el período de la onda.

$$P = 980 \times H^2 \times T \quad (1)$$

donde:

P = potencia en W/metro lineal de frente de onda

H = altura de la onda en metros

T = periodo de la onda en segundos

Se estima que el recurso mundial técnicamente explotable con la tecnología actual para la energía de las olas es del orden de 45000 TWh por año. (European Renewable Energy Council, 2010). Los valores energético en distintas costas oceánicas del mundo oscilan entre 10 a 100 kW/m de frente de una onda, siendo el un valor medio 20 kW/m.

3.2 Situación Nacional

La superficie continental de nuestro país la posiciona en octavo lugar entre los países del mundo. Este hecho se potencia al considerar los 5.000 km de longitud de sus costas oceánicas y la enorme extensión de la jurisdicción marina que corresponde a nuestro país. En efecto, frente a los casi 2,8 millones de km² de territorio continental se adicionan 4,8 millones de km² de aguas bajo soberanía jurisdiccional que van desde las 200 millas y el agregado de 1,8 millones de km² correspondientes a las superficie comprendida entre esas 200 millas y el límite del talud de la plataforma marina.

Este nuevo enfoque fue presentado y aceptado en la ONU por la Comisión de Límites de la Plataforma Continental. Es decir que el mar jurisdiccional de la República Argentina es 2,35 veces mayor que el extenso territorio continental.

Los valores teóricos de energía de las ondas de nuestro mar varía entre los 29 kW/m a 97 kW/m de onda.



Fig. 5: Mapa Sudamericano de energía undimotriz

El sur de la provincia de Bs As presenta condiciones muy favorables para la instalación de los convertidores de la energía undimotriz. La principal razón de ello son las buenas condiciones del viento a lo largo de todo el año; además presenta poca variación en la altura de la marea (no mayor a 2 m); este fenómeno se observa en los puertos de Mar del Plata, Necochea y Bahía Blanca. Estas ciudades se caracterizan por un importante consumo eléctrico derivado de la actividad portuaria, fabril y poblacional; en todas ellas existen centrales termoeléctricas que aportarían las líneas de alta tensión y se verían complementadas por el recurso undimotriz. Otro aspecto favorable de la región es la escasa pendiente del suelo marino, esta escasa profundidad

facilitaría la instalación de los convertidores aún a distancias lejanas de la costa.

3.2.1. Recurso energético undimotriz de Necochea – Quequén

El puerto de Quequén tuvo en funcionamiento un olígrafo (medición de oleaje) que midió las condiciones ondas durante el periodo del 2006 al 2012; los datos obtenidos fueron procesados por el proyecto de la UTN.BA., del cual se obtuvo el gráfico de frecuencia de ocurrencia de altura de ola (fig. 6). El olígrafo pertenecía al Consorcio del Puerto de Quequén,

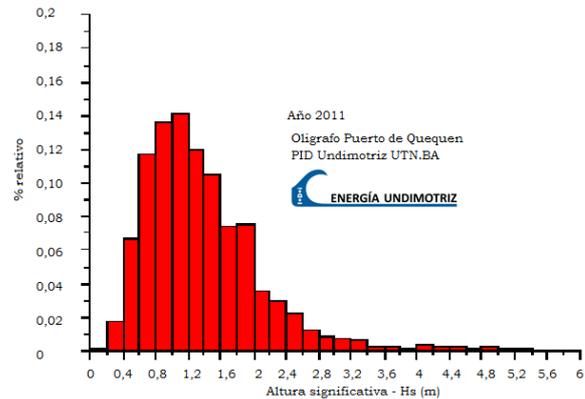


Fig. 6. Frecuencia de ocurrencia de altura de oleaje del 2011 del puerto de Quequén

Además se realizaron modelaciones numéricas del oleaje en las costas cercanas al Puerto de Quequén para estimar la potencia de energía undimotriz. Para realizar este estudio plantearon los siguientes objetivos:

- Realizar propagaciones de oleajes medios desde aguas profundas según los datos disponibles. Se agregó la generación de oleaje en la malla rectangular de cálculo con de aproximadamente 200 km de lado, y por vientos locales medios.
- Realizar propagación de oleajes máximos medios según los datos disponibles. Se agregó la generación de oleaje en la malla de cálculo de aproximadamente 200 km de lado y por vientos locales máximos medios.
- Realizar propagación del oleaje característico durante las “sudestadas”. Se agregó la generación de oleaje en la malla de cálculo con una malla de 200 km de lado y por vientos locales típicos de la sudestada. En primera aproximación se asocia la sudestada a un oleaje de 2 años de período de retorno.

Para los cálculos se tomó en cuenta la hipótesis de que los datos de oleajes en el contorno son oleajes de tipo sea swell. En la práctica se considera que los datos de la National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA) en los nodos en aguas profundas tengan en cuenta los efectos del oleaje de “swell” (mar de fondo) y del oleaje local sea debido a vientos actuantes sobre la superficie de estudio.

Para realizar la simulación matemática de la propagación del oleaje actuante se utilizó el módulo de oleaje del sistema de modelado costero DELFT3D

(<http://oss.deltares.nl/web/delft3d>) que es de libre acceso, el que utiliza el modelo de oleaje espectral SWAN (<http://swanmodel.sourceforge.net/>).

El oleaje oceánico o de aguas profundas, se determinó mediante el procesamiento de registros de la NOAA de

EEUU, en base a datos cada 3 horas de la Serie Histórica 1997-2006, para la Altura Significativa (Hs), período y dirección de incidencia de las olas.

Los valores atmosféricos se determinaron mediante datos de la estación Weather Monitor II, que tomó medidas de temperatura, presión, humedad, dirección y velocidad del viento, desde el 20 de mayo hasta el 30 de septiembre de 1996 (UNdMdp, 1998).

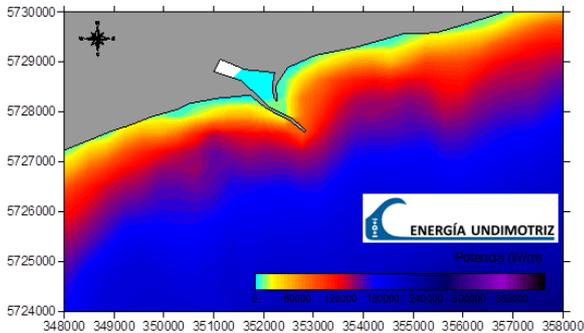


Fig. 7: Potencia de energía undimotriz en la costa de Necochea Quequén expresada en W/metro de onda

Como conclusiones del estudio se determinó:

- Con formulaciones de aguas profundas: La potencia entregada por el oleaje medio en el lado este del dique de abrigo del puerto oscila entre 10-15 kW/m con dirección del oleaje medio del Sur y entre 2-5 kW/m con dirección del oleaje medio del Este-Noreste. Los oleajes máximos medios desarrollarían una potencia de entre 40-80 kW/m por oleajes del Sur y entre 15-35 por oleajes del Este-Noreste. Las “sudestadas” pueden generar entre 75-200 kW/m.
- Con formulaciones de aguas someras: La potencia entregada por el oleaje medio en el lado este del dique de abrigo del puerto oscila entre 10-20 kW/m con dirección del oleaje medio del Sur y entre 2-6 kW/m con dirección del oleaje medio del Este-Noreste. Los oleajes máximos medios desarrollarían una potencia de entre 40-80 kW/m por oleajes del Sur y entre 20-40 por oleajes del Este-Noreste. Las “sudestadas” pueden generar hasta 300 kW/m.

