

PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE BOMBA UNDIMOTRIZ CON MATERIALES RECICLADOS PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE

González, Agustín Alen - LU 1076467

Ingeniería industrial
Ingeniería electromecánica

Rocco Couselo, Pablo Martín - LU 1058056

Ingeniería industrial

Tutor:

Larreteguy, Axel Eduardo, UADE

Co-tutora:

Misa, Agustina María, UADE

31 de octubre de 2022



UNIVERSIDAD ARGENTINA DE LA EMPRESA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS EXACTAS

Resumen

Ante el actual auge de la energía renovable y la necesidad de buscar e implementar nuevos sistemas que prioricen un aporte ecológico respecto a la utilización de los materiales, se plantea en esta tesis realizar el estudio de factibilidad técnica-económica para la construcción de una bomba con la cual se pueda obtener energía undimotriz en Argentina (y proyectable a otros países con mismas condiciones), a partir de materiales reciclables, con la propuesta de resolver el problema que tienen todos estos en común que es el costo de fabricación.

Mediante la construcción de un prototipo se logra confirmar la factibilidad de esta propuesta y, luego, con el estudio teórico y búsqueda de datos empíricos, se obtiene que un posible punto de implementación viable es en el sur de Mar del Plata, lugar donde junta todas las condiciones necesarias para llevar a cabo este proyecto.

De esta forma, con el desarrollo teórico y pruebas de ensayos se puede obtener que, con la implementación de un conjunto de bombas instaladas cerca de un acantilado y la ampliación de su uso para la generación de energía eléctrica, se pueden producir 5 kW de potencia eléctrica.

Con respecto a la rentabilidad, se concluye que requiere una inversión inicial que tiene un repago menor a 10 años, siendo así que sirve como una nueva opción de energía limpia con el agregado de la reutilización de materiales con su objetivo de reciclaje y cuidado del medioambiente.

Abstract

Due to the current growth of renewable energy and the need to search for and implement new systems that prioritize an ecological contribution concerning the use of materials, in this thesis we propose to carry out a technical-economic feasibility study for the construction of a pump to obtain wave energy in Argentina (and applicable to others countries under the same conditions), made of recyclable materials, with the aim of solving the problem that all of these have in common: the cost of manufacture.

By building a prototype, we are able to confirm the feasibility of this proposal and, then, with the theoretical analysis and empirical data search, we conclude that a possibly viable implementation point is in the south of Mar del Plata, a place where all the conditions are met to carry out this project.

Thus, having analyzed the theoretical development and trial tests, it is concluded that with the implementation of a set of pumps installed near a cliff, and the expansion of their use for the generation of electrical energy, 5 kW of electrical power can be generated.

As regards profitability, this project requires an initial investment and has a repayment of less than 10 years, considering that this is a new option for clean energy that implements the reuse of materials to recycle and preserve the environment.

Tabla de contenido

1. Objetivo del proyecto	6
1.1 Desarrollo del objetivo	6
2. Estado del arte	6
3. Marco teórico	9
3.1. Energía undimotriz	9
3.2. Teoría de olas	12
3.2.1 Oleaje	12
3.2.2. Clasificación de olas.....	15
3.2.3. Potencia del oleaje.....	18
4. Análisis del entorno.....	18
4.1. Condiciones climáticas y geográficas en Argentina.....	18
4.2. Matriz energética en argentina	20
4.3. Energía renovable.....	21
4.4. Costo de las energías renovables.....	24
4.5. Contexto del aprovechamiento de energía de las olas en Argentina; tipo de negocio	25
5. Marco legal.....	27
6. Impacto ambiental	28
7. Evaluación social.....	29
8. Propiedades mecánicas de los neumáticos para su reutilización.....	30
9. Estudio técnico	31
9.1. Conceptos	31
9.2. Descripción del artefacto.....	32
9.3. Método y lugar de construcción	34
9.4. Condiciones necesarias para la instalación.....	34
10. Prototipo	35
10.1. Materiales utilizados	35
10.2 . Armado de prototipo	39
10.3. Ensayo con prototipo.....	44
11. Cálculo funcional	45
11.1. Elección de ubicación de implementación	45
11.2. Estudio de la teoría de la ola	45
11.3. Cálculo del movimiento de la bomba con el pasar de la ola	47

11.4. Altura de columna de salida y caudal.....	49
11.5. Pérdidas	52
11.6. Energía obtenida y rendimiento	57
12. Análisis económico-financiero.....	59
12.1. Costos de inversión	61
12.2. Mantenimiento preventivo	62
12.2.1 Costo preventivo variable (de seguridad).....	63
12.2.2 Costo preventivo fijo	64
12.3. Comparación con otros métodos de generación de energía mediante fuentes renovables.	64
12.4. Determinación de precios:.....	65
12.5. Estudio de punto de equilibrio:	65
12.6. Ahorro en obtención de energía:	66
12.7. Beneficio impositivo y fondo fiduciario de energías renovables:	67
12.8. Flujo de fondos:.....	67
12.8.1. Período de repago.....	68
12.8.2. Cálculo costo promedio ponderado del capital (WACC).....	69
12.8.3. Cálculo de VAN	70
12.8.4. Cálculo de Tasa interna de retorno (TIR).....	71
12.9. Conclusión de análisis financiero	72
13. Análisis de sensibilidad.....	73
13.1. Caso optimista:.....	73
13.2. Caso de precio mínimo:.....	74
13.3. Caso de análisis con efecto de inflación:.....	75
14. Descripción de la forma de la puesta y conexión de las bombas	76
15. Conclusiones.	77
16. Bibliografía:	79

1. Objetivo del proyecto

Se realizará el estudio de la factibilidad técnica y económica de la construcción de una bomba impulsada por el movimiento de las olas, la cual posee entre sus componentes materiales reutilizados y que tiene como fin la elevación de agua para su posterior utilización en la generación de energía sustentable.

Se busca crear un sustituto de distintas tecnologías y mecanismos de bombas existentes, que brinde una opción de bajo costo, mediante el uso de herramientas cotidianas de cualquier taller, como también el tipo de materiales que utiliza.

1.1 Desarrollo del objetivo

Para llevar a cabo el objetivo este proyecto, se analizará:

- antecedentes,
- teoría de las olas,
- entorno,
- energía renovable en Argentina,
- construcción de prototipo,
- mercado eléctrico,
- cálculo del funcionamiento,
- costos.

2. Estado del arte

La búsqueda del aprovechamiento de la energía de las olas no es algo actual. La primera patente relacionada con este tema se registró en el año 1799, aunque se tiene constancia que ya en el siglo XIII se utilizaba al oleaje para la movilización de molinos en China. A principios del siglo XX el Frances Bouchaux-Pacei logra suministrar energía eléctrica a su casa en Royan, mediante un método muy parecido al de columnas oscilantes que se utiliza hoy en día, convirtiéndose de esta manera en uno de los pioneros en la transformación de energía undimotriz a energía eléctrica.

En Japón, en el año 1945 el comandante Yoshio Masuda comenzó trabajos de campo de investigación para la recuperación de energía de pequeñas olas. Gracias a los estudios realizados, en la década del sesenta se desarrolla un sistema que utiliza turbinas con una

potencia de 60 W que permiten recargar baterías de boyas de navegación. Más adelante, en los años setenta se implementó, también en Japón, el proyecto Kaimei, que consistía en una plataforma flotante de 12 metros de ancho por 80 metros de largo para el ensayo con turbinas neumáticas.

Durante los últimos años, países como España, Suecia, Dinamarca, Portugal, Japón, Gran Bretaña, entre otros, han estado inmersos en la investigación y desarrollo de este tipo de energía, dado que la misma resulta muy atractiva por sus características como son la disponibilidad y predictibilidad a lo largo de todo el año.

Debido a la naturaleza de las olas se ha generado una gran cantidad de sistemas diferentes orientados a la conversión de energía undimotriz entre los que podemos destacar a los convertidores de cuerpo oscilante y a los convertidores de columna de agua.

Los sistemas Pelamis (Fig. 1) y PowerBuoy (Fig. 2) se encuentran dentro de los convertidores de cuerpo oscilante.

El método Pelamis se compone de cilindros semisumergidos que actúan como mecanismo de flotación los cuales, a su vez, se encuentran articulados entre sí, permitiendo que se muevan, tanto vertical como horizontalmente, acompañando la superficie de las olas. El movimiento generado aumenta la presión en recintos que acumulan fluido hidráulico. Debido al aumento de presión el líquido es forzado a pasar por generadores hidráulicos en donde se realiza la producción de electricidad. En el caso del método PowerBuoy el principio de funcionamiento es el mismo, pero su principal diferencia es que el movimiento del mecanismo es completamente vertical. Como su nombre lo indica, el artefacto posee una boya en la superficie que acompaña el movimiento del agua, a su vez, posee un pistón hidráulico, fijo por una estructura anclada al fondo marino, que actúa como generador.



Figura 1: Pelamis

Fuente: The European marine energy center ltd



Figura 2: PowerBuoy

Fuente: OPT's PB3 PowerBoy.

Por otro lado, existen distintos métodos que utilizan las diferencias de presión y la columna de agua, ya sea utilizando su oscilación o aprovechando la gravedad. Los dispositivos que aprovechan la columna de agua oscilante son artefactos que cuentan, a grandes rasgos, con una cámara de aire, una turbina y un generador. Una masa de agua ingresa a la cámara mediante la inercia proveniente de las olas, lo cual genera un aumento en la presión que desplaza el aire, haciendo girar la turbina y a su vez un generador eléctrico, lo que deriva en la transformación de energía. Este tipo de convertidor suele tener válvulas y conductos que modifican el recorrido del aire para garantizar que las aspas mantengan su sentido de giro. Los dispositivos que utilizan la gravedad se diferencian principalmente en cómo se acciona la turbina de generación. En este caso el accionamiento es realizado por agua y se aprovecha la presión que genera la columna de líquido que se encuentra por encima de la misma para rotar. El dispositivo cuenta con un depósito en su parte superior que es abastecido por el agua que ingresa gracias a las olas que colisionan con sus bordes en forma de rampa. Ambos métodos tienen variaciones que pueden ser utilizadas tanto como construcciones costeras o como artefactos flotantes en el mar. En la figura 3 se puede observar una ilustración del método costero con turbina accionado por aire y en la figura 4 se puede observar el método Wave Dragon, que consiste en una balsa flotante en el mar que utiliza el agua de las olas que ingresan en su depósito para movilizar un generador.

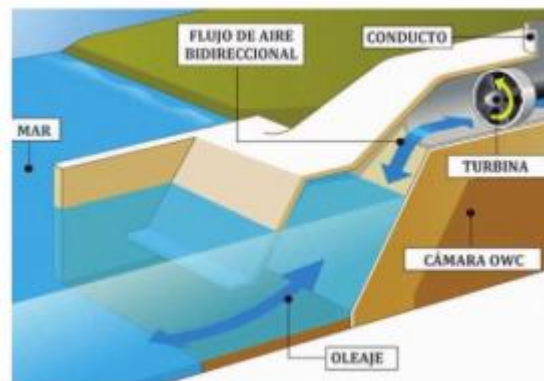


Figura 3: Método costero con turbina accionado por aire

Fuente: Agencia iberoamericana para la difusión de la ciencia y la tecnología. Edición propia

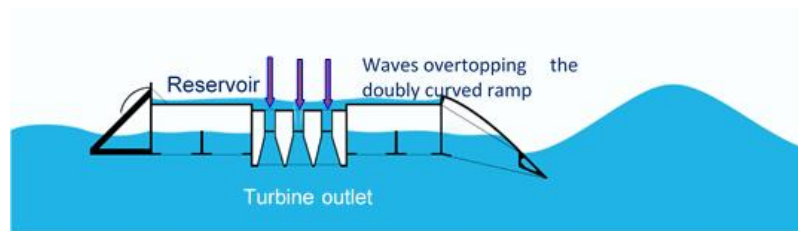


Figura 4: método Wave Dragon

Fuente: The Wave Dragon Technology

3. Marco teórico

3.1. Energía undimotriz

La fuente de energía principal que va a ser impulsora del movimiento esencial que efectuará la bomba de este trabajo es una de las que aporta el agua, específicamente la del mar, la cual es la undimotriz u olamotriz (ola: del francés *houle* o gaélico *hoeval*, movimiento u ondulación del agua; motriz: de raíz latina, lo que mueve). Su generación está en los efectos de la naturaleza sobre la superficie del agua, siendo su causa la combinación del viento generado por el cambio de clima, la marea generada por fuerza de atracción entre la luna, el sol y la tierra, los terremotos, entre otros. En particular, se apuntará a las olas generadas por el viento, ya que este es el que produce un mayor y constante movimiento que se puede pronosticar. Al ser

posible su captación para utilizarla y transformarla en otro tipo de energía, tomando en cuenta su origen, se la considera como una energía renovable.

