

# Descripción del dispositivo de aprovechamiento de la energía undimotriz. Parte II<sup>1</sup>

**Mario Pelissero, Pablo Alejandro Haim, Roberto Tula, Francisco Galia y Federico Muño<sup>2</sup>**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Mecánica, Medrano 951(C1179AAQ), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

*undimotriz@gmail.com*

*Recibido el 10 de Julio de 2013, Aprobado el 20 de Agosto de 2013*

## Resumen

En este trabajo se describe el funcionamiento de un dispositivo para el aprovechamiento de la energía undimotriz; el objetivo es transformar la energía de las ondas marinas en fluido eléctrico. El trabajo se realizó en un prototipo en escala 1:20 y lo llevó a cabo por el grupo de Mecánica dentro del Proyecto Aprovechamiento de la Energía Undimotriz de la UTN.BA Departamento de Ingeniería Mecánica; el lugar de trabajo fue el Laboratorio de Ingeniería Mecánica II. El dispositivo desarrollado fue patentado a través del Instituto Nacional de Propiedad Industrial (INPI), y publicado en el Boletín Oficial del INPI en Febrero del 2013.

**PALABRAS CLAVE:** ENERGÍA UNDIMOTRIZ - ENERGÍA DE ONDAS - ENERGÍA RENOVABLE - DISPOSITIVO ELECTROMECAÁNICO - ENERGÍA NO CONVENCIONAL

## Abstract

This paper describes the operation of a device for harnessing wave energy; the goal is to transform the energy of sea waves into electricity. The work was done in 1:20 scale prototype and was performed by the Mechanical group of the Project "Wave Energy Harnessing" from the UTN.BA Department of Mechanical Engineering, the workplace was the Mechanical Engineering II Laboratory. The patented device was developed through the Industrial Property National Institute (INPI) publication date in the Official Gazette of the INPI in February 2013.

**KEYWORDS:** SEA WAVES ENERGY – WAVES ENERGY - RENEWABLE ENERGY - ELECTROMECHANICAL DEVICE - UNCONVENTIONAL ENERGY

1 La primera parte de este trabajo ha sido publicada en Proyecciones, Año 9 N° 2, Octubre 2011.

2 Forman parte del equipo de autores del presente trabajo: Guillermo Oliveto; Ana Julia Lifschitz; Diego Gagnieri; Germán Suppo; Matías Baldo; Gustavo De Vita; Mariano Montoneri; Ezequiel Heinke; Olaf Gawron; Tomás Santino y Sebastián Bernal.

## Introducción

Dentro de las energías renovables de origen marino la energía undimotriz ocupa los primeros puestos como alternativa concreta para iniciar su aprovechamiento. En la actualidad dentro del escenario marino, los proyectos más afianzados son la energía eólica a distancias medias y lejanas de la costa como, en segundo término se están afianzando cada día más los emprendimientos para el aprovechamiento de la energía de las corrientes y de las ondas marinas, evidentemente falta aún para tornarlos competitivos; pero la instancia del agotamiento de los recursos hidrocarbúricos nos obliga a pensar a priori el estudio de otros recursos a los efectos de prepararnos para un futuro no muy lejano.

En el mundo ya existen numerosas propuestas para el aprovechamiento de la energía undimotriz, si lo consideramos en forma global podemos citar casi 1000 patentes; a principios de este siglo, en Francia se presentó el primer emprendimiento formal de baja potencia del tema y a partir de allí aparecieron en forma esporádica algunos prototipos sin mayor relevancia, hasta que en la década de 1970 se produjo la primera gran crisis petrolera que llevó a las autoridades y al medio científico tecnológico a una intensa búsqueda de otras fuentes energéticas; sin duda alguna, esta fue la gran primer señal de alerta de la volatilidad del mercado energético cuando se tenía en cuenta un solo recurso: el petróleo.