4. DESARROLLO TECNOLÓGICO

En el 2009 la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional formalizó el estudio sobre la energía undimotriz de los investigadores Roberto Tula, Mario Pelissero y Alejandro Haim mediante un proyecto de investigación, desarrollo e innovación (Aprovechamiento de la energía undimotriz. PID 2503/09 UTN FRBA). En el transcurso de los últimos 10 años se fue desarrollando el proyecto planteado en varias etapas. Algunas de ellas se desarrollaron en paralelo, como por ejemplo: estudio del estado del arte a nivel internacional, estudio de recurso undimotriz mundial, nacional y provincial, diseño de un dispositivo de aprovechamiento de energía undimotriz, patentamiento del equipo, construcción a escala 1:20, construcción a escala 1:10, pruebas y ensayos en canales de olas, modelaciones y simulaciones numéricas para validar los modelos a escala; cálculo y dimensionamiento del equipo a escala real, cálculo y dimensionamiento de la obra civil para instalar el equipo en escolleras de la costa atlántica bonaerense, análisis de impacto ambiental, simulaciones del

recurso undimotriz en las ciudades de Mar del Plata y Necochea de la PBA.

4.1 Descripción y funcionamiento del equipo.

El equipo capaz de transformar la energía undimotriz en energía eléctrica consiste en una boya de acero hueca cuyo peso y medidas puede ser variables de 2 a 20 toneladas y de 3 a 10 metros de diámetro. Según las dimensiones del equipo la potencia podrá variar entre 30 a 200 kW por boya. La boya es la encargada de captar la energía undimotriz mediante un movimiento ascendente y descendente generado por la ola y transmitirlo a un brazo de palanca que acciona un mecanismo que transforma el movimiento del brazo (movimiento oscilatorio variable en amplitud y periodo) en un movimiento circular cuasi uniforme, para luego acoplarse a un generador eléctrico multipolo de imanes de neodimio. Este sistema fue patentado por este grupo de investigación en el Instituto Nacional de Propiedad Industrial bajo el nombre: “Mecanismo de accionamiento para una máquina electromecánica transformadora de energía undimotriz en energía eléctrica”, presentada el 27/09/11 bajo el N° 20110103542 y publicada en el Boletín N° 725 de Patentes del Instituto Nacional de Propiedad Industrial del 6 de Febrero de 2013. El otorgamiento de la patente fue en Febrero del 2019, publicado por el INPI bajo el número de ISSN-0325-6545, pág. 35. N° de patente: AR083174B1 por disposición GDE N°DI-2018-190-APN-ANP#INPI



Fig. 8: Simulación computacional de imágenes de una granja de equipo para la captación de energía undimotriz

4.2 Prototipo a escala ensayado en el canal de olas.

Luego de registrar la idea en una patente se construyeron 2 prototipos a escala 1:20 y 1:10. El primer prototipo a escala 1:20 se realizó para verificar las hipótesis planteada de transformar el movimiento que puede generar la onda al desplazar una boya en forma vertical y con ese movimiento poder transformarlo en energía eléctrica.

La hipótesis fue verificada en el año 2012 al encenderse en forma continua un conjunto de lámparas LED conectados al generador eléctrico. El paso siguiente fue construir el equipo en escala 1:10 para poder determinar el rendimiento del equipo además de las pérdidas mecánicas, determinar su factor de capacidad, valores de tensión y corriente para obtener la potencia en función de las variables de altura de ola y período y determinar la curva de potencia del equipo.



Fig. 9: Equipo a escala 1:10 en el canal de olas del Instituto Nacional del Agua



Fig. 10: Equipo a escala 1:10 en el canal de olas del Instituto Nacional del Agua

4.3 Simulación y modelación numérica

Los costos de construcción y prueba del equipo en tamaño real son muy elevados, para conocer como el equipo se comportaría en el mar se realizaron simulaciones y modelaciones numéricas mediante el software Simulink de Matlab, esto permitió validar los ensayos realizados en el canal de olas.

Las condiciones iniciales tomadas para la simulación se ilustran en la figura 11,

donde:

- El brazo de peso: $P_{BR} = m_{BR} g [N]$
- Largo: $L [m]$
- Giro en torno al centro: O .