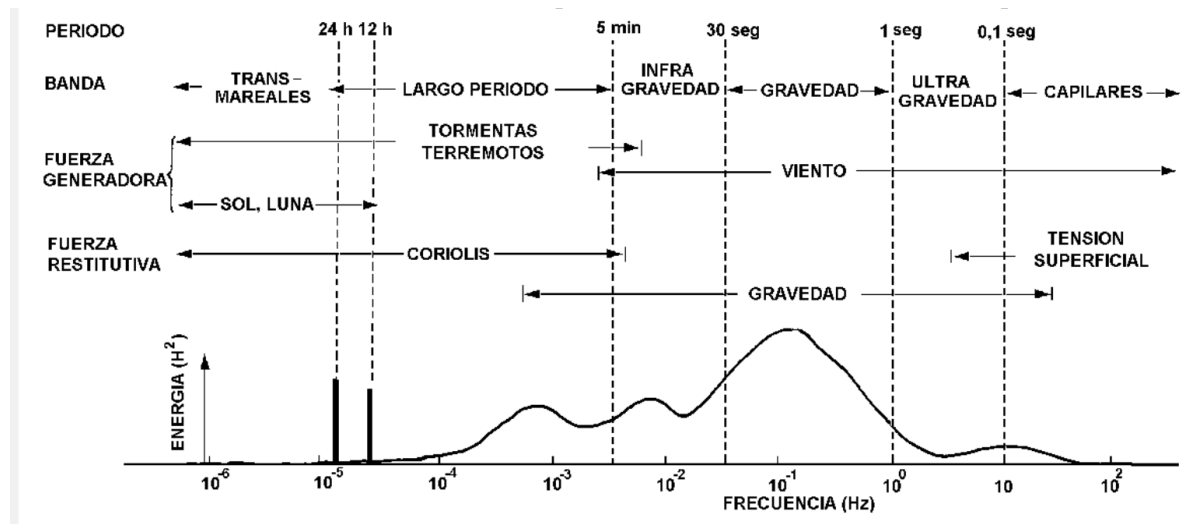


Figura 5: Efecto de la naturaleza que originan un tipo de ola
Fuente: Teoría lineal de olas – Instituto argentino de oceanografía

El viento es el movimiento de masas de aire entre distintas zonas de diferente temperatura y presión ambiental, lo cual es producido por el calentamiento heterogéneo que genera la radiación solar. Luego, el contacto de éste con la superficie del agua, genera un movimiento debido a la fricción ocasionada en la interacción entre ambos fluidos, dando lugar a pequeños rizados llamados olas de capilaridad, los cuales van aumentando la superficie de contacto al formarse un frente perpendicular a la dirección del viento. Esto hace que se genere una presión en dicho frente de ola que incrementa su tamaño con el roce de la masa de aire, trasladando la ola en distintas direcciones, pero siendo una predominante, tal como se observa en la figura 6. Desde este punto de vista se puede decir que lo que se describe en este apartado es un derivado de la energía solar (se estima que aproximadamente un 0,27% de energía solar recibida es lo que se transmite al oleaje).

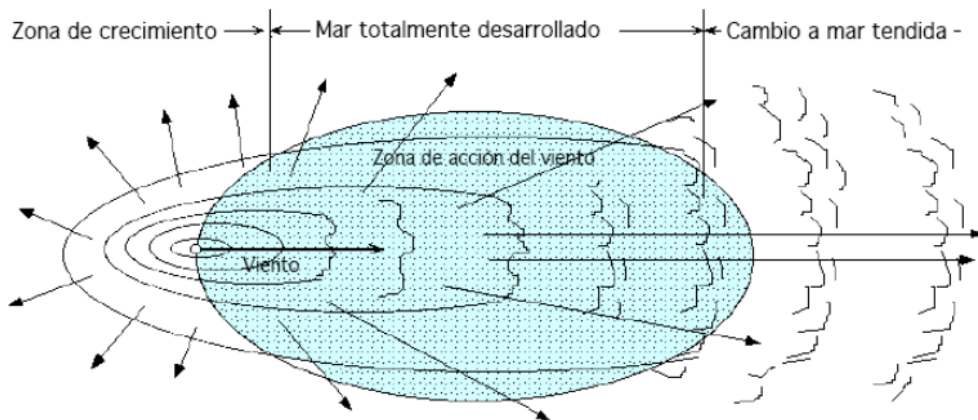


Figura 6: movimiento del viento con las olas

Fuente: Anexo I - Teoría de olas, Universitat Politècnica de Catalunya

Dependiendo de la ubicación de la ola respecto del área de generación, se distinguen dos tipos de ola. Se llaman *olas tormentosas* a las que se sitúan cerca o dentro de la zona donde son generadas, siendo de formas irregulares que pueden viajar hasta zonas donde no hay viento con una pequeña pérdida de energía. Luego, la *marejada de fondo* son las olas que se alejaron de la zona antes mencionada, ya en este caso con una forma más lisa, mayor frente de cresta y menos caótica, pero con pérdida de altura debido a la dispersión angular (ver figura 7).

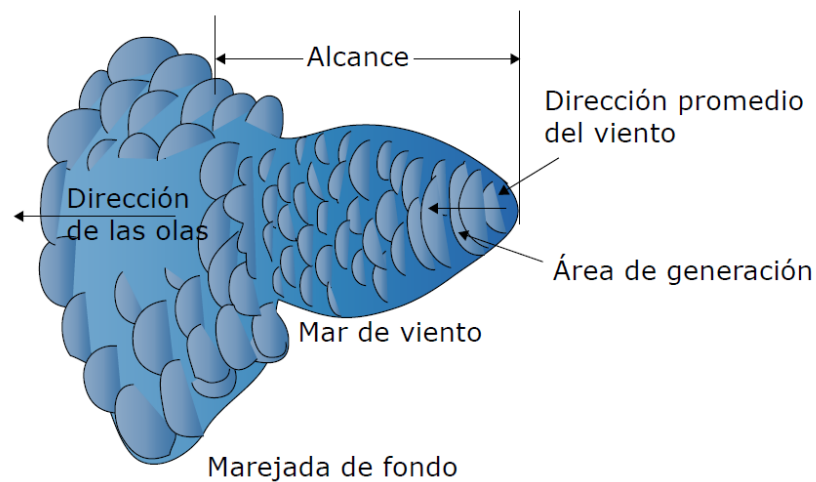


Figura 7: alcance y marejada de fondo

Fuente: trabajo de fin de curso "Estudio de las olas y su aprovechamiento en energía undimotriz"

Siendo así y de forma complementaria se distinguen otros factores que determinan el tamaño de la ola, los cuales dependen del viento. Estos son:

- la velocidad del viento,
- la duración de tiempo que este sopla,
- la distancia en la cual le transfiere su energía a la superficie del agua

De esta forma, se puede ver que la intensidad del oleaje depende del flujo de viento, de su duración y de la longitud de la superficie sobre la cual el viento tiene contacto con el agua.

Al estudiar este movimiento se pueden diferenciar tres tipos de fenómenos: el empuje de las olas, la variación de altura en la superficie y la variación de presión debajo de la superficie del agua (Ver figura 8). A su vez, se distinguen dos tipos de energías, la energía cinética del movimiento horizontal y la energía potencial de la diferencia de altura siendo que, en los temas referenciados al proyecto de la bomba, se estudiará y utilizará la energía potencial generada entre la cresta y el valle de la ola.



Figura 8, Magnitudes físicas de la ola.

Fuente: Ambientech: Ciencia, Salud y Medio Ambiente.

3.2. Teoría de olas

3.2.1 Oleaje

La ola es el movimiento que se genera sobre la superficie del agua, siendo a grandes rasgos una oscilación periódica. Visto de esta forma, abstrayendo y separando la misma en distintos puntos, por un lado, se puede generalizar su forma como si fuese una onda senoidal

pura, donde se distingue la altura H , la longitud de onda L , cresta, valle y período T (tiempo que tarda la onda en pasar por un mismo punto).

Por otro lado, considerando el medio donde se encuentra se puede distinguir la profundidad del agua “ d ” (o h) y la dirección de propagación predominante de la misma “ C ”. El nivel cero de referencia para medir la profundidad, se llama “ SWL ” (del inglés Still Water Level) (Ver figura 9).

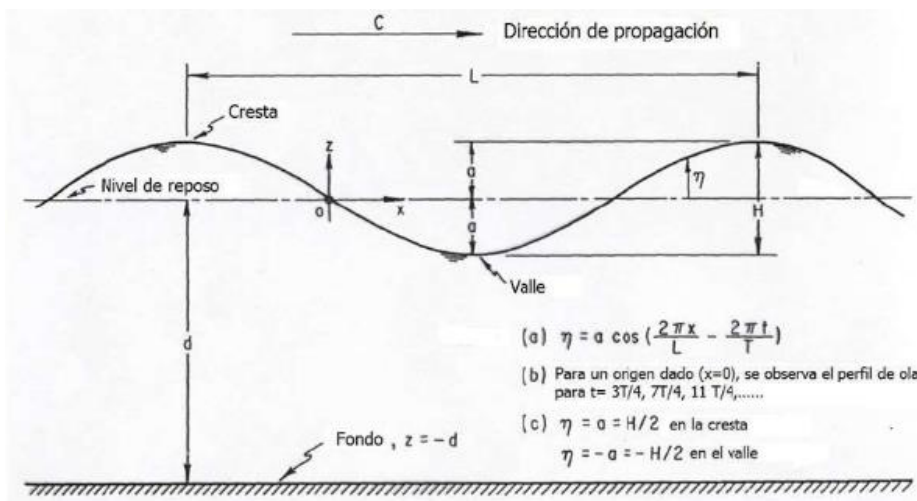


Figura 9. Partes de una ola.

Fuente: Teoría lineal de olas – Instituto argentino de oceanografía

Una particularidad de la superficie del agua mientras que se propaga la ola es que, sus partículas cumplen un movimiento rotativo circular, volviendo al mismo lugar de donde partió, sin desplazarse debido al efecto del viento. De esta forma se puede diferenciar el movimiento de la superficie del agua con respecto a cualquier tipo de movimiento por corrientes internas, siendo ambos independientes uno respecto del otro. Así mismo, este comportamiento se repite y disminuye a medida que se desciende del nivel SWL hasta $\frac{1}{2}$ de la longitud de onda de la ola como se observa en la figura 10.

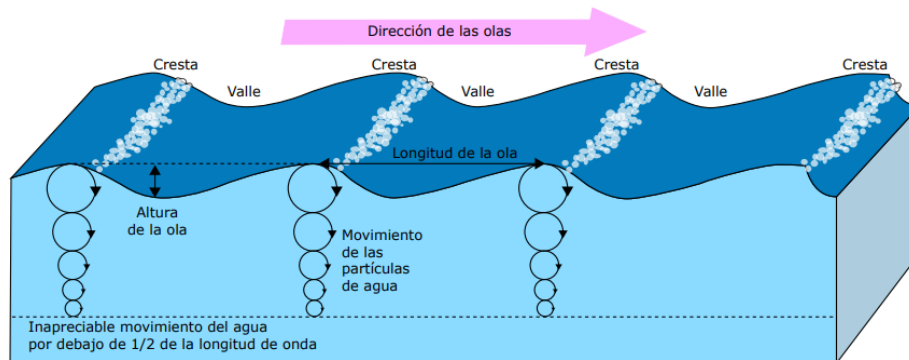


Figura 10. Movimiento circular sin traslación de partículas.

Fuente: Estudio del impacto ambiental de las ondas lineales y no lineales generados por tsunamis y huracanes en zonas costeras (Armando Mena Montla, 2018)

A su vez, esta forma circular que cumple la partícula del agua se va modificando a medida que el desplazamiento de la ola se acerca a aguas menos profundas, convirtiéndose en un movimiento elíptico. Por otro lado, la altura de la ola también dependerá de la profundidad por la cual esta circula, disminuyendo a medida que esta se reduce; volviendo a variar, aumentando su tamaño cuando se cumple la relación entre la altura de onda H y la profundidad h de $H/h \approx 0,78$ en costas con poca pendiente, debido a que las partículas de agua exceden la velocidad de la propagación de la ola que pierde energía por el roce con el lecho marino de poca profundidad, generándose una rompiente.

De esta forma, se distinguen tres tipos de relaciones de profundidad con longitud de onda de ola, las cuales modifican la forma de la misma, por lo tanto, su estudio, identificándose como:

- aguas profundas: $h/L > 0,5$
- aguas de transición: $0,5 \geq h/L > 0,05$
- aguas superficiales: $0,05 \geq h/L$

Debido a esta diferenciación respecto a las relaciones entre h y L , también varía la forma de obtener la velocidad de propagación C y la longitud de onda de ola L

Entrando un poco sobre la forma de la ola en un análisis espectral, se puede observar en la figura 11 que la misma es la sumatoria de distintas ondas. Estas pueden proceder de distintas direcciones dependiendo de su procedencia o, llegando más cerca de la costa, de la reflexión y difracción.

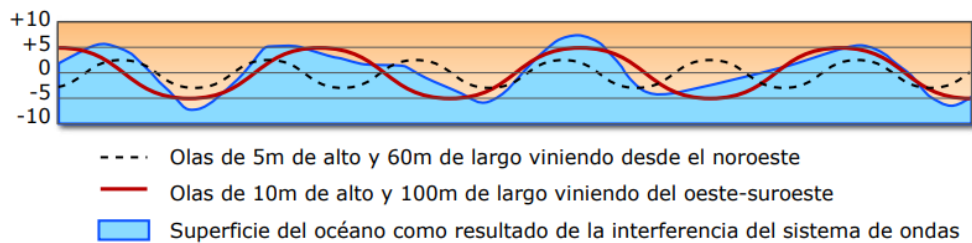


Figura 11. Superposición de ondas (olas)

Fuente: Estudio de las olas y su aprovechamiento en energía undimotriz (Román Martínez Aneiros, 2018).

Siendo así, se distinguen:

- ondas estacionarias:
es la resultante de dos ondas que circulan en sentido opuesto, con misma amplitud y longitud, generándose nodos que tienen la apariencia de estar inmóviles
- ondas progresivas:
es una onda que varía en el tiempo, de forma irregular

3.2.2. Clasificación de olas

Una vez hecha la descripción de los tipos de ola y distinguidas sus partes, se puede hacer una clasificación según su forma.

Existen diferentes teorías de clasificación de las olas, las cuales se dividen según un rango realizado por Le Méhauté (1976), dependiendo del período T , la altura de ola H y profundidad h . según la siguiente Figura 12.