Los países que integran la Gran Bretaña empezaron a estudiar el tema de las energías renovables y debido a su carácter insular pusieron foco en las energías marinas, estos desarrollos fueron creciendo a lo largo de estas décadas y además fueron acompañados por otros países con mucha tradición marina como Dinamarca, Noruega, España y Portugal. En la actualidad la mayoría de los países europeos con frentes marinos están estudiando y cuantificando desde sus institutos universitarios los recursos energéticos marinos además están colaborando activamente con los proyectos para la captación de los mismos. Esta situación se replica también en países altamente dependientes de recursos energéticos externos como China, Japón, India y Australia quienes han establecido políticas de estado de apoyo y financiamiento en I+D para el aprovechamiento de sus recursos renovables.

Los emprendimientos basados en el recurso undimotriz que ya están funcionando de forma comercial son dos:

El primero de ellos está situado en la costa de Dinamarca; responde a un desarrollo de la firma Wavestar y la Universidad de Aalborg; el dispositivo (Imagen 1) de captación está ubicado en un muelle y responde a un modelo de una boya que copia el movimiento de las ondas, a través de sistemas hidráulicos lo traslada a un sistema de transformación energética; de esta forma cuando las condiciones del mar lo permiten se procede a captar ese recurso y proveer a



**Imagen 1. Plant Undimotriz "Wavestar" (Dinamarca)**



**Imagen 2. Planta Undimotriz "Mutriku" (España)**

la población cercana de energía eléctrica.

El otro caso está situado en España en la costa vasca y es conocido con el nombre de Mutriku (Imagen 2); la tecnología utilizada se denomina OWS (Oscilating Wave System) y se basa en el movimiento del agua dentro de tubos que están instalados en un muelle, la ventaja es que el accionamiento de la turbina lo realiza el flujo de aire tanto ascendente como descendente cuando el agua de mar entra y sale de los tubos; esto evita que el agua de mar sea la impulsora de la turbina por lo cual se facilitan las tareas de mantenimiento y se evitan los fenómenos de corrosión producidos por el contacto del agua de mar con los componentes metálicos del equipo.

Otro caso emblemático es el dispositivo denominado "Pelamis" (Imagen 3) que significa víbora de mar; este dispositivo estuvo instalado en la costa de Portugal en Adocura; se caracteriza por una estructura flotante constituida por una serie de segmentos tubulares mecánicamente unidos que solo se sujeta en un extremo dejando que naturalmente se acomode en la

dirección de las ondas. El funcionamiento del equipo se basa en la fluctuación de los segmentos bajo la acción de las ondas, en cada unión de los segmentos se ubican una serie de pistones que captan este movimiento y trasladan el fluido comprimido a un tanque acumulador que libera la presión accionando un generador eléctrico. Si bien es cierto que la utilización de estos equipos a distancias lejanas de la costa permitió lograr proveer de energía eléctrica a la población costera, la aparición de problemas de mantenimiento obligó al retiro de los equipos a los efectos de replantear el diseño de algunos de sus componentes; esta tarea se está realizando en el centro de investigación EMEC, en las islas Orkney, Escocia.

Finalmente, en nuestro continente, varios países están estudiando el tema; pero tan solo Brasil ha pasado de la faz experimental a la instalación de un dispositivo a tamaño real (Imagen 4) en el puerto de Pecem en el Estado de Pernambuco, este equipo tiene características similares al Wavestar de Dinamarca, es decir consta de un sistema de boyas que capta el movimiento ondular y lo traslada mediante palancas a una pla-



**Imagen 3. Planta Undimotriz "Pelamis" (Portugal)**



**Imagen 4. Equipo undimotriz en Brasil**

taforma donde se ubican una serie de pistones que comprimen agua al compás del movimiento de las ondas: este fluido comprimido se acumula en un tanque y a partir de su liberación controlada sobre una turbina se va generando la energía eléctrica; en estos momentos se encuentra en una etapa de verificación en el funcionamiento y en su ajuste.