- Boya de peso $P_B = m_B g [N]$
- Altura: $h_B [m]$
- Extremo del brazo a una altura $Z_B [m]$ respecto a la referencia

Aplicando la segunda ley de Newton (2)

$$\sum_{i=1}^N F_i d_i + \sum_{i=1}^K T_i = J \frac{d^2 \theta}{dt^2} \quad (2)$$

Donde:

F: fuerza

d: distancia

T: par resistente

Θ : cantidad de movimiento

t: tiempo

Se obtiene la siguiente expresión (3):

$$E x_B - P_B x_B - P_{BR} \frac{x_B}{2} - T'_E - T_R = J \frac{d^2 \theta}{dt^2} \quad (3)$$

donde:

E: el empuje de la boya.

T'_E : es el par resistente del generador eléctrico referido a la velocidad del conjunto brazo – boya.

T_R : el par resistente producto del rozamiento.

J: el momento de inercia equivalente del sistema.

P_B : peso de la boya.

x_B : distancia en el eje x del eje del cuerpo central al eje vertical de la boya.

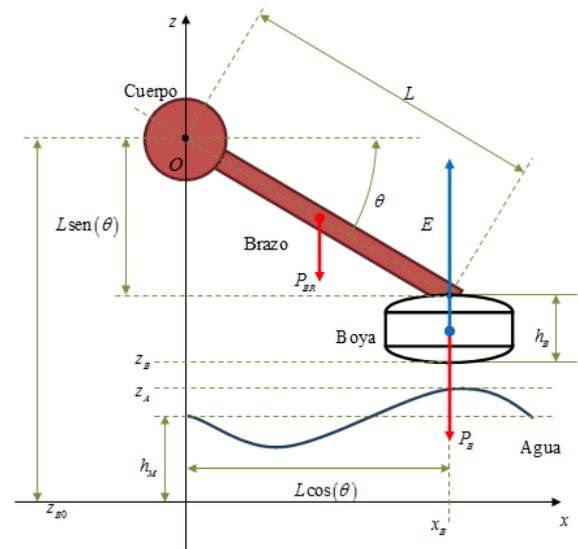


Fig. 11: Condiciones de borde planteadas en la simulación.

Considerando que:

$$x_B = L \cos(\theta) \quad (4)$$

donde:

L: largo del brazo

θ : ángulo de giro del brazo

Resulta la expresión (5):

$$(E - P_B - P_{BR}/2)L \cos(\theta) - T'_E - T_R = J \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (5)$$

El diagrama de bloques correspondiente al modelo del conjunto boya-brazo propuesto se podrá visualizar a continuación en la figura 11.

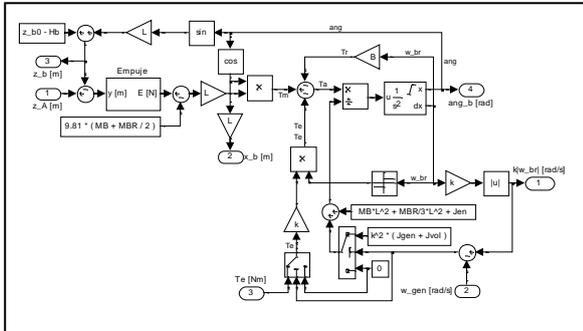


Fig. 12: Diagrama de bloques del modelo boya-brazo.

En la figura 13, se grafican los resultados de la simulación. Con color rojo y azul las trayectorias de las revoluciones de los ejes de salida del inversor de marcha de cada brazo y en verde la trayectoria del eje del generador acoplado a los volantes de inercia.

La utilización del sistema de simulación propuesto permite en primer término estudiar el comportamiento bajo las diversas condiciones climáticas del sitio elegido como así también poder trasladarlo de otros lugares.