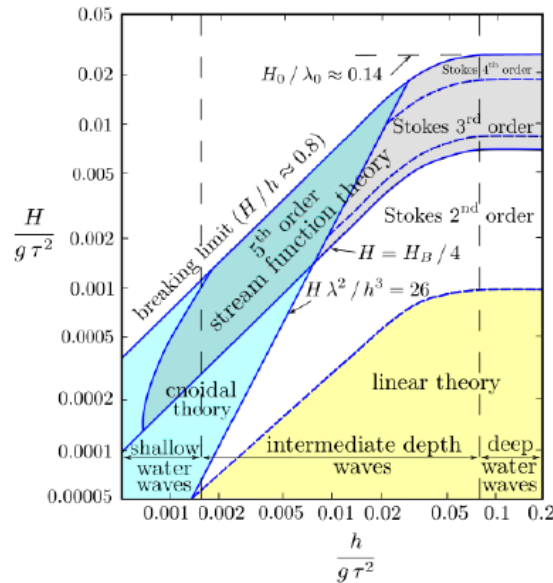


Figura 12. Indicador de aplicación tipo de ola, respecto a T, P y H, Le Méhauté
 Fuente: Anexo I - Teoría de las olas, Univesitat Politècnica de Catalunya

El parámetro utilizado para definir el rango de estudio en las distintas teorías es con el número de Ursell $U_r = \frac{H * L^2}{h^3}$, donde para aplicar la teoría de Stokes debe cumplirse $U_r < 21,6$; y para aplicarse la teoría de olas de forma cnoidal debe cumplirse $U_r > 21,6$ (quedan fuera de estudio las olas solitarias).

La diferencia entre la forma de estudio de cada teoría se fundamenta en la forma, distinguiéndose:

- Ola de Airy (olas lineales o Stokes de 1º)

Es una teoría lineal para olas de perfil trocoidal la cual simplifica el estudio de la ola asimilándola a una onda senoidal, que no depende de la profundidad h del mar, aunque sí depende de la longitud de onda L . Esta se utiliza para simplificar cálculo y aproximarse a una realidad.



Figura 13. Ola Airy

Fuente: Análisis de los requisitos eléctricos para el diseño de un parque offshore de energía undimotriz (Javier González Cubero, 2011)

- Olas de Stokes de 2° en adelante

Es una teoría no lineal para olas de perfil trocoidal alargado, debido a su forma de onda senoidal solo en la cresta y con un valle más alargado, que sirve para el estudio en aguas en los tres tipos de profundidades mencionadas en el apartado de *oleajes*. Su descripción de la ola es con mayor precisión, aunque de alta complejidad matemática



Figura 14. Ola Stokes

Fuente: Análisis de los requisitos eléctricos para el diseño de un parque offshore de energía undimotriz (Javier González Cubero,2011)

- Olas cnoidales

Es una teoría no lineal para olas de perfil cicloide, de longitud de onda L larga respecto a la profundidad h . Está basada en función elíptica cn de Jacobi la cual presenta una forma de ola más puntiaguda respecto a las teorías anteriores



Figura 15. Ola cnoidal.

Fuente: Análisis de los requisitos eléctricos para el diseño de un parque offshore de energía undimotriz (Javier González Cubero,2011)

- Olas solitarias

Es una teoría no lineal para aguas poco profundas con olas aisladas



Figura 16. Ola solitaria.

Fuente: Análisis de los requisitos eléctricos para el diseño de un parque offshore de energía undimotriz (Javier González Cubero,2011)

3.2.3. Potencia del oleaje

Dentro del campo de la mecánica, el cálculo de la potencia se utiliza para medir la energía por unidad de tiempo. Este dato sirve de distinción característica del objeto en estudio, el cual se puede utilizar para comparar y sacar relaciones con otros objetos.

Como se fue demostrando a lo largo de la explicación teórica, se observa que hay varias formas de estudiar el movimiento de las olas, dependiendo de sus características. Esto también sucede para calcular la potencia de la misma, siendo así que cada tipo de ola tiene su forma de calcularla.

La potencia de la ola se define por el flujo de energía de su superficie vertical, la cual es perpendicular a la dirección de su propagación de onda. Esta se mide en Watt por cada unidad de metro de frente de onda (frente el cual simplifica y representa a la superficie de la ola).

Focalizando en el tipo de ola que se estudiará para la implementación de la bomba undimotriz, se calculará la potencia frontal de las olas cuya profundidad intermedia se encuentra entre $L/20$ y $L/2$, cuya ecuación es:

$$P_W = \frac{\rho_W g^2}{64 \pi} \cdot H^2 S T_Z \left(1 + \frac{(2 k h)}{\text{sen}(2 k h)} \right) \tanh(k h) \quad (1)$$

Ecuación 1, potencia frontal de la ola

Fuente: Anexo I - Teoría de las olas, Universitat Politècnica de Catalunya

Donde:

- $k = 2 \pi / L$ es el número de onda
- “ h ” es la profundidad
- “ T_Z ” es el período medio de paso por el cero ($T_Z \approx 0,76 T$)
- “ ρ ” es la densidad del agua de mar
- “ g ” es la aceleración debido a la de gravedad de la tierra

4. Análisis del entorno

4.1. Condiciones climáticas y geográficas en Argentina

Para entender las condiciones climáticas, primero se debe conocer la zona sobre la que haremos referencia. La República Argentina es un país que cuenta con una gran extensión de

costa sobre el océano atlántico. Debido a que el valor de la superficie costera puede variar dependiendo del método de medición utilizado, es difícil determinar un número exacto. Se extiende desde aproximadamente el paralelo 35° sur, hasta el paralelo 55° sur. Los valores más difundidos rondan los 5.000 km de extensión de costa. Teniendo en cuenta las líneas de base costeras y una distancia de 200 millas a estas, Argentina posee alrededor de 4.800.000 km² de superficie de agua bajo jurisdicción y soberanía nacional.

De esta forma, con estos datos y entrando en las condiciones necesarias para este proyecto, se puede decir que la Argentina se encuentra dentro las zonas del mundo donde hay más probabilidad de hallar vientos regulares que aportan una mayor potencia a las olas. Dichas zonas son las que se ubican entre los paralelos 30° y 60° de ambos hemisferios (este es el motivo por el cual muchos de los proyectos con los que se tomaron de referencia en el estudio del arte, se encuentran en Portugal, España, Dinamarca, Japón, entre otros).

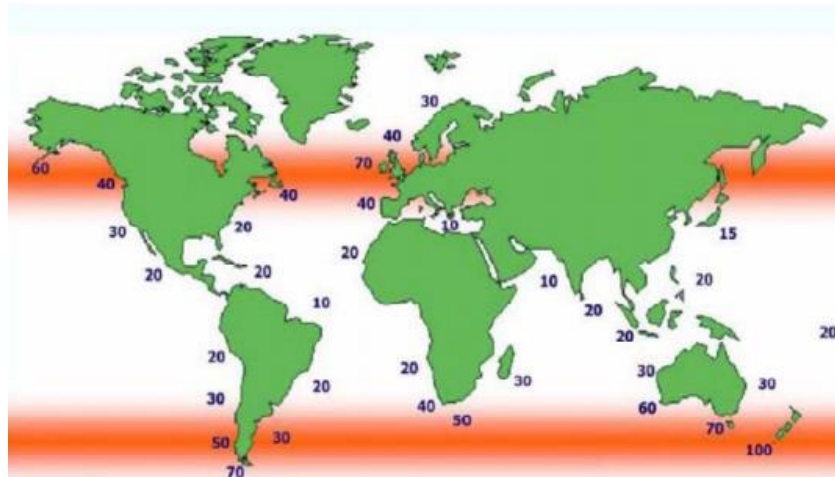


Figura 17. Distribución mundial media de energía undimotriz en kW/m.

Fuente: Amundarain, M. (2012). La energía renovable procedente de las olas.

La condición climática en la que se hace mayor hincapié es en la del viento, ya que es el factor principal que genera el movimiento de las olas. En la Patagonia argentina, el viento es de los más abundantes por encontrarnos en zonas con clima preponderantemente semiárido, siendo esto mayor en las épocas invernales.

Por otro lado, otra condición necesaria para la utilización de la bomba, es que tiene que haber una zona de altura hacia donde se dirigirá el agua a bombear. Una de las formas de encontrar esta condición en la naturaleza son las estructuras geológicas de accidentes

geográficos de abrupta pendiente, llamados acantilados. Esto es una de las características principales que abundan en la costa patagónica. Su altura es variable, pero rondan entre los 30 hasta los 100 msnm.

Por último, resta mencionar que la temperatura es de efecto despreciable para este proyecto, debido a que los materiales que serán utilizados no son afectados de manera considerable por los climas de invierno o verano.

4.2. Matriz energética en argentina

La demanda eléctrica del país en los últimos años, si bien posee algunas estacionalidades, como aumentos en invierno y verano y descensos en las épocas de primavera y otoño, resulta ser relativamente estable. Tal como se puede ver en la figura 18.

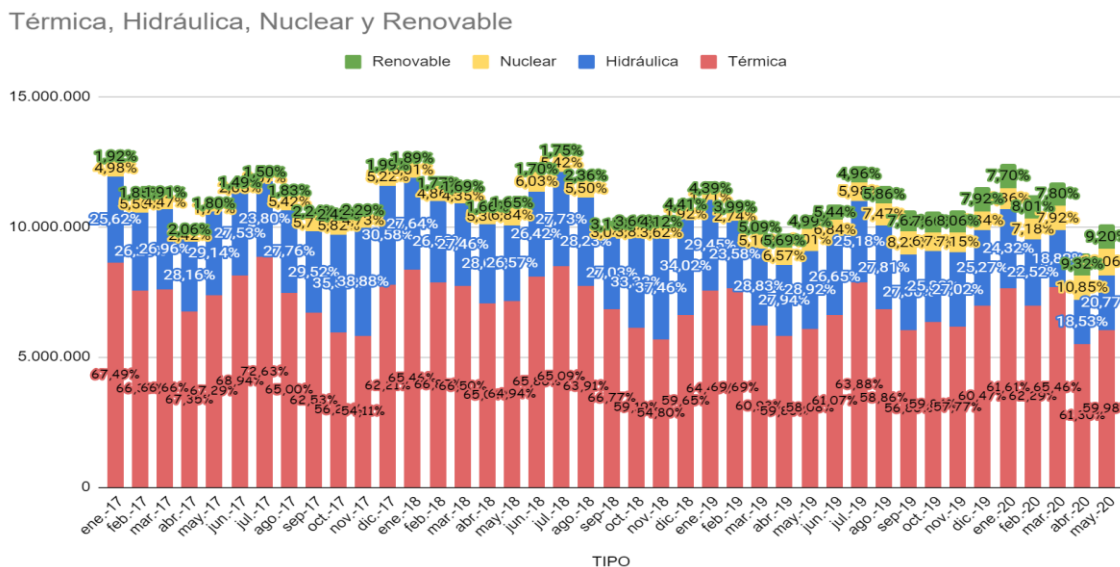


Figura 18. Generación porcentual por tipo de energía en argentina.

Fuente: Elaboración propia con datos de CAMMESA

La necesidad de energía eléctrica es abastecida principalmente con generación térmica que utiliza combustibles fósiles no renovables para su funcionamiento. En los últimos tres años, en promedio, el 63% de la energía generada provino de centrales térmicas y el 28% de centrales hidroeléctricas de gran generación, dejando en tercer y cuarto lugar a la generación por centrales nucleares y a la generación renovable respectivamente.

Observando con mayor profundidad a la generación térmica se puede ver la evolución en los últimos años de los tipos de combustibles que utilizan las centrales para la generación. En la figura 19 se observa un aumento porcentual en la utilización de Gas Natural en decremento/detrimento de otros combustibles más contaminantes y menos eficientes.

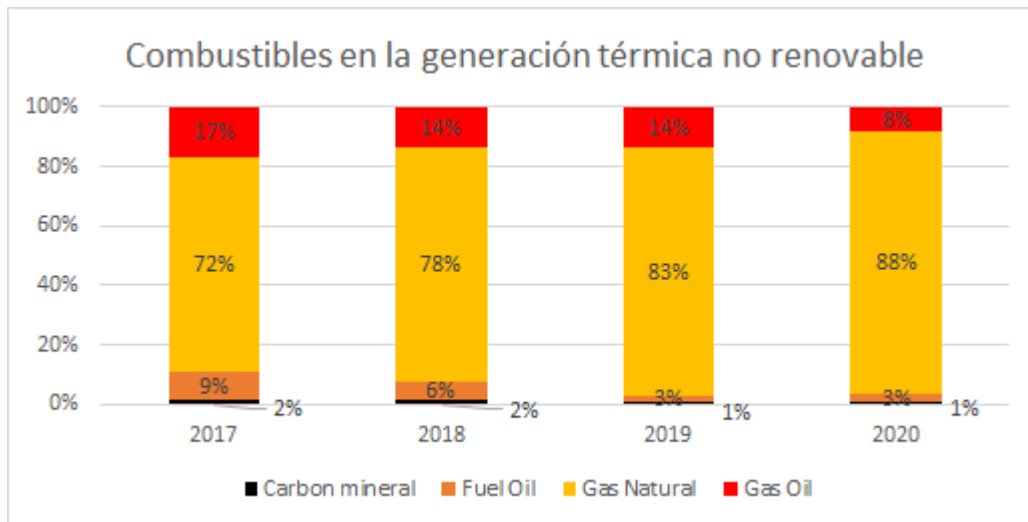


Figura 19. Distribución porcentual de combustibles en la generación eléctrica no renovable en Argentina.

Fuente: elaboración propia con datos de CAMMESA

4.3. Energía renovable

Las energías renovables se denominan como tal debido a que provienen de fuentes que tienen la capacidad de regenerarse de manera ilimitada teniendo en cuenta una escala humana. En otras palabras, el recurso vuelve a disponer de energía más rápido de lo que se demora en consumirlo.

Existen distintos factores por los cuales es importante el desarrollo de este tipo de energías, entre los cuales podemos destacar, el calentamiento global y la necesidad de reducción de gases de efecto invernadero, la escasez de recursos y la posibilidad de obtener independencia eléctrica tanto a nivel país como a nivel local. Entrando más en detalle en este último punto, en Argentina, se redactaron reglamentaciones (leyes/decretos) con el fin de fomentar la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables. Tal es el caso de la ley 27.191, la cual establece que para el 31 de diciembre del año 2025 se deberá lograr abastecer como mínimo el

20 % de la demanda local con energía eléctrica proveniente de fuentes renovables, definiendo a las fuentes renovables como “ *las fuentes renovables de energía no fósiles idóneas para ser aprovechadas de forma sustentable en el corto, mediano y largo plazo: energía eólica, solar térmica, solar fotovoltaica, geotérmica, mareomotriz, undimotriz, de las corrientes marinas, hidráulica, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración, biogás y biocombustibles, con excepción de los usos previstos en la ley 26.093.* ”.