Como se puede apreciar algunas propuestas responden a ideas muy originales y otras como la nuestra es simple y novedosa.

### Parte experimental

El dispositivo para el aprovechamiento de la energía undimotriz transforma la energía de las ondas marinas en energía mecánica y luego en energía eléctrica en el lugar de captación, a continuación el fluido eléctrico generado se transporta hacia la costa mediante cables submarinos a una estación transformadora para luego distribuirla en los lugares de consumo.

Dicho dispositivo fue presentado ante el Instituto Nacional de Propiedad Industrial. La patente fue registrada a nombre de la UTN FRBA y sus creadores son el Mg. Ing. Pablo Alejandro Haim y el Prof. Roberto Tula; se ha presentado el 27/09/11 con el número 20110103542, además

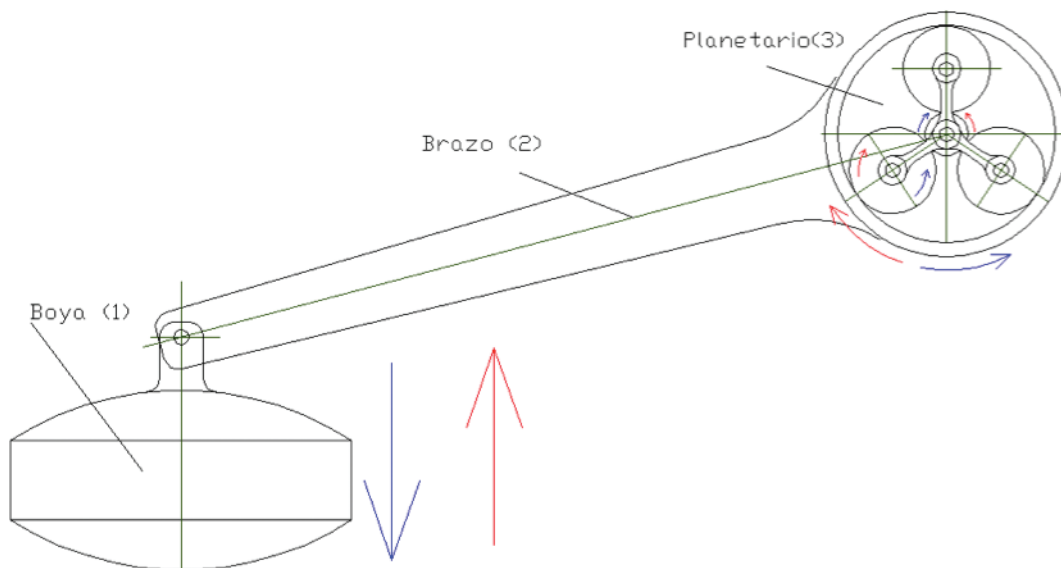
el 06/02/2013 fue publicada la patente en el Boletín Oficial del INPI N° 725, Pag. 35.

Este dispositivo consiste de dos boyas (1) de acero naval huecas rellenas con poliuretano expandido cuyo peso ronda las 10 toneladas cada una. Dichas boyas debido al principio de Arquímedes generan un empuje igual al de su peso lo que permite mantener el momento torsor en el eje del brazo de palanca (2) constante, tanto en el ascenso como en el descenso la boya.