En segundo término poder obtener la respuesta de los parámetros relevantes para poder acercarnos al mejor diseño teórico. La simulación respondió exactamente al modelo desarrollado teóricamente, y se logró convertir un movimiento oscilatorio variable y un movimiento cuasi constante dentro de un cierto rango lo que permite que el generador funcione dentro del cálculo de diseño y generar energía eléctrica de manera eficiente.



Fig. 13: Gráfico de simulación de las rpm de salida del equipo

4.4 Desarrollo del equipo a instalar y probar en el Mar Argentino.

El criterio utilizado de diseño se basó en el modelo a escala 1:10, probados en el INA y los resultados obtenidos en la simulación. Las condiciones de borde fueron definidas por el tamaño de la boya, el largo de brazo y el diámetro primitivo del sistema multiplicador de engranajes. Siendo el diámetro

externo de la boya de 3 m, con una altura total de 2 m y un peso total (boya + lastre) de 2 toneladas, un largo de brazo de 12 m con un peso total de 6 ton, el diámetro externo de la cadena cinemática es de 0,40 m y 1 m de largo. La potencia nominal de equipo es de 30 kW y en la costa de Necochea sería capaz de producir 131MWh/año.

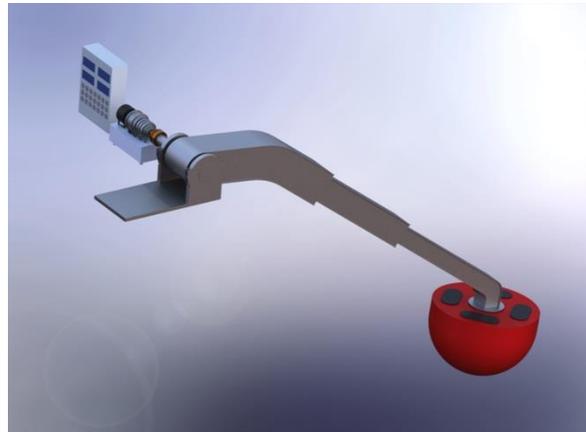


Fig. 14: 3D del conjunto brazo, boya, y sistema electromecánico.

La relación entre el peso de la boya, el del brazo y el empuje generado; cumple con la condición de que el momento torsor entregado en el eje de salida sea el mismo cuando la boya sube o baja, de esta manera se entrega potencia de manera igualitaria tanto en el movimiento ascendente como descendente, lo que genera una mayor estabilidad en el funcionamiento de la cadena cinemática, mejor aprovechamiento del recurso y estabilidad en la energía generada.

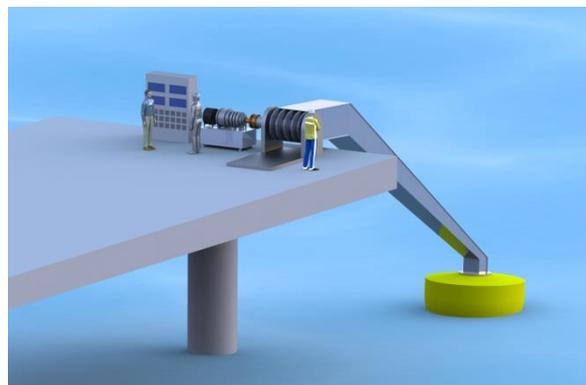


Fig. 15: Equipo montado sobre una plataforma en el agua

El largo del brazo está diseñado en función de:

- La amplitud máxima de mareas, 2 m como máximo para PBA.
- La altura de ola máxima de diseño durante el funcionamiento del equipo: 4,5 m.
- Altura de la base donde estará apoyado el equipo.

Estas consideraciones son de vital importancia para que la boya no quede colgando o en el aire en caso de una bajamar extrema o que el oleaje no sobre pase el equipo en caso de una tormenta combinada con una pleamar



Fig. 16: Fotomontaje del equipo montado sobre la escollera norte del puerto de Mar del Plata.

