

# Estudio de la Técnica y Aplicación del Método Triz a Proyecto de Energía Undimotriz Nanaku Wave Energy

Vera Martínez, Alvaro  
Profesor guía Dr. Ing. Pedro Sariego Pastén  
Universidad Técnica Federico Santa María  
Departamento de Mecánica  
Valparaíso – CHILE

## RESUMEN

A través del presente trabajo se busca desarrollar un dispositivo undimotriz que sea capaz de captar la energía disponible en las olas del mar y transformarla en energía eléctrica de una manera eficiente. Para lograr el objetivo se busca utilizar la metodología TRIZ, y a través de la utilización de su matriz de contradicción, poder redefinir el problema, para de esta forma obtener soluciones aplicables según los requerimientos establecidos. La idea es poder desarrollar un prototipo que genere energía eléctrica a pequeña escala que pueda solucionar en parte el problema de suministro energético a comunidades costeras rurales aisladas del país.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años los temas energéticos y ambientales han ocupado gran parte de la agenda internacional y han sido situados como los de mayor importancia tanto por líderes como por economistas y científicos alrededor de todo el mundo. En Chile este tema no es menor dada la gran cantidad de comunidades rurales, destacándose entre ellas las costeras, que en la actualidad aún se encuentran desconectadas de las redes de suministro energético y que por lo tanto poseen una mala calidad de vida, bajos ingresos y ninguna perspectiva de desarrollo económico.

Lo anterior plantea un gran desafío para la sociedad y crea una excelente base para generar investigación y desarrollo de tecnologías en el área de las energías renovables no convencionales (ERNC), ya que abren una puerta hacia nuevas soluciones, que en su conjunto, pueden ayudar a satisfacer la creciente demanda de energía, aprovechando de manera eficiente y limpia el potencial energético de la zona

en que se sitúa la necesidad (del mar, eólico, solar, etc.). Cabe destacar que Chile cuenta con un potencial privilegiado de energía proveniente de los océanos, posicionándose como el líder mundial, con 57 [kW/m] de densidad de energía, según expertos en la materia.

Por lo tanto, lo que se propone a través de este proyecto es el desarrollo de una boya que capte la energía de las olas y la transforme en energía eléctrica (prototipo de 350W), también se contempla el posterior almacenamiento y toda la estrategia de control que logre satisfacer las necesidades energéticas de un hogar de la comunidad rural costera de Topocalma, VI Región de Chile. De esta manera las personas podrán refrigerar sus productos, lo cual incrementaría su calidad, su valor y finalmente podrán vender más, mejorar sus ingresos y finalmente sus expectativas de vida.

La metodología a desarrollar tendrá que ver con romper la linealidad del pensamiento

con el cual se ha venido trabajando y desarrollando el proyecto, para esto se plantea la posibilidad de obtener soluciones aplicables al dispositivo a través del uso del método TRIZ y su matriz de contradicción, lo cual calza de muy buena manera como un método que trabaja netamente con las variables típicas que surgen al momento de iniciar y desarrollar una invención.

## DESARROLLO

### Estado del Arte

Este es el tema más apasionante en relación a la posibilidad de obtener energía a partir del movimiento de los mares, pues da paso a la siempre cautivante imaginación del hombre y a la audacia del ingenio ante este desafío, que sin duda, supone una enorme importancia para el futuro energético de la humanidad.

Ante este desafío no hay una convergencia en cuanto al diseño y tecnología utilizada para captar este tipo de energía, pues como se podrá apreciar, hay una enorme cantidad de formas distintas de dispositivos, dentro de los cuales algunos ya han sido diseñados y construidos, y actualmente se están siendo probados en distintos países del mundo.

Principalmente se puede decir que estos dispositivos generadores se dividen en dos áreas, dejando fuera claro las centrales mareomotrices. Estos dos tipos de mecanismos se dividen en tecnologías costeras y de mar adentro (off-shore).