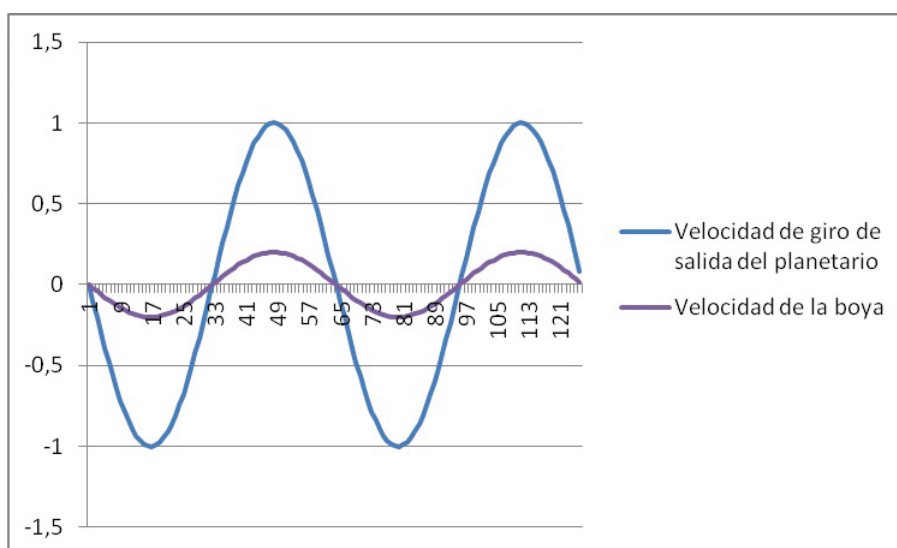
Las boyas al ser atravesadas por las ondas marinas describen un movimiento vertical que dependerá de la altura de la onda y su velocidad de desplazamiento, es decir, del período y altura de la onda. Debido a las características propias de las ondas hace que el movimiento captado por las boyas trasladado al eje se traduzca en un movimiento lento o sea de bajas revoluciones por minuto; a los efectos de darle más efectividad se requiere un incremento significativo en el número de vueltas. Este incremento se realiza mediante un sistema de engranajes denominado planetario (3), que permite aumentar la relación de transmisión en espacios reducidos (Figura 1).

El aumento de la relación de transmisión se realiza en dos etapas mediante dos sistemas pla-





**Fig. 1. Conjunto boya-brazo-planetario**



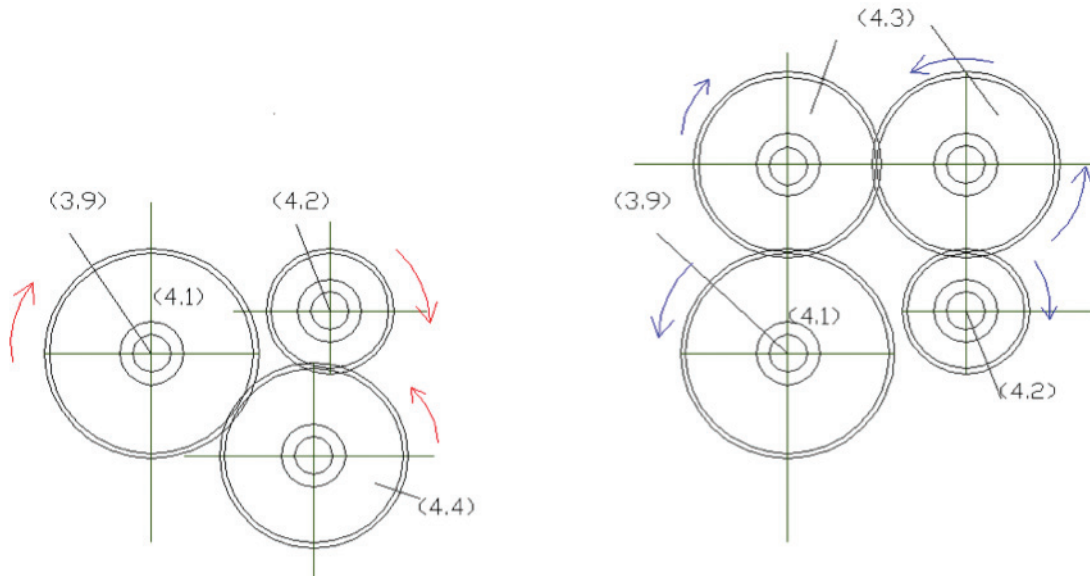
**Fig. 2. Esquema de velocidad de giro de entrada y salida del planetario**

netarios en serie; debido a esto se produce una disminución del torque a la salida del planetario (principio de conservación de la energía); es decir la potencia de entrada al planetario igual a la potencia de salida menos las pérdidas del sistema, o sea que se produce un menor torque pero un mayor número de vueltas.