Los colores utilizados en el equipo respetan la normativa naval de señales mediante boyado, es por ello que se utiliza el color rojo y amarillo.

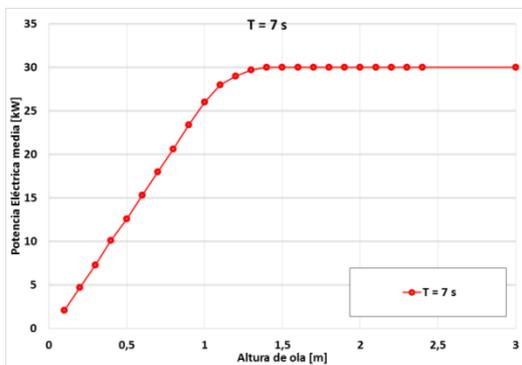


Fig. 17. Curva de potencia del equipo para un periodo promedio de 7 segundos

La pendiente inicial de la curva de potencia del equipo responde a una curva cuadrática según la formula (1) expresada al inicio del documento, donde la potencia es directamente proporcional al cuadrado de la altura y periodo de la onda, una vez alcanzada la potencia nominal, la potencia se mantiene constante en 30kW mediante regulación y control electrónico. El valor medio de oleaje para el sur de la PBA es de 1,2 m de altura de ola y un período de 7 segundos, es por ello que el generador hace constante la potencia a partir de los 1,2 m

5. IMPACTO AMBIENTAL

Toda actividad humana tiene consecuencias en el ambiente es por ello que es necesario determinar su impacto. En este caso se analizó el aprovechamiento de la energía undimotriz de equipo propuesto. Bajo este contexto se realizó la tesis en el marco de la Maestría de Ingeniería Ambiental de la UTN titulada: “Análisis de los efectos ambientales de la generación de energía undimotriz en el Puerto Quequén”, su tesista fue el Lic. Martín Jáuregui, su director el Mg. Ing. Alejandro Haim y su co-director la Mg. Lic. Ana Julia Lifscithz. (Jáuregui 2016).

El objetivo principal de la tesis fue “realizar el estudio para evaluar el impacto ambiental potencial que podría producirse por la instalación y funcionamiento de un dispositivo electromecánico capaz de aprovechar la energía undimotriz

en la escollera sur del Puerto Quequén, provincia de Buenos Aires”. (Jáuregui 2016).

El resultado fue que “los potenciales impactos ambientales negativos producidos por la instalación de un dispositivo electromecánico capaz de aprovechar la energía undimotriz en la escollera sur del Puerto Quequén, no resultan significativos y resulta viable su ubicación.”



Fig. 18. Vista de la escollera sur del puerto de Quequén

La metodología utilizada se basó en la identificación y ponderación de los impactos se adoptó una combinación del método de matrices causa-efecto, se utilizó la matriz de Leopold, (Leopold, 1971) que da resultados cualitativos y también el método del Instituto Batelle-Columbus, que aporta resultados cuantitativos, (Instituto Batelle-Columbus, 1972).

La ponderación que recibió cada impacto ambiental se obtuvo a partir de valores otorgados individualmente a cada uno de los criterios que luego en conjunto dieron cuenta de la importancia del impacto que una acción determinada generaría sobre un factor específico.

Como conclusiones de los métodos aplicados se obtuvieron los siguientes resultados:

- Los impactos negativos se darán en las dos etapas que componen el proyecto, es decir construcción y puesta en marcha, principalmente durante la primera.
- Los impactos negativos se registrarán especialmente en el sistema natural, en todos sus ambientes (físico, biótico y perceptual) y en el sistema socio-económico y cultural solo en uno de los cuatro ambientes que la componen (infraestructura).
- Los impactos negativos de mayor valor registrado fueron de carácter moderado y se reflejan en los siguientes componentes:
 - Contaminación sonora
 - Modificación del entorno y vista
 - Accesibilidad y tránsito
- Se registraron impactos negativos de carácter irrelevante en los siguientes componentes:
 - Contaminación sonora
 - Emisión de gases

- Contaminación del agua
- Alteración del ecosistema
- Accesibilidad y tránsito

e) El componente paisaje es el que obtuvo el mayor valor de negatividad (moderado), a causa de la afectación que provoca en el entorno la presencia de la pasarela, la plataforma y el dispositivo. Un ejemplo claro comparativo del impacto visual del equipo en el mar con otras tecnologías se puede ver en el la figura 19.