Si bien la nombrada ley fue promulgada el día 15 de octubre del año 2015, la generación de energía renovable se mantuvo estable hasta mediados del año 2018. Tal como se evidencia en la figura 20, los esfuerzos por incrementar la generación renovable fueron orientados principalmente hacia las tecnologías eólicas.

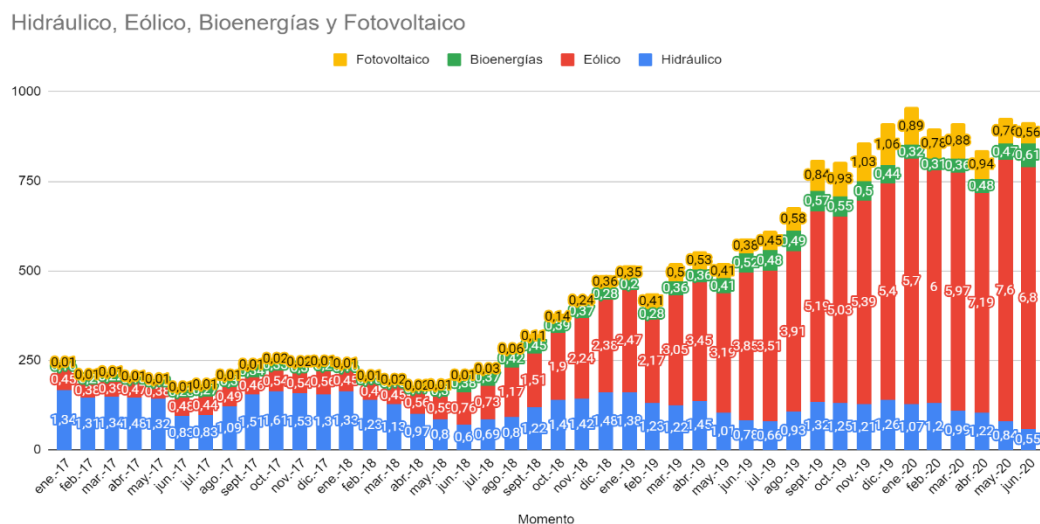


Figura 20. Estudio de la generación de energía renovable a lo largo del tiempo.

Fuente: elaboración propia con datos de CAMMESA

Con la implementación de nuevos centros de generación se logró alcanzar, en el mes de diciembre de 2019, un pico de generación renovable de 958 GWh que representó el 7,98% de la generación total del correspondiente mes. A modo de referencia y teniendo en cuenta la demanda de los primeros 5 meses del año 2020, la generación renovable debería aumentar en 2177 GWh para representar el 20% del total generado.

En cuanto a la energía hidráulica, se debe tener en cuenta que para que la misma sea considerada renovable a nivel reglamentario, debe tener una capacidad de generación menor a

50 MWh, dado que se considera que superado este valor los proyectos deben contar con estudios técnicos, económicos y, especialmente, ambientales más extensos, con el fin de garantizar la viabilidad de los mismos.

Analizando la evolución porcentual de la generación, en los últimos años, de los pequeños aprovechamientos hidráulicos (figura 21), podemos ver una clara tendencia a la reducción de generación, esto sumando al incremento del total generado mediante otras fuentes renovables nos indica que no se están teniendo en cuenta a este tipo de producción. Además, se observa una clara estacionalidad en este tipo de generación, en la cual se producen picos en épocas de primavera-verano y valles durante los periodos de temperaturas más bajas.

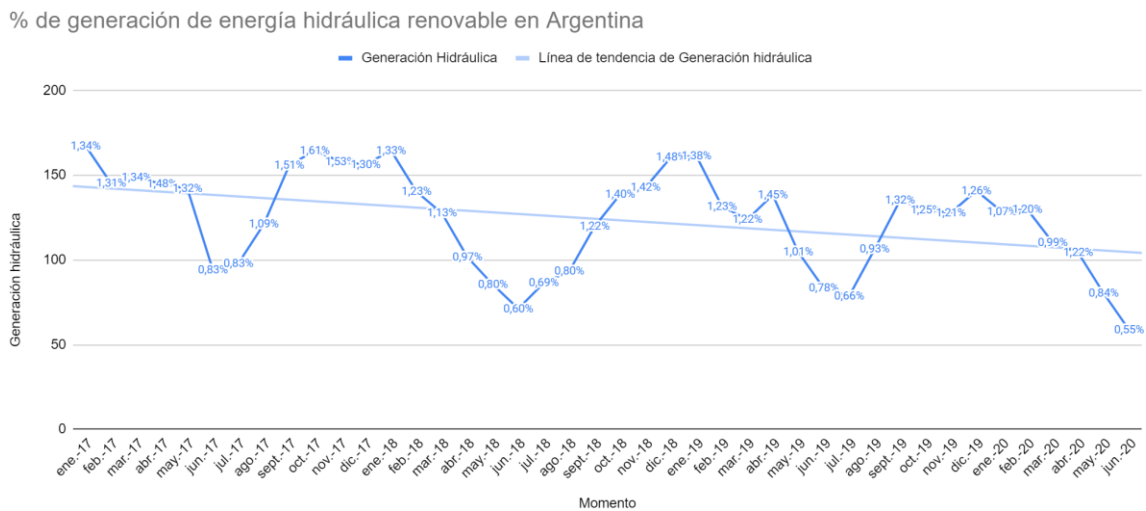


Figura 21. Porcentaje de generación de energía hidráulica renovable en argentina.

Fuente: elaboración propia con datos de CAMMESA

Desde el año 2016, existen políticas que fomentan la creación de nuevos proyectos renovables para el abastecimiento del mercado eléctrico como es el caso del programa “RenovAr”, el cual surge desde de la secretaría de energía como una política de estado que se basa en la mencionada ley 27.191. Este otorga incentivos a los proyectos de generación de energía renovable, tales como exención de aranceles a la materia prima, incentivos a los proveedores locales, beneficios para la rápida ejecución y un monto de dinero por Mega Watt de energía que se genere. Por otra parte, actualmente se encuentra disponible el Mercado A Término de Energías Renovables (MATER), mercado generado para la promoción de

operaciones de compra y venta de Energía Renovable entre privados, con su propio marco legal y regulaciones.

4.4. Costo de las energías renovables

A lo largo de los últimos años, los avances tecnológicos y la producción a una escala mayor de generación derivaron en que los costos de las energías renovables disminuyeran notablemente. Este cambio fue impulsado en gran medida por el ingreso de la república de china a la generación de energía mediante métodos renovables. En la figura 22 podemos ver la evolución del costo nivelado de la energía desde el año 2010 hasta el año 2020 por tipo de tecnología, con una clara tendencia general al descenso. Esta tendencia se ve muy influenciada por las tecnologías que más desarrollo han tenido durante los últimos años, como son la energía solar fotovoltaica (ESF) y la energía eólica. A modo de ejemplo, la reducción de costos de la ESF en este período fue de aproximadamente el 85%. Esto, sumado a que el mayor porcentaje de generación de energía eléctrica renovable es realizada bajo este método hace que el costo promedio de la misma se vea reducido notablemente.

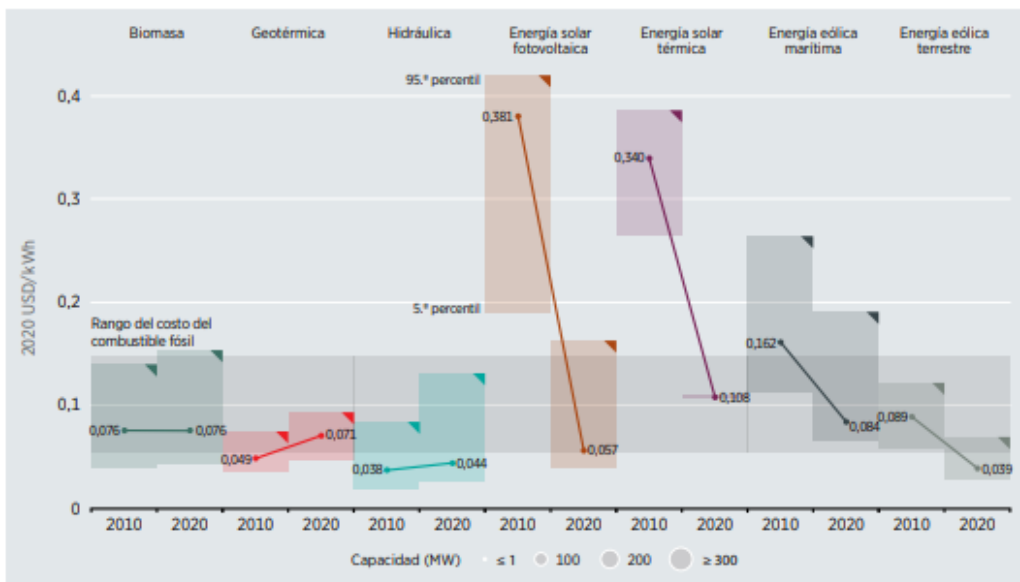


Figura 22. LCOE globales de tecnologías de generación de energía renovable a escala de servicios recién puestas en servicio, 2010-2020

Fuente: Incentivos y Estrategias para la Penetración de Energía Renovable. Revista Técnica Energía.

Desde el punto de vista local, en el país se puede observar una tendencia muy similar a lo ocurrido a nivel global.

Realizando un análisis del mercado a término de las energías renovables entre los años 2017 y 2021 se define una reducción del 63%, pasando de un valor de 195 U\$D/MW en julio-2017 a 72 U\$D/MW en dic-2021. Tal como se observa en la figura 23.

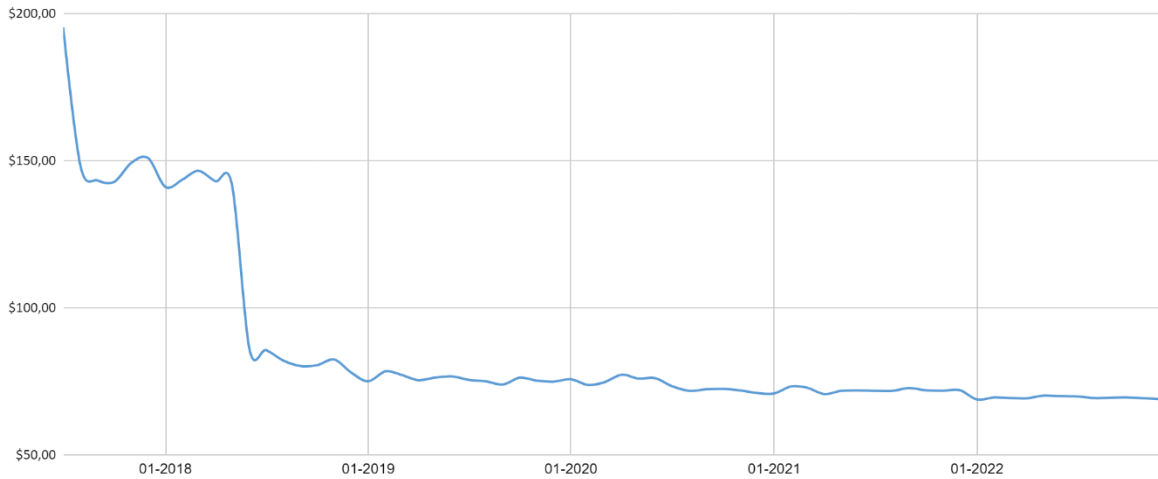


Figura 23. Evolución precio – energía renovable (MATER) U\$D/MWh

Fuente: elaboración propia con datos de CAMMESA

En función de los datos obtenidos, los datos proyectados y generando un promedio de costo entre las energías renovables, a día de hoy, podemos tomar que el costo real de la producción de energía renovable actual ronda los 0,070 U\$D/kWh. Tomando un dólar por el valor de 200 pesos nos resulta en 14,02 ARS /kWh

A su vez, realizando un análisis más preciso del tipo de energía que obtiene el proyecto, debemos focalizarnos en los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos. Este tipo de aprovechamiento posee un costo más elevado que los que utilizan la energía solar o la energía eólica. Es así que, el precio real proyectado para mayo de 2022 en el MATER arroja un valor de 0,119 U\$D/kWh. Resultando en 23,80 ARS /kWh.

4.5. Contexto del aprovechamiento de energía de las olas en Argentina; tipo de negocio

En Argentina, existen pocos antecedentes de desarrollo tecnológico en energía undimotriz.

En el año 2009 se inició la idea de un proyecto de investigación para el aprovechamiento de la energía undimotriz para la generación de energía eléctrica, que actualmente se encuentra en pleno desarrollo y es impulsado por la Universidad Tecnológica Nacional -Facultad Regional Buenos Aires con la dirección conjunta del Ing. Alejandro Haim y el Ing. Mario Pelissero.

El proyecto consiste en la generación de un método viable de generación de energía eléctrica a partir de la energía de las olas. Con los estudios generados en últimos años mediante el proyecto mencionado se logró avanzar en el desarrollo de nuevas tecnologías orientadas al aprovechamiento de la energía de las olas.

Bajo dicho proyecto el Grupo UNDIMOTRIZ de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires construyó un prototipo de escala 1:10 de un generador undimotriz con una capacidad de generación de 50 W, actualmente se encuentra en proceso de construcción un generador a escala real, el cual tiene la intención de ser instalado en la escollera del puerto de Mar del Plata.



Figura 24. Prototipo a escala 1:10 del Grupo UNDIMOTRIZ de la UTN, de Buenos Aires.