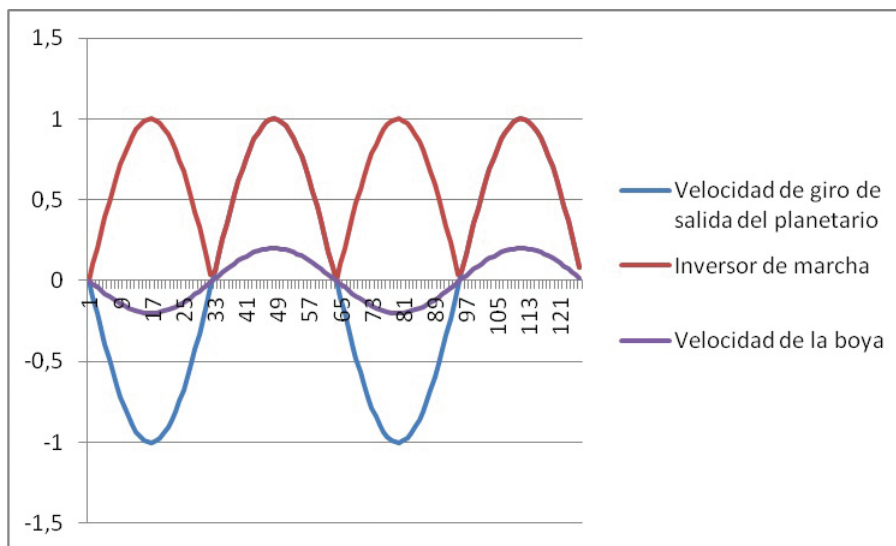
Como se puede observar en la Figura 2, el sentido de giro del eje de salida del planetario dependerá directamente de que la boya ascienda o descienda; sin embargo para acoplar un generador eléctrico es necesario que el sentido de

giro de entrada al generador sea uno solo, por lo tanto se deberá acoplar al eje de salida del planetario un sistema de engranajes que unifican el sentido de giro. (Fig. 3)

El sistema unificador de marcha consiste en dos cadenas cinemáticas en paralelo con diferente cantidad de engranajes en cada una de su cadena. Cuando el sentido de giro (3.9) es horario se activa la cadena cinemática de la izquierda de la Fig. 3, que al tener cantidad de engranajes impares tiene un sentido de giro de salida (4.2) al igual que el de la entrada.