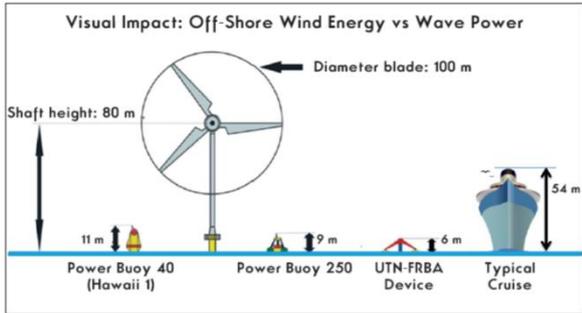


Fig. 19: Gráfico comparativo de efecto visual de instalaciones y transportes en el mar (Jáuregui, 2016)

f) En lo que respecta a los impactos positivos, los mismos se originarán únicamente sobre el subsistema socio-económico y cultural, de carácter irrelevante y moderado, sobre los siguientes componentes:

- Valores didácticos y educativos
- Turismo
- Infraestructura eléctrica
- Empleo

Por lo mencionado en el punto c), al concluir que la instalación y funcionamiento de un dispositivo undimotriz provocaría solo impactos negativos moderados, confirma la hipótesis planteada para la presente tesis.

IMPACTO POSITIVO CRÍTICO	IMPACTO NEGATIVO CRÍTICO
IMPACTO POSITIVO SEVERO	IMPACTO NEGATIVO SEVERO
IMPACTO POSITIVO MODERADO	IMPACTO NEGATIVO MODERADO
IMPACTO POSITIVO IRRELEVANTE	IMPACTO NEGATIVO IRRELEVANTE

Fig. 19: Conclusiones de impactos positivos y negativos (Jáuregui, 2016)

6. PERSPECTIVAS

En los últimos años, la reformulación de la ley nacional 26.190 por la ley 27.191 y los Programas de Fomento de Energías Renovables (RenovAr), que estableció la Subsecretaría de Energías Renovables, generó un crecimiento exponencial de instalación de equipos de energías renovables como parques eólicos, plantas solares fotovoltaicas, pequeños aprovechamientos hidroeléctricos y plantas de biomasa, cuyo objetivo (figura 19) es cubrir el 20% en el 2025 de la demanda de energía eléctrica, con una potencia instalada de 10 GW. (Secretaría de Energía, 2016)

La perspectiva de crecimiento proyectada y la necesidad de nuevos proyectos de energías renovables, abren un abanico de posibilidades de incorporación de tecnología marina para lograr con el cumplimiento de las metas pactadas al 2025.

El Programa RenovAr, se ha planteado en varias etapas, la última fue la 3er etapa, donde el componente nacional va teniendo cada vez más peso, siendo esta una de las virtudes del proyecto undimotriz donde tiene un componente nacional casi del 95%. También, la incorporación de nuevas tecnologías que aprovechan otros recursos, especialmente del mar, permiten diversificar aún más la matriz eléctrica nacional además surge la necesidad de ocupar un espacio tan grande como es nuestro mar, reafirmando nuestra soberanía sobre el territorio marítimo.