### Sistemas Costeros

Los sistemas costeros tienen como principal concepto el hecho de captar el movimiento alternativo del fluido agua o bien del consecuente movimiento del fluido aire a causa del fluido agua, a continuación se

nombran dos tecnologías que utilizan este principio:

- Sistema Pendolor
- Sistema Wavegen (OWC)

### Sistemas Fuera de Costa (Off-Shore)

Con respecto a este tipo de dispositivos se puede decir que reciben un régimen de olas con mucha mayor energía que los mencionados anteriormente, esto debido a que en aguas alejadas de la costa, con profundidades mayores a los 50 metros, los obstáculos físicos que encuentran las ondas, es decir, los mecanismos disipadores de energía del océano, son menores. A continuación se nombran algunos sistemas que se han desarrollado en el mundo y que funcionan costas afuera:

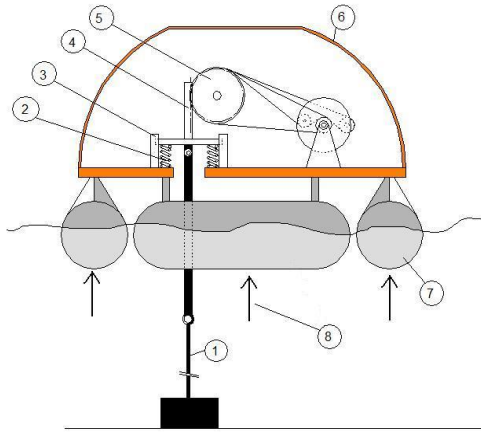
- Sistema Pelamis
- Sistema Wave Dragon
- Sistema AquaBuoy
- Sistema PowerBuoy
- Sistema Mighty Wave
- Sistema Nearshore OWC
- Sistema Archimedes Wave Swing
- Sistema WaveRoller

Además, para conocer las patentes inscritas relacionadas con este tipo de tecnología se utilizaron los distintos motores de búsqueda de las oficinas de patentes más importantes del mundo, las cuales se detallan a continuación:

- Bases de datos Oficina Europea de patentes:  
<http://ep.espacenet.com/>
- Base de datos Oficina de patentes de los Estados Unidos:  
<http://patft.uspto.gov/>
- Base de datos de la oficina de propiedad industrial del Reino Unido:  
<http://www.ipo.gov.uk/>

## Partes de las cuales se compone la invención

La invención consiste en captar la energía de la onda de mar a través del funcionamiento conjunto del sistema de



**Ilustración 1: Desarrollo inicial**

anclaje (1), conjunto de resortes (2), sistema de guías (3), cremallera (4), sistema de transmisión compuesto por los piñones y cadenas (5).

## Limitaciones

La invención presenta limitaciones relacionadas con su diseño. Esta debe estar ubicada en áreas del mar que presenten ciertas olas características, con cierto período y amplitud, en zonas no muy alejadas de la costa ni en las cuales la profundidad sea demasiado alta.

El sistema presenta muchas partes, de las cuales varias están sujetas a corta duración debido al medio hostil en el cual se ubicará el dispositivo, con altas probabilidades de presentar corrosión. Es muy importante considerar en el diseño el nivel de mantenimiento del equipo, pues mientras menos componentes lo compongan, el sistema se hace más modular y fácil de tratar.

## Análisis Comparativo

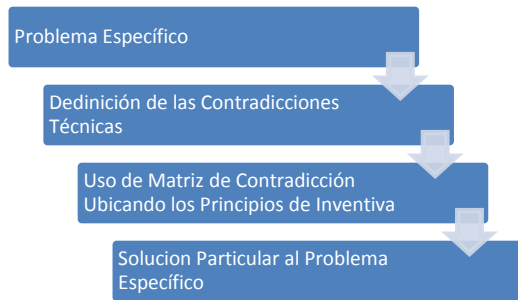
Lo que diferencia a la invención que se propone con los equipos y aparatos analizados en las patentes citadas, es la unión y consideración de las múltiples variables que pueden hacer más eficiente la captación de la energía de la onda de mar, traducida en la forma y disposición de los elementos mecánicos dispuestos al interior de la boya de una manera simple, adaptándolos a las condiciones y a las necesidades locales de generación. En la mayoría de los trabajos revisados se vislumbra que los diseños pueden eventualmente funcionar, el punto esencial es cuál es su eficiencia y su desempeño en condiciones reales, en otros, simplemente se está trabajando con los mismos conceptos, pero con tecnologías diferentes, como es el caso de la generación a través del uso de generadores lineales.