**Fig. 3. Sistema unificador de sentido de giro**

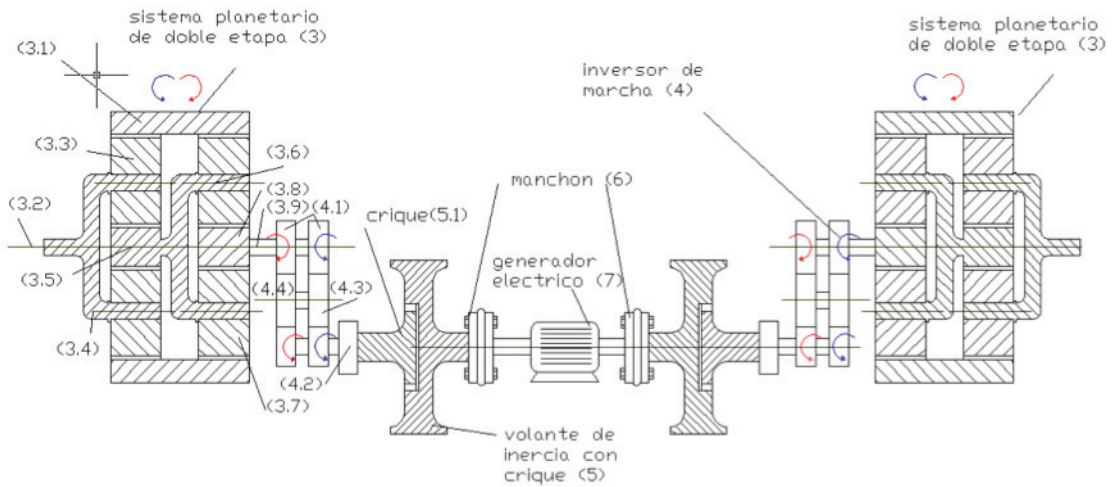


**Fig. 4. Esquema de velocidad de giro de entrada, salida del planetario y del unificador de sentido de giro**

En el caso de que el sentido de giro sea anti-horario, se desactiva la cadena cinemática izquierda y se activa la derecha, (Figura 3). Al ingresar al engranaje (4.1) y transmitir el movimiento a través de la cadena de engranajes pares (4 engranajes), se cambia el sentido de giro del último engranaje de la cadena (4.2) a giro horario. De esta manera siempre tendremos una salida de giro horario independiente del sentido de giro que ingresa al dispositivo.

Los giros del eje a la salida del dispositivo se pueden describir como una señal senoidal amplificada positiva (Figura 4).

Cuando la boya llega al punto muerto superior e inferior, la cadena cinemática se detiene; este hecho deberá evitarse pues en esa circunstancia también el generador dejaría de funcionar. Para salvar esta situación, se agrega un volante de inercia entre el unificador de giro y el generador; de esta forma el volante permite suministrar en forma constante el movimiento al eje del



**Fig. 5. Esquema completo en corte**

generador. Esto permite que el volante acumule la energía cuando la velocidad que brinda la boya exceda el número de giros que necesita el eje del generador y también entregue energía cuando el número de giros en la salida del unificador este por debajo de los que necesite el generador eléctrico. Ver en la Figura 5 el corte completo del equipo.

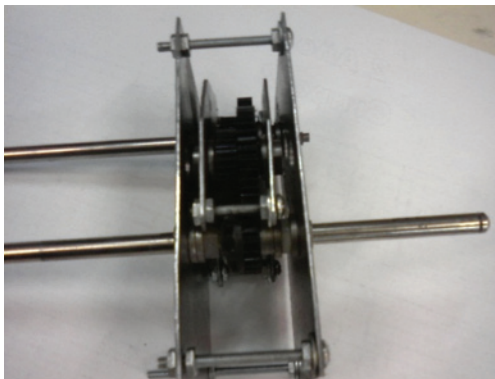
### Resultados

A los efectos de corroborar en la práctica esta propuesta teórica se construyó la cadena cinemática a escala reducida (1:20); de esta forma se pudo verificar el funcionamiento del sistema.

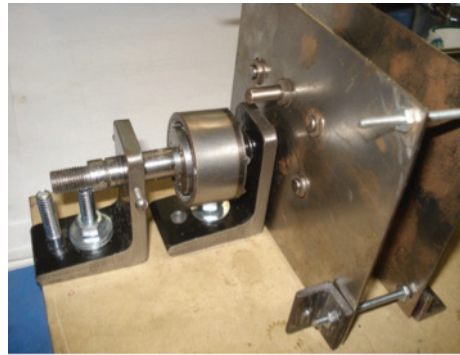
En las siguientes fotos se muestran partes de la cadena cinemática:

Los resultados obtenidos fueron los esperados, la cadena cinemática funcionó correctamente, el volante de inercia acumulaba la energía excedida y la entregaba cuando la boya se detenía.