El Objetivo: 20% de la demanda energética en 2025

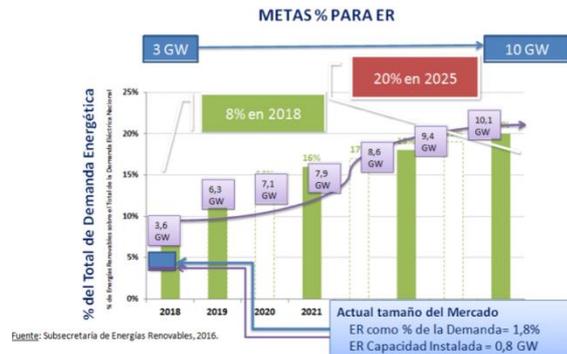


Fig. 19: Proyección del crecimiento de la energía renovables al 2025. (Secretaría de Energía, 2016)

7. CONCLUSIONES

Este trabajo resume 10 años de investigación, desarrollo e innovación para la generación de una nueva tecnología cuyo objetivo principal es el aprovechamiento de la energía undimotriz en la Argentina. El estudio del arte realizado permitió concluir que es una tecnología en estado de desarrollo experimental lo que permite competir con otros desarrollos a nivel mundial sobre el desarrollo de equipos confiables, seguros y de costos competitivos. Este estudio también permitió plasmar la idea en una patente ya que no se encontraron registros de equipos similares al de este trabajo. Los estudios realizados respecto del recurso undimotriz nacional evidencia un potencial energético muy abundante y atractivo para la instalación de equipos convertidores de energía. Los resultados obtenidos del equipo a escala 1:10 en el canal de olas y las simulaciones computacionales, verificaron las hipótesis planteadas sobre la conversión de energía undimotriz a energía eléctrica, lo que permitió llegar al mejor diseño del equipo a escala real para luego ser ensayado en el Mar Argentino. El impacto ambiental de esta tecnología es muy bajo y su parte significativa es durante su instalación ya que para ello se utilizan barcos y máquinas que se movilizan con combustibles fósiles, que emiten gases de efecto invernadero y ruidos molestos (Jáuregui, 2016), pero el equipo en sí no perturba la flora ni la fauna marina durante su funcionamiento, no requiere el uso de combustibles ni genera ninguna contaminación sonora.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Walter Legnani y Dr. Marcos Cohen que creyeron desde el primer momento la capacidad de llevar adelante el proyecto de la UTN.BA. Al Mg. Ing. Nicolás Tomazín y su equipo del Instituto Nacional del Agua (INA), por permitir ensayar el equipo en el canal de olas. A las autoridades de

nuestra facultad, al concurso INNOVAR; a la Secretaría de Políticas Universitarias (SPU) del Ministerio de Educación de la Nación, al Programa de televisión Eureka y Banco Galicia por el apoyo económico al proyecto.

A Ignacio Fernández de SEMTIVE (empresa de aerogeneradores de eje vertical) que ha prestado el generador eléctrico para utilizar en el equipo 1:10.

REFERENCIAS

- IBAÑEZ (2006). La Energía Marina, situación actual y perspectiva. Work Shop de Pilas de Combustible, Baterías e Hidrógeno. Sevilla España.
- JAUREGUI (2016). *Análisis de los efectos ambientales de la generación de energía undimotriz en el Puerto de Quequén* (Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental).- UTN.BA
- LEGAZ POIGNON (2006) “Energía Marina: Desarrollo de una planta de energía de las olas en el Cantábrico”. 2º Jornada Internacional sobre Energía Marina, Bilbao, España.
- HAIM, TULA (2013). “Mecanismo de accionamiento para una máquina electromecánica transformadora de energía undimotriz en energía eléctrica”. Boletín Oficial del Instituto Nacional de propiedad Industrial. ISSN-0325-6545. Pag. 35, Bs. As.
- OGATA (2003) Ingeniería de control moderno. Editorial Pearson Educación. Madrid.
- SECRETARIA DE ENERGÍA (2016). “Escenarios energéticos 2025”.
- TIPLER (2003) Gene. Física. Editorial Reverté. 5º Edición. Madrid
- THORPE (1999) “A brief review of wave energy” UK Department of Trade and Industry, UK.