Se puede concluir que en general la invención presenta muchas similitudes con las patentes estudiadas, sólo podría diferenciarse al momento de entrar en funcionamiento debido a su rendimiento.

## Aplicación de Metodología TRIZ al diseño del Prototipo

Según el diseño propuesto se piensa que la boya presenta las características básicas para poder satisfacer los requerimientos establecidos de captación de la energía de la ola, pero se tiene la certeza de que la funcionalidad del sistema puede ser mucho mejor, esto significa que la cantidad de partes y piezas se puede reducir y que además se puede obtener un mejor rendimiento en el generador.

Para obtener nuevas ideas o posibles soluciones a la problemática expuesta se utilizará la matriz de contradicción de Altshuller siguiendo los siguientes pasos:



**Ilustración 2: Esquema Procedimiento desarrollo mediante Triz**

### Uso de la Matriz

En base al estudio de las características analizadas anteriormente se logró obtener una matriz de comparación, en la cual se relacionan una a una de las condiciones que mejoran y que empeoran ciertas características en el prototipo, con lo cual se llega a una cantidad considerable de nuevas ideas a considerar para incluir en el diseño final del dispositivo de generación undimotriz.

Características que Mejoran	10	12	19	21	34
Características que Empeoran					
1	A	B	C	D	E
3	F	G	H	I	J
7	K	L	M	N	O
12	P	Q	R	S	T

**Ilustración 3: Matriz de contradicción**

Número	Característica
10	Fuerza
12	Forma
19	Uso energético del objeto en movimiento
21	Potencia
34	Facilidad de reparación

**Ilustración 4: Características que se desea mejorar**

Características que empeoran	
Número	Característica
1	Peso del objeto móvil
3	Longitud del objeto móvil
7	Volumen del objeto móvil
12	Forma

**Ilustración 5: Características que empeoran**

En base a esta matriz se pueden obtener intersecciones de características, con las cuales posteriormente se podrán deducir posibles soluciones no observadas debido a la linealidad del pensamiento que se obtiene al dar muchas vueltas en un mismo diseño.

### Resultados Obtenidos

Al analizar detenidamente los resultados obtenidos, se ha llegado a algunas conclusiones en relación a las posibles modificaciones y reacondicionamiento del diseño propuesto en primera instancia. Para una mejor focalización en la obtención de resultados se realizó un análisis estadístico en el cual se seleccionaron aquellas características que acumularon el 80% de las apariciones.

**Extracción:** Separar o quitar la parte que genera el problema de contradicción.

**Asimetría:** Reemplazar una forma simétrica con una asimétrica. Si un objeto es asimétrico, aumentar su asimetría.

### Vibración Mecánica:

Emplear oscilaciones. Si ya existe una oscilación, aumentar su frecuencia.

**Contrapeso:** Compensar el peso de un objeto combinándolo con otro de tal manera que se tenga una fuerza elevadora. Compensar el peso de un objeto con fuerzas aerodinámicas o hidrodinámicas que influyan o interactúen con el medio ambiente

**Segmentación:** Dividir el objeto en partes independientes. Hacer un objeto fácil de desarmar. Incrementar el grado de fragmentación o segmentación de un objeto.

Es importante destacar que para este problema específico se presenta una congruencia entre los problemas observados con anterioridad a la aplicación del método, y las soluciones propuestas, pues estas parecen ser las adecuadas para obtener un

mejor diseño del dispositivo. Es relevante el hecho de que efectivamente los resultados del estudio y análisis de la matriz logran romper con el “acostumbramiento” a un sólo tipo de solución, logran abrir la mente y la percepción de que el mismo problema puede ser abordado de diferentes maneras.

Conjuntamente, para obtener un filtrado de las posibles soluciones, como se mencionó anteriormente, se realizó un pequeño análisis estadístico, el cual logra definir con mayor detalle y de manera más satisfactoria las soluciones a aplicar en el diseño.

### **Solución**

Rediseño Según Principios

#### **Extracción:**

Se decide eliminar sistema de cremallera resortes, pues en vista de la alta corrosión que puede presentar el sistema en el medio, puede hacer que éste se trabe y deje de funcionar en cualquier momento.