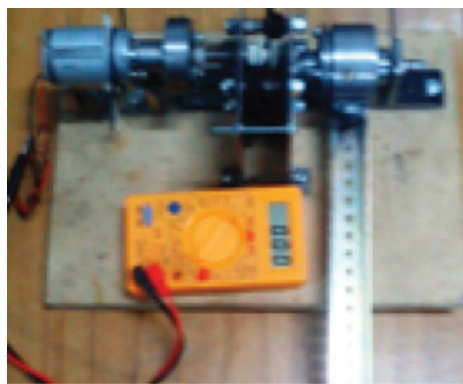
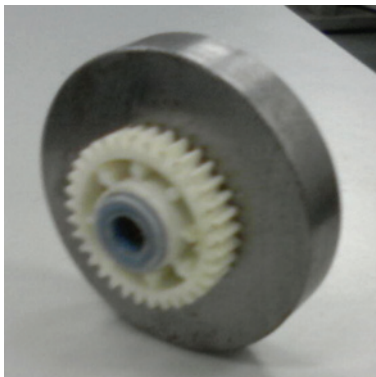
En el citado ejemplo se puede apreciar el generador eléctrico conectado a 10 leds de alto destello ubicados en la parte superior del equipo; durante el funcionamiento los leds alcanzaron su máxima intensidad. Este prototipo fue diseñado para verificar el funcionamiento elevando las boyas en forma manual.



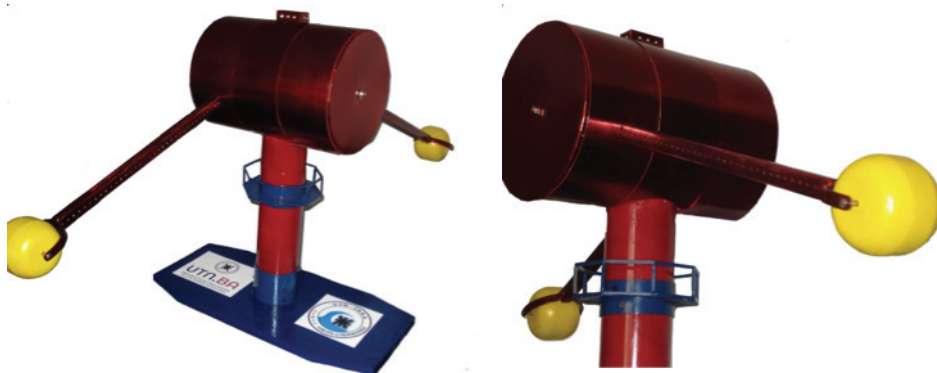
**Sistema unificador de giro (Imagen 5)**