Fuente: diario virtual “Defensa nacional y del mundo” – Aprovechamiento de la energía undimotriz en Argentina

Durante los inicios del año 2021, se aprobó el “Estudio del potencial energético undimotriz de Mar del Plata mediante modelado SWANE” llevado adelante por la Ing. Griselda Alejandra Carreras donde se evalúan las características propias del oleaje de la zona costera y aguas profundas de la ciudad de Mar del Plata y sus alrededores. Se destaca, en su investigación, el descubrimiento de la estacionalidad en el potencial undimotriz de la zona, donde se resalta un mayor potencial durante épocas invernales.

5. Marco legal

Se realizó un estudio de las principales leyes, decretos y reglamentaciones que impactan sobre el proyecto.

Este estudio tiene como objetivo conocer la gestión legal que se debe realizar para llevar a cabo un emprendimiento de generación de energía limpia con materiales reciclados, como así también el tipo de permisos a solicitar y requisitos marítimos debido al lugar de implementación. De esta forma, se mencionarán los ítems que se utilizaron a lo largo de este proyecto para su confección:

- Decreto 2.977/1983 “Reglamento de señalización marítima”, artículo 0104, 0105, 0315, para dar aviso al Servicio de Hidrografía Naval de la instalación de señalización indicada por la Asociación Internacional de Señalización Marítima (IALA B)
- LEY 23.968 “Espacios marítimos”. Fijase las líneas de base de La República Argentina.
- Leyes de energías renovables:
 - Decreto 882/2016 – ley 27191 -Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica.
- Leyes de reciclado:
 - Ley 25.612. Gestión integral de residuos industriales y de actividades de servicio.
 - Resolución 523/2013. Manejo sustentable de neumáticos.
- IRAM 113.323. Reconstrucción de cubiertas neumáticas. Criterios mínimos de selección de cubiertas neumáticas para reconstrucción y reparación. Inspección e identificación.
- Ley de tránsito 24.449. Recambio de los neumáticos dependiendo de la huella
- Convención de las naciones unidas sobre el derecho del mar: Según lo indicado en la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar se tiene que, cita textual, “ *Derechos de soberanía para los fines de exploración y explotación, conservación y administración de los recursos naturales, tanto vivos como no vivos, de las aguas suprayacentes al lecho y del lecho y el subsuelo del mar, y con respecto a otras actividades con miras a la exploración y explotación económicas de la*

zona, tal como la producción de energía derivada del agua, de las corrientes y de los vientos”.

- IALA B. Normativa de señalización con boyado náutico.
- Ley 27.167. Programa nacional de investigación e innovación productiva en espacios marítimos argentinos.
- Ley 26.190. Fomento del uso de las fuentes renovables para la generación de energía eléctrica.
- Ley 25.924. Devolución del IVA y amortización acelerada del impuesto a las ganancias

6. Impacto ambiental

Dada la falta de implementación de proyectos de energía undimotriz en aguas argentinas, no se cuenta con datos empíricos locales por lo cual es difícil determinar el impacto que puede tener la colocación de una bomba undimotriz en el país.

Nuestro proyecto, en condiciones normales de operación, no genera emisiones líquidas, sólidas ni gaseosas. Cabe destacar que el artefacto se limita a utilizar al agua de mar como fluido hidráulico por lo que en el caso de generarse una filtración o rotura en el sistema no se derramarán líquidos nocivos al mar.

A pesar de esto, la instalación de un dispositivo flotante en la superficie del agua puede modificar distintos aspectos del área donde se localiza. Por lo tanto, los factores a tener en cuenta son:

- El ruido generado:

En mayor proporción sería dado por el movimiento de las articulaciones, partes móviles, el agua dentro de los artefactos y la propia agua que impactará con el artefacto.

- Modificación del oleaje:

El dispositivo se acopla al movimiento de la ola en una superficie mucho menor que al frente de ola. Se deberá tener en cuenta el sitio de colocación, pero se considera muy pequeño el porcentaje de incidencia que posee el artefacto.

- Modificación de la erosión de las costas:

Continuando con el punto anterior, el cambio en el oleaje, podría traer aparejado una modificación en la erosión de las costas y, a su vez, en el depósito de

sedimento en ellas. Teniendo en cuenta las dimensiones del artefacto y la cualidad de que se encuentra anclado, el mismo no tiene contacto con costa y la incidencia en este punto sería mínima.

- **Perturbación del ecosistema marino:**

El movimiento que realiza no genera ninguna situación de riesgo para la fauna marina, debido a que su diseño no contiene partes que realicen movimientos de corte o compresiones expuestas (la compresión se realiza dentro del neumático de forma hermética)

- **Impacto visual y modificación del paisaje:**

Se considera no implementar el dispositivo en áreas protegidas y alejadas de las zonas turísticas.

- **Interferencia con rutas comerciales, actividad pesquera y de recreación.**

Se incluye la utilización de señalización acorde a código de IALA B, para dar señal.

Debido a que la instalación de la bomba está pensada para realizarla en cualquier lugar que cumpla con las condiciones mínimas que se describen en el apartado de condiciones necesarias de instalación, se debe realizar un estudio puntual de cada lugar.

7. Evaluación social

La instalación e implementación de la bomba tiene como objetivo final la transformación de energía de una fuente natural a un tipo de energía que sea útil para la sociedad, tal como puede ser la energía eléctrica, sin modificar el ecosistema que lo rodea y sin generar residuos ni contaminantes. Además, las materias primas que se utilizarán para su construcción y generación de las partes fundamentales del funcionamiento de la bomba son elementos reciclados los cuales son actualmente desechados y generan una gran problemática ya que no son biodegradables. Estos son los neumáticos de automóvil y los tambores plásticos que son utilizados para transporte de fluidos.

Con lo mencionado en el párrafo anterior, se cumple con lo dispuesto en la ley 27.191 para considerarla una energía renovable, lo cual hace un gran aporte a la sociedad desde el punto de vista ambiental, ecológico y económico.

Otra consideración que influye de forma positiva en el lugar de implementación de la bomba es que la realización de su construcción y armado está ideada para ser llevada a cabo en cualquier tipo taller mecánico, lo cual puede ser encargado a un trabajador local, generando así mayor trabajo no monopolizado.

Lo que hace esto posible es que su diseño no es complejo y es adaptable a los materiales disponibles en cada zona, mientras que cumpla con los requisitos mínimos que se tratan en el apartado cálculo funcional y los requisitos que hacen parte del objetivo final de este proyecto de reciclado de materiales.

La ventaja de esta bomba es que su implementación puede ser vinculada a sistemas con finalidades distintas, como puede ser la generación de energía eléctrica, distribución de agua u otras finalidades que usen la energía potencial del agua, la cual se obtiene de una fuente renovable.

8. Propiedades mecánicas de los neumáticos para su reutilización

Se optó por la utilización de un neumático a modo de fuelle debido a las propiedades mecánicas que el mismo posee, entre las cuales podemos destacar la elasticidad y durabilidad.

Es difícil poder garantizar que una cubierta se encuentre en correctas condiciones dado que se requiere de mediciones con equipos especializados para poder obtener datos que indiquen el verdadero estado de la misma. Lo que ocurre normalmente es que las cubiertas son sustituidas por recomendación de personas capacitadas y con conocimiento en la materia, como es el caso de personal de gomería, o por indicaciones de los fabricantes.

Debido a lo mencionado anteriormente, existen distintos criterios en los cuales un neumático, con correctas propiedades mecánicas, puede quedar fuera de uso para el propósito primario al que fue destinado y puede ser utilizado en otras aplicaciones como es el caso de la bomba undimotriz planteada en el presente documento. Algunos de estos criterios son:

- Neumáticos descartados por recomendación del fabricante en relación a los años pasados desde la fecha de fabricación (aproximadamente 10 años).

- Neumáticos descartados por la homogeneización de cubiertas en el vehículo. Esto se da cuando se debe cambiar un neumático por algún daño irreparable en el mismo y se procede a sustituir el neumático del mismo eje o todos los neumáticos del vehículo con el fin de evitar que se genere desestabilidad a causa de distintas designaciones de tamaño, constituciones o etapas de desgaste en las ruedas.
- Neumáticos descartados por desgaste del dibujo de la banda de rodadura. En este caso al reducirse la profundidad de los surcos que poseen los neumáticos se genera una disminución del rendimiento en condiciones de suelo mojado, por lo que no se puede garantizar la seguridad y la eficiencia en dichas condiciones.

En los criterios mencionados (especialmente los dos últimos) los neumáticos son descartados por cuestiones ajenas a sus propiedades mecánicas más elementales. Por lo que pueden ser utilizados como fuelles de la bomba aprovechando su elasticidad y resistencia ante las condiciones climáticas.

Al momento de la elección del neumático a utilizar es importante tener en cuenta que cada uno en particular presenta distintas características y se encuentra expuesto a diferentes factores que afectan a su durabilidad, entre los cuales podemos destacar:

- Los compuestos de la banda de rodadura
- Las características de fabricación.
- El uso al que está destinado el vehículo
- El mantenimiento del neumático.
- Condiciones de presión de aire, alineación y balanceo del vehículo.
- Las condiciones geográficas
- Las condiciones atmosféricas
- Los hábitos de manejo.

9. Estudio técnico

9.1. Conceptos

Para el mejor entendimiento del estudio técnico, se realizará previamente la descripción de un concepto.

Bomba de diafragma (con válvula antirretorno o de retención):

Las bombas de diafragma se caracterizan por ser sencillas pero funcionales, con pocos componentes y poca cantidad de partes móviles. Su principio de funcionamiento es el mismo que el de un cilindro de motor de combustión o el de un fuelle. La bomba consta de una membrana flexible en su interior, la cual puede ser de goma o de plástico. Cuando la membrana, también llamada diafragma, se flexiona genera una caída de presión dentro de la bomba que fuerza al agua a ingresar. A medida que vuelve a su estado inicial el líquido que había ingresado anteriormente es expulsado por el aumento de presión generando así el bombeo. Generalmente, este tipo de bombas posee válvulas antirretorno o de retención y por lo menos dos orificios que garantizan la entrada del fluido por uno de ellos y la salida del mismo por otro.

A grandes rasgos, nuestro proyecto se comportará como una bomba neumática en donde el diafragma será la cubierta de caucho colocada en el centro de la estructura, que será comprimida y descomprimida por el movimiento de los brazos que acompañan el movimiento oscilante de las olas. Mediante un conjunto de conductos y válvulas antirretorno se forzarán al agua a ingresar en el momento en que el ángulo entre los brazos sea mayor y al reducirse dicho ángulo se generará una presión sobre el neumático que forzarán su salida generando el fenómeno de bombeo deseado.

9.2. Descripción del artefacto

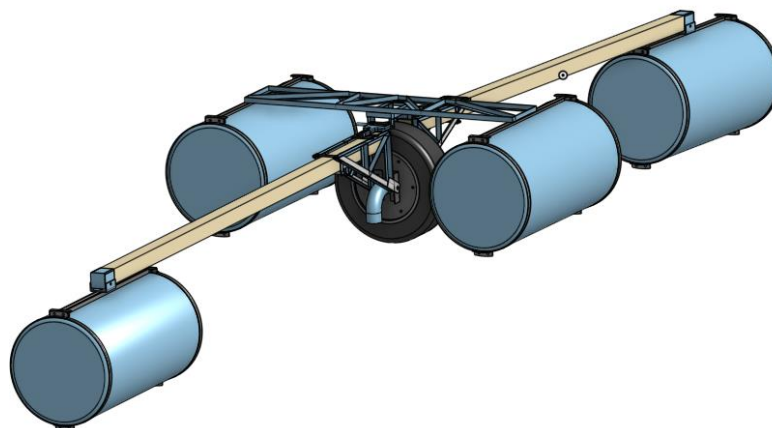


Figura 25: Dibujo del prototipo de la bomba undimotriz en perspectiva isométrica.

Fuente: confección propia

La bomba consta de una estructura principal sobre la cual se añadirán los demás componentes, la cual posee un cuerpo rígido que actúa como soporte. En los extremos de la misma se colocan dos tambores de 230 litros que serán utilizados como flotadores. Por otro lado, se encuentran dos brazos que se añadirán de manera tal que puedan moverse para que de esa manera logren acompañar el movimiento de las olas. El neumático utilizado como fuelle en el centro del artefacto estará sujetado por 2 planchas colocadas sobre su borde del diámetro interno que garantizarán la hermeticidad del mismo. A su vez, dichas planchas estarán conectadas con los brazos para que de esta manera se transmita el movimiento ondulatorio y se genere fuerza que induzca una variación del volumen dentro del neumático, produciendo una diferencia de presión que favorecerá al bombeo del agua. Las planchas deberán contar con orificios mediante los cuales se realizará el ingreso del agua por un lado y el egreso del agua por el otro. Para evitar un flujo de agua no deseado se colocarán válvulas anti-retorno como se mencionó anteriormente en el funcionamiento de una bomba de diafragma.

- Ángulo de apertura de la bomba:

Debido a que los brazos móviles del artefacto acompañan el movimiento de las olas, se genera una variación en el ángulo entre ellos. Esta variación será aprovechada mediante un vínculo desde el brazo hasta la plancha que cierra al neumático de forma articulada, para comprimir y descomprimirlo.

El ángulo de 180° corresponde a cuando los brazos se encuentran en línea recta y el neumático está completamente descomprimido. En contraposición, cuando los flotadores de los brazos bajan, acompañando el movimiento de la ola, debido a su peso, el neumático se encuentra comprimido debido a la fuerza sobre él, que es transmitida desde los brazos.

Este ángulo de apertura quedará delimitado por la capacidad de estiramiento del neumático, mientras que el ángulo de compresión queda delimitado, también, por la capacidad elástica del neumático y el tope que hagan los discos de cierre al tocarse uno con el otro.