El sistema presenta mucha exposición al medio externo.

El sistema puede presentar una baja eficiencia, pues la energía obtenida depende netamente del vaivén del sistema interno, un sistema tipo manivela en conjunto con un volante de inercia parece ser una mejor solución.

#### **Asimetría:**

El sistema presenta una asimetría en su diseño en la parte delantera, con un mayor peso en esta zona, debido a que según el estudio de su movimiento, esto agilizaría un vaivén privilegiando el método de generación.

Se decide mantener esta asimetría en el rediseño.

### **Vibración Mecánica:**

Como el principio plantea el uso de oscilaciones, se decide utilizarlas y aumentar su frecuencia mediante un sistema manivela volante de inercia.

La utilización de este sistema proporciona la energía necesaria para generar energía eléctrica.

### **Contrapeso:**

Este principio es esencial en el rediseño del dispositivo, pues aunque ya está considerado de cierta forma en la asimetría de los componentes, ahora presenta una complementación con la fuerza de empuje que ejerce el agua sobre el sistema, proporcionando en conjunto con el peso, la energía suficiente para proporcionar movimiento al sistema interno. Es claro que esta fuerza debe ser maximizada por el sistema para obtener la mayor cantidad de energía posible, es por eso que se plantea la utilización de un tensor submarino.

### **Segmentación:**

Este principio tiene una importancia vital en lo relacionado con la mantención del sistema y la adaptación al medio en que se pretende situar. Aunque se pretende diseñar un dispositivo con la menor cantidad de partes posibles, estas deben estar bien diferenciadas para su mejor desarme y su correcto funcionamiento.

Con todas estas recomendaciones más una lectura atenta de todo el análisis realizado mediante el método TRIZ, se procede al rediseño de la boya generadora, con los consecuentes resultados, los cuales se muestran a continuación.

A través del estudio realizado se obtuvo un diseño que cumple con las características básicas para poder captar la energía de la ola y transformarla en energía eléctrica, el cual fue construido para poder realizar las

respectivas pruebas en un canal de olas. Esto con el fin de poder optimizar el diseño según condiciones reales de funcionamiento.

Para llegar a la construcción de un prototipo a escala que pudiese ser probado en un canal de olas, se debió contar con un plan de acción y con una metodología de desarrollo para que efectivamente se pudiesen obtener resultados. Primeramente se realizó una investigación de las tecnologías, como se mostró anteriormente, luego se realizaron diversos lazos cooperativos con distintos entes, tanto privados como públicos, dentro de los cuales destacan la Facultad de Ingeniería Civil Oceanográfica de la Universidad de Valparaíso, la empresa OceanGreen S.A., H.R Wallingford, Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), Núcleo Milenio de Electrónica y Mecatrónica de la UTFSM, Instituto Nacional de Hidráulica (INH), Grupo de Generación de Energías Alternativas GEA-UTFSM y Comisión Nacional de Energía (CNE).



Ilustración 7: Maqueta Nanaku Wave Energy

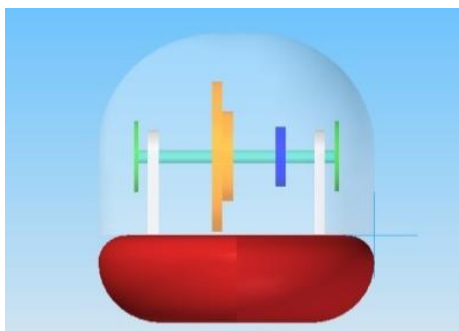


Ilustración 8: Modelo 3D Nanaku Wave Energy



Ilustración 6: Prototipo a escala Nanaku Wave Energy

### Desarrollo de las Pruebas

En el transcurso del estudio teórico y en la formulación del proyecto se presentó la necesidad de probar el dispositivo diseñado para asegurar que cumpliera con las funciones básicas para las que fue concebido, es por esto que se gestionó la utilización de un canal de olas ubicado en la localidad de Peñaflores, perteneciente al Instituto Nacional de Hidráulica (INH).