**Sistema multiplicador, planetario (Imagen 6)**

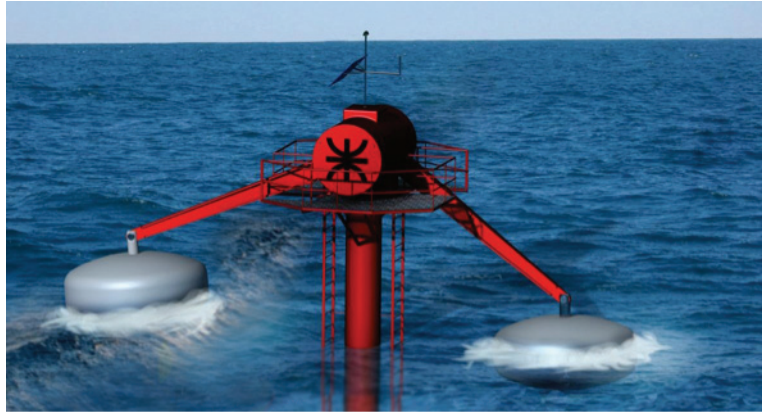


**Volante de inercia y sistema completo (Imagen 7)**

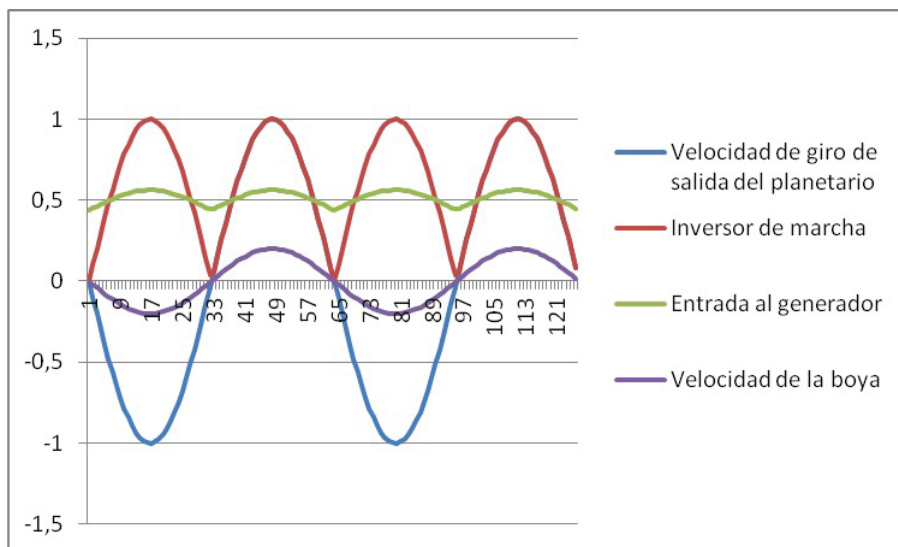


**Equipo finalizado (Imagen 8)**





**Imagen renderizada del equipo a escala real (Imagen 9)**



**Fig. 6. Gráfico de variación de rpm de la cadena cinemática**

## Discusión

Si bien los resultados obtenidos en este equipo fueron los esperados y del orden buscado, será necesario realizar un salto de escala, por ejemplo pasar a un prototipo a escala 1:10 y realizar los ensayos en un canal de simulación de olas (canal naval); este hecho es de crucial importancia para determinar diversos factores como el rendimiento del equipo, su comportamiento frente a distintos frentes de ondas y la forma más adecuada para el diseño del equipo, de esta forma se podrá afianzar la tecnología desarrollada.

## Conclusiones

El dispositivo electromecánico desarrollado permite utilizar la energía undimotriz para transformarla en energía eléctrica, es decir mediante el sistema mecánico se transformó el movimiento vertical de la boya en un movimiento circular sinusoidal a través del brazo de palanca. Mediante el planetario se amplificó el movimiento y con el unificador de giro y el volante de inercia se rectificó el movimiento, teniendo como salida una cantidad de giros cuasi constantes, ver Figura 6.

A los efectos de obtener del generador una tensión y frecuencia determinada se van a utilizar los denominados Inverter, estos sistemas electrónicos ajustan la salida de señal eléctrica a los valores requeridos.

## Agradecimientos

Queremos agradecer a las autoridades de la UTN.BA por el apoyo que siempre nos han brindado para el desarrollo de este proyecto, especialmente al Dr. Marcos Cohen que nos apoyó desde los inicios del proyecto y finalmente al Dr. Walter Legnani, como referente y guía en la investigación y desarrollo.

## Referencias

HAIM, A. y TULA, R. (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.

IBAÑEZ, P. (2006) "Energía Marina: Situación actual y perspectivas". Workshop Red de Pilas de Combustible, Baterías e Hidrogeno, Sevilla, España.

LEGAZ POIGNON, R. (2006) "Energía Marina: Desarrollo de una planta de energía de las olas en el Cantábrico". 2º Jornada Internacional sobre Energía Marina, Bilbao, España,

CARTA GONZÁLEZ, J. A.; CALERO PÉREZ, R., COLMENAR SANTOS, A. y ALONSO CASTRO GIL, M. s/f "Centrales de energías renovables". Editoriales: UNED y Pearson Prentice Hall. España