9.3. Método y lugar de construcción

El objetivo de esta bomba undimotriz es que pueda ser construida con algunos materiales reciclables, otros materiales de fácil acceso y medianamente económicos y dentro de cualquier taller que tenga herramientas básicas y una soldadora (o disponer de un herrero). A su vez, si bien en el presente escrito se propone un diseño, este puede ser modificado para utilizar materiales que mejor se adecuen a la disponibilidad del lugar, con la condición de que cumpla con los cálculos obtenidos y el cuidado del medioambiente en el cual se va a instalar (se deja en claro que el objetivo de este proyecto, en parte, es estudiar la factibilidad técnica mediante la teoría, cálculos y un prototipo que lo avala).

9.4. Condiciones necesarias para la instalación

Así como el lugar de construcción, esta bomba undimotriz está pensada para ser instalada no en un solo lugar, sino en cualquier sitio que cumpla con ciertas condiciones. Además, uno de sus objetivos es poder generar energía eléctrica en lugares costeros donde haya necesidad de esta y no llegue la distribución de energía hasta ese punto; con lo cual no solo cumple con la función de reutilizar y reciclar elementos para generar energía de fuentes renovables, sino también para resolver problemas de conectividad a la red de energía.

Dado este contexto, las condiciones mínimas que se deben dar para poder instalar estas bombas son:

- ubicación en la costa o muy cercano a ella,
- estadística constante de olas,
- acantilado o altura sobre el nivel del mar de al menos 10 m,
- profundidad del fondo del agua mayor de 7 m,
- la rompiente de la ola sobre el acantilado o no más de 5 m mar adentro,
- cercanía o disponibilidad de un taller,
- alejado de rutas náuticas,
- alejado de un lugar turístico,

Se requiere, además, disponer de una embarcación de al menos 5 metros de eslora.

10. Prototipo

El prototipo de la bomba undimotriz es la demostración de la factibilidad técnica de este proyecto. Por un lado, sirve para analizar y desarrollar la forma de su construcción con los materiales de más fácil acceso y disponibilidad, y, por otro lado, para demostrar los cálculos desarrollados en los puntos anteriores y así poder obtener un rendimiento real del bombeo, ya que como nos demuestra la historia, siempre existen factores externos a los cálculos o propios de los materiales que no son visibles en primera instancia teórica.

El lugar y forma de construcción, fue siguiendo los principios ya establecidos, realizándose en un taller familiar, adaptando el diseño a los materiales disponibles.

El objetivo de este prototipo es realizar los ensayos para obtener las mediciones que luego son utilizadas para hacer comparaciones con los datos obtenidos mediante cálculos, como así también para realizar el costo del mismo mediante los materiales utilizados. La construcción de este se completó con los materiales mínimos necesarios que influyen para la obtención de las mediciones necesarias.

10.1. Materiales utilizados

A continuación, se mostrarán los materiales utilizados para la realización del prototipo de la bomba undimotriz:



Figura 26: Neumático de 14 pulgadas de diámetro interior



Figura 27: Bridas

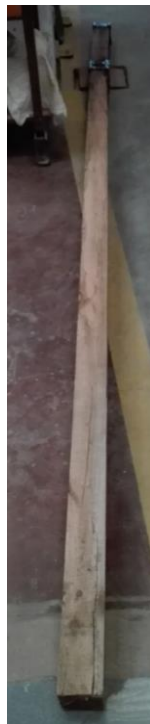


Figura 28: Brazos de tirantes de madera de construcción.



Figura 29: Chapa circular para la parte interna del neumático



Figura 30: Chapa circular para la parte externa del neumático



Figura 31: Codos a 90° de ingreso y egreso de agua



Figura 32: bulones, arandelas y tuercas



Figura 33: perfiles L. Brazos metálicos



Figura 34: Parrilla de suspensión de auto



Figura 35: Pesos de plomo



Figura 36: Válvulas de retención

10.2. Armado de prototipo

La estructura se divide en las siguientes partes:

- Neumático:

Cada cara del neumático consta de dos chapas sellantes (cuatro en total) cortadas en forma circular con un diámetro mayor al del centro del neumático. Cada par de chapas tienen ocho agujeros distribuidos en circunferencia, los cuales sirven para

vincular ambas chapas entre sí, más un agujero central por el cual ingresa o egresa el agua. La chapa interior tiene tuercas soldadas del lado interno de los agujeros para hacer la sujeción; además en todo el contorno tiene soldada un sello del espesor de la brida.

La chapa interna y la chapa externa cierran herméticamente con el borde del neumático. Esto se realiza aprovechando el aro de mayor densidad que posee el talón de la cubierta (Figura 37). De esta manera, la brida queda colocada en el medio del artefacto.



Figura 37: Neumático Hankook Ventus Prime. Punto rígido de talón

En el medio se colocan dos tramos de perfil L para hacer el vínculo entre la chapa y el brazo de palanca.



Figura 38: Ajuste y acople con perfil L.

- Soporte de la estructura central:

Es un cuadrado formado por dos perfiles L dispuestos de forma opuesta, soldados de forma tal que junto a dos barras y otros tramos de perfil L forman el lugar donde se anexa la parrilla de suspensión de auto, la cual está vinculada con la estructura que sostiene al brazo de palanca de forma tal que pueda rotar.

Sobre este se coloca un perfil doble T, el cual es sujetado al cuadrado descripto, para sostener toda la estructura (este último es apoyado sobre dos tablas de madera, lo que representa los dos tambores laterales que hacen el contrapeso de los tambores que se colocan a los extremos de los brazos)



Figura 39: Soporte y agarre superior de brazos.

- Brazos de palanca:

Son los tirantes de madera que están sostenidos por el armado de un reticulado, el cual vincula el brazo de palanca, el peso de plomo colocado en el extremo, la estructura central y el neumático (simbólicamente el hombro de la bomba)



Figura 40: Estructura central de prototipo



Figura 41: Brazos con peso de plomo

- **Peso de plomo:**
Es un plomo que pesa 100 kgf que se coloca en el extremo del tirante de madera, el cual representa el tambor.

De esta forma el armado final se representa en la siguiente imagen:



Figura 42: Prototipo

Además, se realiza un modelado 3D del prototipo completo, a fin de tener una visión más clara del mismo

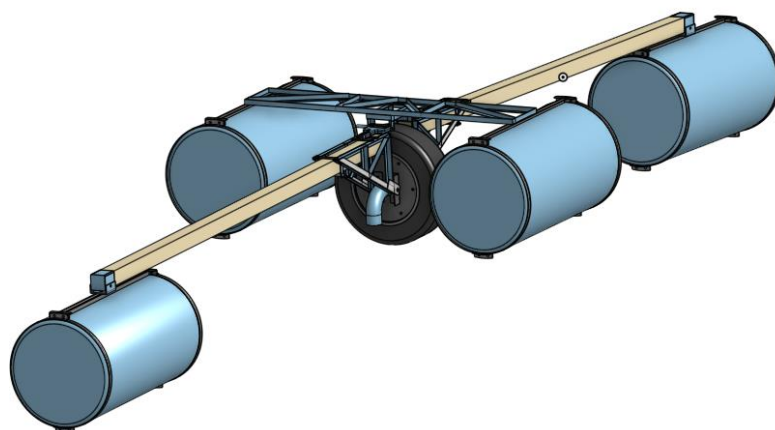


Figura 43: Dibujo del prototipo de la bomba undimotriz en perspectiva isométrica.

Fuente: confección propia

10.3. Ensayo con prototipo

Mediante el prototipo descripto ya armado tal como se observa en la Figura 42, se procedió a llenar el neumático con agua por la válvula de ingreso de agua, abriendo el ángulo entre los brazos para permitir su llenado. Luego, se colocaron los pesos de plomo en los extremos de los brazos de madera que generaron un momento de fuerza (en representación de los tambores de agua movidos por la ola) el cual comprimió el neumático obteniendo la salida de agua por la válvula de salida.

Para medir la altura de agua se conectó una manguera en la válvula de salida de la bomba, y a esta se le fue subiendo su extremo opuesto para obtener el punto el cual dejaba de salir agua, para así obtener la altura máxima a la cual es capaz de bombear esta bomba.

Para los datos obtenidos, se consideró que hubo pequeñas pérdidas de agua en el sellado de las placas y pérdida de presión al utilizar una manguera de sección de media pulgada (dado que era lo que se disponía para tener una fácil manipulación y visión de los resultados). De esta forma se logró medir una altura de alcance del agua de unos 8 m desde el nivel de la bomba.

Combinando el dato obtenido y teniendo en cuenta las perdidas mencionadas, se obtuvo la deducción que la bomba podría alcanzar una altura de agua más cercana a la teórica (que se desarrollará en más adelante) si no hubiesen dichas pérdidas y si se usase una manguera de sección mayor, como la que se plantea en las ecuaciones teóricas.

A modo de resumen, los valores y datos recogidos del ensayo se plasman en la Tabla I.

<u>DATOS DEL ENSAYO</u>	
Altura alcanzada	8 m
Peso de tambor	100 kg
Distancia de palanca brazo	35 cm
Diámetro chapa	48 cm
Diámetro neumático	58 cm
Brazo de madera	3 m

Tabla I. Datos del ensayo.

11. Cálculo funcional

11.1. Elección de ubicación de implementación

A fines prácticos para este proyecto, se escogerá un lugar determinado para poder hacer un cálculo con datos reales que sirvan como base para hacer una proyección de la factibilidad. Para ello se seleccionará el sur de Mar del Plata, entre el Faro de Punta Mogotes y Chapadmalal, lugar que cumple con las siguientes condiciones:

- profundidad mayor a 10 m,
- acantilado de 10 m,
- olas promedio mayores a 1 m,
- período entre olas de 8 segundos.

Para poder realizar los cálculos del funcionamiento y la producción de la bomba, se dividirá el cálculo en secciones progresivas para su mejor estudio y comprensión.

11.2. Estudio de la teoría de la ola

Según como se detalló en el apartado de la “teoría de olas”, para realizar todos los cálculos es necesario obtener datos de la altura de la ola H , la profundidad h y longitud de la onda de la ola L . A su vez es necesario tener una ubicación cercana a la costa donde haya acantilado que tenga una altura donde se pueda elevar el agua, producto del bombeo.

Este proyecto está pensado para poder llevarlo a cabo y aplicarlo en cualquier lugar que cumpla con unas condiciones mínimas que se desarrollarán y obtendrán como conclusión, pero para tener un punto inicial de referencia se elige el sur de Mar del Plata, por tener zonas con buenas olas, profundidad media y acantilado. Los datos de la zona y sus fuentes son:

- altura de la ola H , obtenido del estudio de “Oleaje e impacto costero: estudio de caso en la ciudad de Mar del Plata”, realizado por Paula MARTIN, Bárbara PRARIO y Walter DRAGANI, entre año 2012 al 2018,
- profundidad desde el fondo hasta la superficie del mar h , carta náutica H-250,
- altura de acantilado, carta náutica H-250,
- longitud de la onda de la ola L , obtenido de los servicios meteorológicos como Windy.

Los datos obtenidos de la zona son:

- Altura de ola $H = 1$ m
- Profundidad $h = 10$ m
- Período $T = 8$ s
- Altura de acantilado: $A > 10$ m

Por otro lado, debido a la forma de las olas, el diseño y tipo el movimiento que realiza la estructura de la bomba, la teoría de olas que mejor se ajusta para realizar los cálculos es la de Stokes de 2° orden. Para verificar este uso, se utilizará el gráfico de Le Méhauté, donde:

$$\frac{H}{g \cdot T^2} = \frac{1m}{\frac{9,8m}{s^2} \cdot (8s)^2} = 0,00159 \quad (2)$$

$$\frac{h}{g \cdot T^2} = \frac{10m}{\frac{9,8m}{s^2} \cdot (8s)^2} = 0,0159 \quad (3)$$

Ingresando en el gráfico de doble entrada obtenemos que, según los datos empíricos utilizados, la teoría que debe ser aplicada es la teoría de Stokes de 2° orden, tal como se puede observar en la Figura 44.

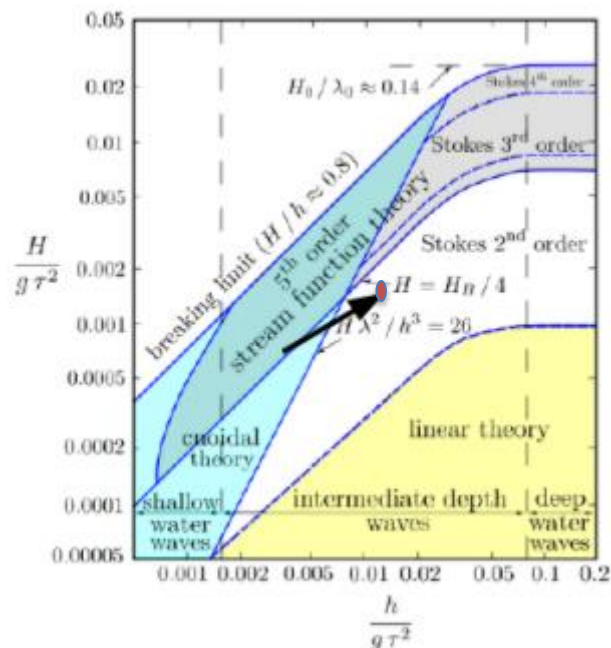


Figura 44. Indicador de aplicación tipo de ola, respecto a T, P y H, *Le Méhauté*

Fuente: Modificación propia. Anexo I - Teoría de las olas, Univesitat Politècnica de Catalunya.

Siguiendo lo que indica esta teoría, se necesitan dos mediciones indirectas, las cuales son la del largo de ola L , que se obtiene por iteración con la ecuación y la velocidad de propagación C :

$$L = \left(\frac{g \cdot T^2}{2\pi}\right) * \tanh \frac{2\pi \cdot h}{L} = 70,8 \text{ m} \quad (4)$$

$$C = \left(\frac{g \cdot T}{2\pi}\right) * \tanh \frac{2\pi \cdot h}{L} = 8,86 \text{ m/s} \quad (5)$$

De esta forma, con los datos dados nos encontramos en aguas de profundidad media, debido a que se cumple $\frac{1}{2} > \frac{h}{L} > \frac{1}{10}$ (ecuación 6), donde al reemplazar los datos resulta $\frac{h}{L} = \frac{10 \text{ m}}{70,8 \text{ m}} = 0,14$ (ecuación 7).