Las gestiones del equipo dieron sus frutos y en Agosto de 2009 se realizaron las primeras pruebas al prototipo de boya generadora Nanaku Wave Energy, en las cuales se observó el comportamiento de este dispositivo en terreno.

### Conclusiones:

A través de este extenso estudio, en el cual han colaborado un sin número de personas y entidades públicas y privadas, ha sido posible palpar de manera real y práctica las dificultades y las oportunidades relacionadas con la investigación y desarrollo de un dispositivo tecnológico de generación de energía eléctrica que basara su funcionamiento en el movimiento constante de la superficie del mar, tomando como base la simpleza y bajo costo de su construcción, para tener como fin, aportar en el desarrollo energético de las comunidades costeras aisladas de Chile.

Todo el proceso se ha desarrollado de una manera pausada, partiendo con escasa

información sobre el tema, pasando por análisis de las fortalezas y debilidades, oportunidades de patentamiento de la idea, análisis mediante el método TRIZ de diseño, hasta llegar a un punto en el cual se puede decir con orgullo que se han obtenido buenos resultados según los objetivos propuestos en un comienzo por el equipo, pues tomando en cuenta que este tipo de tecnologías sólo hace muy pocos años que viene captando la atención de los investigadores en temas energéticos en el mundo, es un gran logro haber obtenido una sinergia de tantas partes desconocidas entre sí para la obtención de un elemento tecnológico que nació para aportar con su creación al desarrollo y motivación de nuevos emprendedores y para la satisfacción de las necesidades de tantas comunidades aisladas que aún no cuentan con energía eléctrica en el país.

Es preciso nombrar que el desarrollo de este tipo de iniciativas es equivalente a lo que hace aproximadamente treinta años fue el desarrollo de la energía eólica, lo que nació como el sueño de algunos inventores, considerados locos por muchos en su tiempo, terminó siendo la alternativa limpia de generación eléctrica para muchos países en Europa y una de las alternativas que más se ajustan a las condiciones de Chile, en conjunto con la energía obtenida de los mares y la geotermia entre otras.

Otra conclusión importante obtenida del largo proceso de desarrollo del dispositivo es la importancia de contar con una metodología de diseño y de una correcta aplicación de las distintas áreas en pos del desarrollo del proyecto. El hecho de poder anclar áreas distintas del conocimiento, tanto en el ámbito ingenieril en sus distintas disciplinas, como con especialidades que mucho distan de los números, es vital para la sobrevivencia de iniciativas tecnológicas, pues el proyecto en sí consta de varias etapas y brazos, los cuales requieren de una

inteligencia en la toma de decisiones y una medida en cuanto a los objetivos propuestos, pues si estos no son analizados de manera consciente, pueden dar como resultado la no obtención de las metas o bien la desmotivación por no reconocer el camino a seguir.

Es un largo camino el hecho de plantearse desarrollar tecnología nacional, pues los canales metodológicos para los distintos tipos de tecnología aún son muy difusos y de un conocimiento que aún no tiene el carácter de público, por sus intrincados recorridos para la obtención final de lo necesario para que el proyecto obtenga lo justo. Es en estos casos, en que el hecho de pertenecer a equipos interdisciplinarios que funcionan como escuela para emprendedores, tales como GEA, es de gran ayuda para lograr las metas propuestas, pues son portadores del llamado “know how” en cuanto al desarrollo de proyectos de este tipo. Eso añadido al apoyo docente, tanto en asignaturas como en actividades extracurriculares, da como resultado un mayor nivel de éxito en este tipo de iniciativas, pues es mucho más factible tener los conocimientos y las competencias necesarias para postular a fondos concursables, obtener financiamiento destinado a I+D+i, etc. Todo da como resultado una formación de capital humano de pregrado que puede formalizar su especialización trabajando en proyectos de energías renovables tanto como investigación en ramos o bien en instancias finales de las distintas carreras, como memorias y trabajos de título.

### **Referencias Bibliográficas**

- [1] Rafael Oropeza Monterrubio: “Innovación Tecnológica Sistemáticamente Acelerada Mediante TRIZ”.
- [2] Luigi Valdes: “Innovación, el arte de inventar el futuro”.