Por lo tanto, dentro del encuadre de la teoría de Stokes de 2° y de aguas medianamente profundas, la longitud de onda de ola de 2° (L_{2°) y la velocidad de propagación de 2° (C_{2°) se deben ajustar para los próximos cálculos como:

$$L_{2^\circ} = L \operatorname{tgh} \left(\frac{2\pi}{L} * h\right) = 50,3 \text{ m} \quad (8)$$

$$C_{2^\circ} = C \operatorname{tgh} \left(\frac{2\pi}{L} * h\right) = 6,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (9)$$

Fuente: Anexo I - Teoría de las olas, Univesitat Politècnica de Catalunya.

11.3. Cálculo del movimiento de la bomba con el pasar de la ola

Uno de los datos que se necesita obtener para saber cuál será la máxima compresión de la bomba, es cuándo la misma está en dicha posición, momento en que el neumático se encuentra en el punto más alto de la cresta de la ola y los tambores están en el punto más bajo que pueden alcanzar del valle de la ola, tal como se observa en la figura 45.

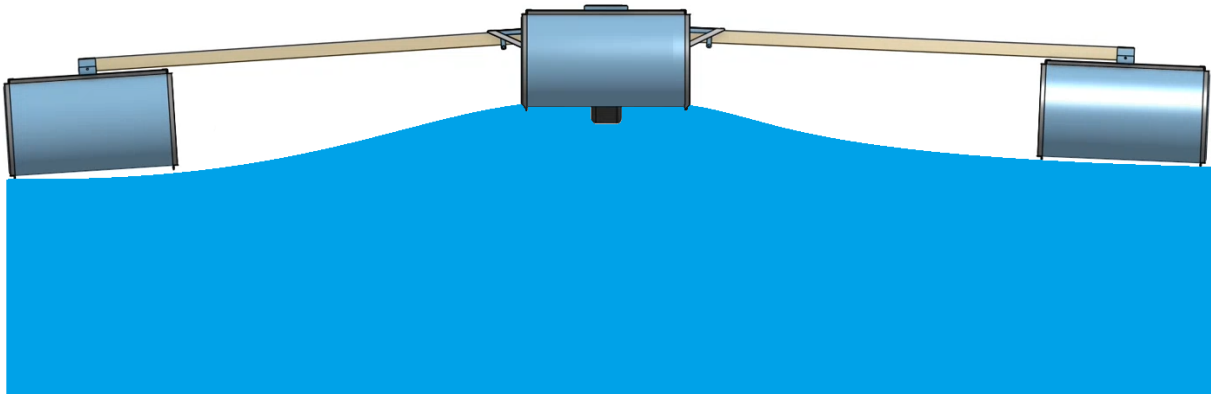


Figura 45: Dibujo esquemático de posición de máxima compresión de la bomba

La ecuación que aporta la teoría de Stokes es $\eta(x, t) = y = n_1 + k_1 k_2 k_3$ (ecuación 10) donde:

- $k = \frac{2\pi}{L}$ (ecuación 11)
- $n_1 = 0,5 H \cos(k x - \omega t)$ (ecuación 12)
- $k_1 = \frac{\pi H}{4 L_2^2}$ (ecuación 13)
- $k_2 = H \left(1 + \frac{3}{2 \sinh(k d)}\right)$ (ecuación 14)
- $k_3 = \coth(k d) \cos(k x - \omega t)$ (ecuación 15)

Resultando que la altura que tiene el tambor a una distancia x igual a 4 m (la cual corresponde al largo del brazo) y considerando $t = 0$ s, es:

$$y = 0,47 \text{ m} \quad (16)$$

Esta altura es medida respecto del nivel del mar. Por lo tanto, para obtener lo que desciende el tambor, se debe restar la altura recién calculada respecto a la altura de la ola H , obteniendo así el descenso buscado:

$$\text{Descenso} = H - y = 1 \text{ m} - 0,47 \text{ m} \quad (17)$$

$$\text{Descenso} = 0,53 \text{ m} \quad (18)$$

11.4. Altura de columna de salida y caudal.

Para el cálculo de la presión generada por la bomba y, por consecuencia, la altura máxima a la que puede bombear, se debe tener en cuenta las características y dimensiones constructivas de la bomba.

Se considera los siguientes factores: el diámetro interior del neumático a utilizar, dado que determina la superficie de compresión real (superficie de las planchas donde se aplica la fuerza), el largo de los brazos, el largo del soporte de las planchas de sujeción y el peso del agua contenida en los tanques de dimensión de 200 litros en vacío, para determinar el valor de la fuerza a aplicar. Cabe aclarar que se desprecia la presión que ejerce la superficie del neumático al estar totalmente cargado de agua, porque esta se contrarresta con la depresión que se genera en el momento que, al comprimir, pasa el estado neutro de la forma del neumático. A su vez, continuando con la misma premisa, se considera que el neumático se deforma de manera homogénea en sus laterales con fin de simplificar los cálculos.

Cuando el artefacto se encuentra avanzando sobre la cresta de la ola, los brazos comienzan a descender y ejercen una fuerza sobre las planchas de sujeción del neumático debido a que se debe contrarrestar el peso del agua contenida en los tambores. Esta fuerza se reparte sobre la superficie de sujeción y se transmite al interior del neumático aumentando la presión. La presión generada puede calcularse como la fuerza a realizar para contrarrestar el peso del agua, multiplicada por la superficie donde se aplica la fuerza.

Considerando que:

- largo de brazo: 4 metros,
- agua contenida en tambores: 130 litros,
- largo de la unión vertical de la plancha de sujeción: 25 cm.

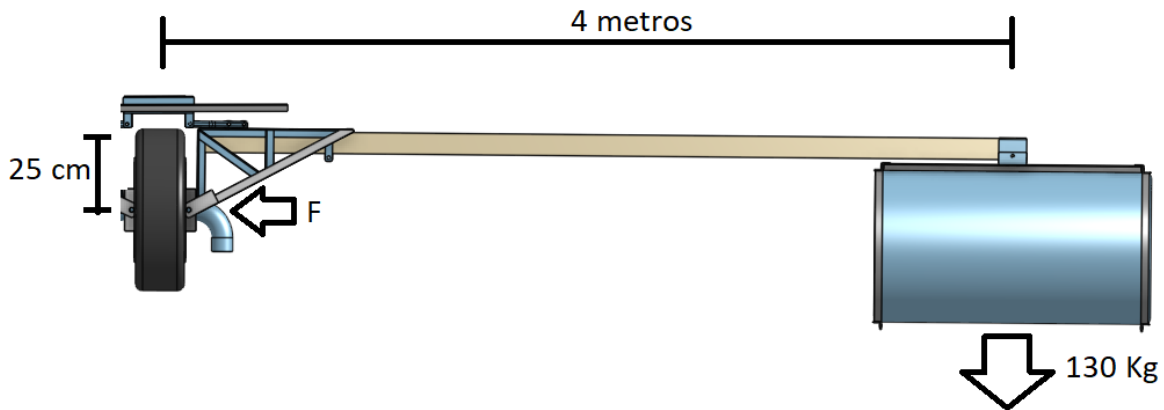


Figura 46: Dibujo esquemático cálculo de presión.

Para el equilibrio de torques respecto del punto de rotación en el hombro de la bomba, se igualan el torque que genera el peso del tambor con el largo del brazo y el torque que se contrapone en el neumático con el largo de la unión vertical de la plancha. Esto resulta en la ecuación 19:

*Fuerza sobre el neumático * Largo de unión de sujeción = Peso del tambor * Largo del brazo*

(ecuación 19) , donde se despeja *Fuerza sobre el neumático = $\frac{\text{Peso del tambor} * \text{Largo del brazo}}{\text{Largo de unión de sujeción}}$*

(ecuación 20). Reemplazando valores resulta *Fuerza sobre el neumático = $\frac{130 \text{ kgf} * 4 \text{ m}}{0,25 \text{ m}}$*

(ecuación 21), donde se obtiene como resultado:

$$\text{Fuerza sobre el neumático} = 2.080 \text{ kgf} \quad (22)$$

La fuerza calculada es ejercida sobre la superficie de la plancha de sujeción. En este caso, dicha superficie corresponde a la dada por el diámetro de la placa de compresión de 42 cm, que tiene un valor de 1.385 cm².

Teniendo en cuenta que la presión ejercida sobre el neumático responde a la fuerza aplicada sobre la superficie donde se ejerce, se obtiene que:

$$\text{Presión ejercida} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Area de presión}} = \frac{4160 \text{ kgf}}{2642 \text{ cm}^2} = 1,50 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 146.185 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 15 \text{ m. c. a.} \quad (23)$$

Obteniendo una presión de 1,50 kgf/cm² lo que nos indica que el agua se puede bombear a una altura aproximada de 15 m, sin tener en cuenta las pérdidas en cañerías y válvulas. Por otro lado, sabe destacar que esta presión equivale a 21 psi, lo cual es casi la mitad de la presión

que soporta el neumático, por lo que se puede asegurar que se está trabajando en un rango seguro de presión, lejos del punto crítico de la resistencia del mismo.

Luego, para el cálculo del caudal generado por la bomba se debe tener en cuenta el volumen de agua desplazado entre el instante en que la bomba se encuentra en su máxima extensión y el instante en que la bomba se encuentra en su mínima extensión en la compresión.

Tomando un descenso del extremo del brazo de 0,53 m el desplazamiento horizontal se aproxima por semejanza de triángulos, representado en la figura 47, calculado en la ecuación 23:

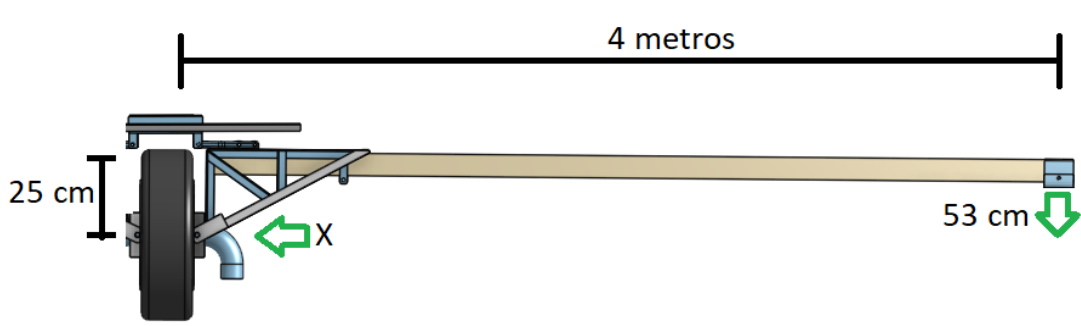


Figura 47: Dibujo esquemático cálculo de volumen desplazado.

$$\frac{\text{Distancia de compresión } (x)}{\text{Largo de unión de sujeción}} = \frac{\text{Descenso}}{\text{Largo de brazo}} \quad (24)$$

Despejando y reemplazando:

$$\text{Distancia de compresión } (x) = \frac{\text{Descenso} \cdot \text{Largo de unión de sujeción}}{\text{Largo de brazo}} \quad (25)$$

$$\text{Distancia de compresión} = \frac{0,53 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ m}}{4 \text{ m}} = 0,0332 \text{ m} \quad (26)$$

Se obtiene 3,32 cm de compresión por lado, quedándonos 6,64 cm de desplazamiento horizontal total. Esto multiplicado a la superficie anteriormente calculada sobre la cual se ejerce la fuerza, nos queda un volumen desplazado por compresión total de:

$$\text{Vol. desplazado} = \text{Desplazamiento horizontal} * \text{Superficie desplazada} \quad (27)$$

Reemplazando:

$$\text{Vol. desplazado} = 6,64 \text{ cm} * 1.385 \text{ cm}^2 = 9.196 \text{ cm}^3 \cong 9,20 \text{ litros} \quad (28)$$

Por último, el caudal va a depender directamente del período de las olas, dado que el período define cada cuántos segundos se realiza una compresión de bombeo. Teniendo en cuenta el período de la ola de 8 segundos indicado anteriormente, utilizando el volumen desplazado obtenido y sabiendo que el caudal es el volumen desplazado por unidad de tiempo, el caudal de la bomba resultante es:

$$Caudal = \frac{Volumen\ desplazado}{Período} = \frac{9,2\text{ litros}}{8\text{ seg}} = 1,1 \frac{\text{litros}}{\text{seg}} \quad (29)$$

Se debe considerar que, para obtener el caudal promedio (el cuál es necesario para considerar un caudal constante para un trabajo posterior), se debe tener en cuenta el período de tiempo que la ola hace un movimiento completo sobre la bomba en el largo de la misma (10 m). Por lo tanto, si la ola tarda 8 segundos en volver a pasar a una distancia promedio de 70,8 m entre ola y ola, entonces en un largo de 10 m que tiene la bomba y a una velocidad de 8,86 m/s de ola, la misma tarda 1,13 segundos en pasar a lo largo de todo el artefacto.

$$Caudal\ instantáneo = \frac{0,0092\text{ m}^3}{1,13\text{ s}} = 0,0081 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 29,37 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (30)$$

Resulta un caudal instantáneo teórico máximo de 29 metros cúbicos por hora.

11.5. Pérdidas

Para calcular la altura que alcanza la bomba (presión que aporta ΔP_b), se utiliza una generalización de la ecuación de Bernoulli que considera pérdidas, para un flujo desarrollado.

$$p_1 + \rho g z_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = p_2 + \rho g z_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 + \frac{1}{2} \left(\sum_{t=1}^{N_t} \frac{f_t L_t}{D} + \sum_{a=1}^{N_a} K_a \right) \rho V^2 - \Delta P_b \quad (31)$$

Se consideran los siguientes datos:

- *Diametro de la cañería:* $D = 3\text{ pulgadas} \cong 76,2\text{ mm}$
- *Area de la cañería* $\cong 4560\text{ mm}^2 = 0,00456\text{ m}^2$
- *Largo de cañería* $= 65\text{ m}$
- *Densidad del agua de mar estimada:* $\rho \cong 1027 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- *Velocidad de fluido en cañería:* $V = \frac{Q_{real}}{Area} \cong 1,79 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- *Altura del acantilado* $= 10\text{ m}$
- *Valor de la aceleración de gravedad:* $g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
- *Presión de entrada y salida de la bomba:* p_1 y p_2 (respectivamente)

Siendo 1 el punto de ingreso de agua a la bomba y 2 la salida de agua en el extremo superior, libre a la atmosfera, en altura, próximo al piletón.

Además, para obtener los valores de las pérdidas, se utiliza como fuente de datos, la rugosidad tabulada de un tubo, según su material (figura 48) junto al diagrama de Moody (figura 49), junto a:

- *Material de cañería: Plástico*
- *Rugosidad: $\varepsilon \cong 0,0000003$*
- *Viscosidad cinemática del agua de mar: $\nu = 0,00000122 \frac{m^2}{s}$ a $15^\circ C$ y $35 \frac{g}{l}$ de salinidad*

Material	Rugosidad (m)	Rugosidad (ft)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	$3,0 \times 10^{-7}$	$9,8 \times 10^{-7}$
Tubo extruido, cobre, latón y acero	$1,5 \times 10^{-6}$	$4,9 \times 10^{-6}$
Acero comercial o soldado	$4,6 \times 10^{-5}$	$1,5 \times 10^{-4}$
Hierro galvanizado	$1,5 \times 10^{-4}$	$4,9 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil recubierto	$1,2 \times 10^{-4}$	$3,9 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil no recubierto	$2,4 \times 10^{-4}$	$7,9 \times 10^{-4}$
Concreto, bien fabricado	$1,2 \times 10^{-4}$	$3,9 \times 10^{-4}$
Acero Remachado	$1,8 \times 10^{-4}$	$5,9 \times 10^{-4}$

Figura 48: Valores de Diseño de la rugosidad de tubos

Fuente: Mott, Mecánica de Fluidos

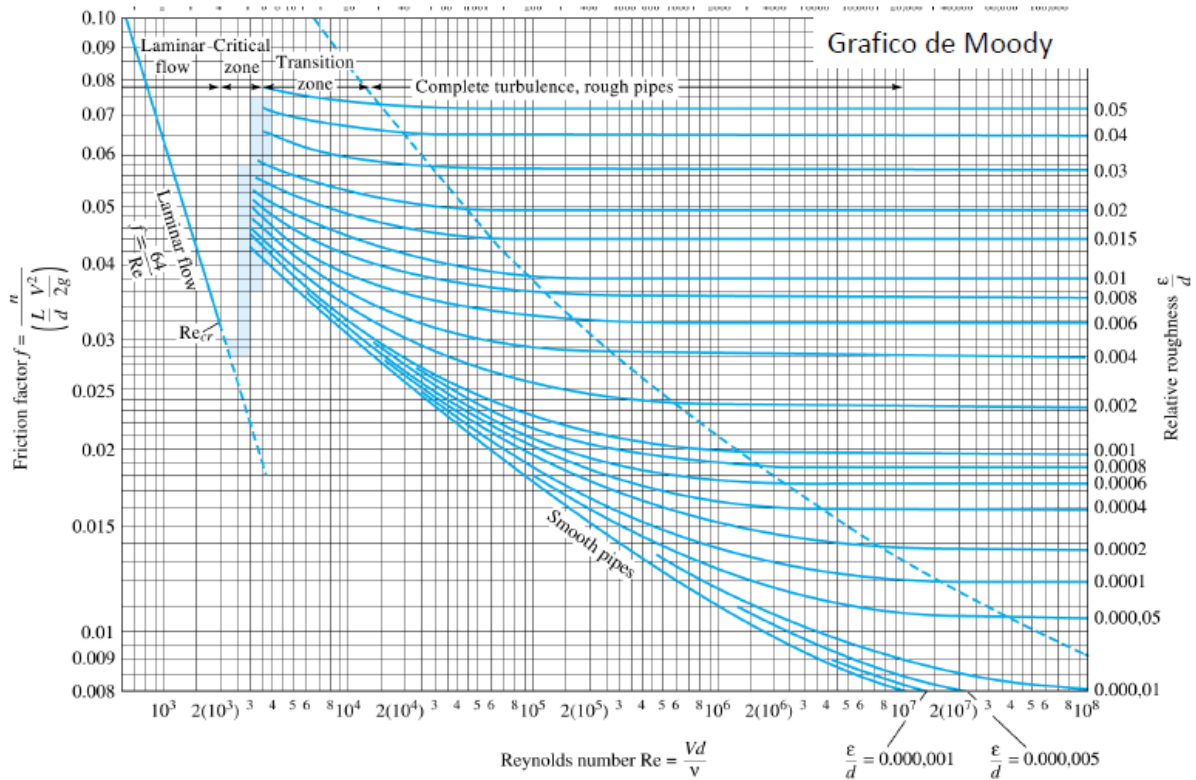


Figura 49: Diagrama de Moody.

Fuente: Mott, Mecánica de Fluidos

Para obtener el factor de fricción necesario para la ecuación 30, se calcula el número de Reynolds (ecuación 32) y la rugosidad relativa (ecuación 33):

$$Re = \frac{v*d}{\nu} = \frac{1,79 \text{ m/s} * 0,0762 \text{ m}}{0,00000122 \text{ m}^2/\text{s}} = 111.728,04 \quad (32)$$

$$r = \frac{\epsilon}{D} = \frac{3 \times 10^{-7} \text{ m}}{0,0762 \text{ m}} = 0,00000394 \quad (33)$$

Ahora, se ingresa al gráfico con estos datos (“Re” por la abscisa inferior y “r” por la ordenada derecha), se obtiene un factor de fricción de 0,017 (figura 50):

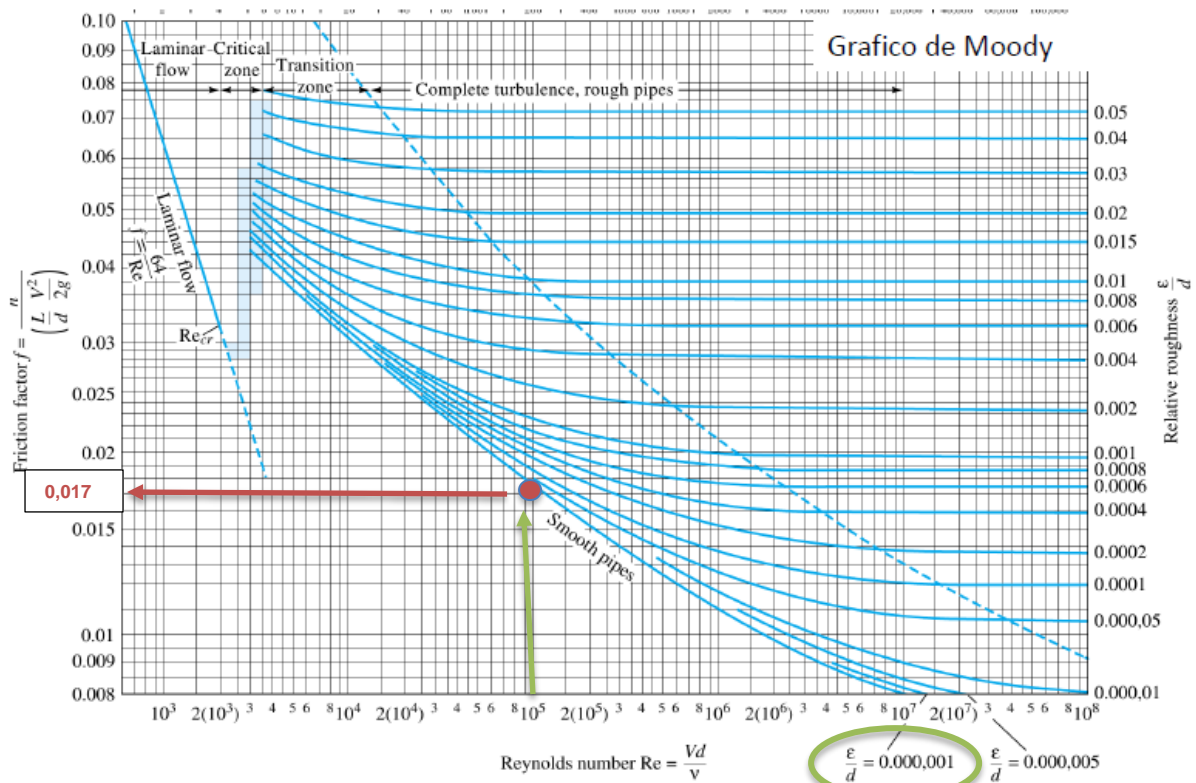


Figura 50: Gráfico de Moody con los datos y el resultado obtenido.

Fuente propia

Con estos datos, volviendo a la ecuación, se puede obtener los metros de columna de agua que quedan en el circuito, es decir, la fuerza que debe superar el artefacto.

$$\Delta P_b = p_2 - p_1 + \rho g z_2 - \rho g z_1 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 - \frac{1}{2} \rho V_1^2 + \frac{1}{2} \left(\sum_{t=1}^{N_t} \frac{f_t L_t}{D} + \sum_{a=1}^{N_a} K_a \right) \rho V^2 \quad (34)$$

Debido a las condiciones del diseño, se considera que:

- $p_2 = p_1$
- $z_1 = 0 \text{ m}$
- $V_2 = V_1$
- Pérdida generadas por dos codos y una válvula de retención (según figura 51): $K_a = 0,19 * 2 + 2 = 2,38$

	Nominal diameter, in									
	Screwed				Flanged					
	1/2	1	2	4	1	2	4	8	20	
Valves (fully open):										
Globe	14	8.2	6.9	5.7	13	8.5	6.0	5.8	5.5	
Gate	0.30	0.24	0.16	0.11	0.80	0.35	0.16	0.07	0.03	
Swing check	5.1	2.9	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
Angle	9.0	4.7	2.0	1.0	4.5	2.4	2.0	2.0	2.0	
Elbows:										
45° regular	0.39	0.32	0.30	0.29						
45° long radius					0.21	0.20	0.19	0.16	0.14	
90° regular	2.0	1.5	0.95	0.64	0.50	0.39	0.30	0.26	0.21	
90° long radius	1.0	0.72	0.41	0.23	0.40	0.30	0.19	0.15	0.10	
180° regular	2.0	1.5	0.95	0.64	0.41	0.35	0.30	0.25	0.20	
180° long radius					0.40	0.30	0.21	0.15	0.10	
Tees:										
Line flow	0.90	0.90	0.90	0.90	0.24	0.19	0.14	0.10	0.07	
Branch flow	2.4	1.8	1.4	1.1	1.0	0.80	0.64	0.58	0.41	

Figura 51: Coeficiente de resistencia K_a

Fuente: Mott, Mecánica de Fluidos

Resulta:

$$\Delta P_b = \rho g z_2 + \frac{1}{2} \left(\sum_{t=1}^{N_t} \frac{f_t L_t}{D} + \sum_{a=1}^{N_a} K_a \right) \rho V^2 \quad (35)$$

$$\Delta P_b = 1027 \frac{kg}{m^3} * 9,8 \frac{m}{s^2} * 10 m + \frac{1}{2} \left(\frac{0,017 * 65 m}{0,0762 m} + 2,38 \right) * 1027 \frac{kg}{m^3} * (1,79 \frac{m}{s})^2 = 128.384,36 \frac{kg}{m * s^2} \quad (36)$$

Luego este valor se compara con los datos obtenidos de la fuerza de presión que puede generar la bomba para conocer si se logra llegar a la altura deseada.

Los cálculos arrojan una presión mínima necesaria de $128.384,36 \frac{kg}{m * s^2}$ que equivale a 13,10 metros de columna de agua que debe vencer la bomba. Debido a que, según se obtuvo en la ecuación 22 la bomba es capaz de generar una presión equivalente a 15 metros de columna de agua, podemos decir que esta lograría bombear correctamente dado que posee una presión de bombeo 14 % mayor a las pérdidas. De esta forma se puede observar que la presión generada por la bomba sirve para alcanzar a la presión que el circuito puede dar, con más de un 10 % de seguridad.

11.6. Energía obtenida y rendimiento

La energía obtenida de la bomba es un dato mecánico de importancia que sirve como distinción y característica de identificación, la cual se puede utilizar para medir y comparar.

Para calcular la energía obtenida de la bomba, se considera la altura de agua que logra alcanzar al actuar la bomba, lo cual es energía potencial. Esta se puede calcular como

$E = m.c.a. * \rho * vol * g$ (ecuación 37), donde:

- “*m.c.a.*” son los metros de columna de agua que alcanza la bomba (ecuación 22)
- “ ρ ” es la densidad del agua de mar
- “*vol*” es el volumen desplazado al accionar la bomba
- “*g*” es el valor de la aceleración de la gravedad

De esta forma se obtiene:

$$E = 15,75 \text{ m} * 1027 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,0082 \text{ m}^3 * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (38)$$

$$E = 1.391,11 \text{ J} \quad (39)$$

Por otro lado, de la “ecuación 1” del punto 3.2.3 (potencia del oleaje) se puede calcular la potencia de la ola con los siguientes datos:

- altura de ola $H_s = 1 \text{ m}$,
- período $T_Z = 8 \text{ s}$,
- profundidad $h = 10 \text{ m}$,
- número de onda $k = 2 \pi / L = 0,089 \frac{1}{\text{m}}$ (donde L es el largo entre picos, $l = 70,8 \text{ m}$),
- densidad del agua de mar $\rho = 1.027 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

De esta forma, la potencia frontal de la ola resulta (ver ecuación 1):

$$P_W = \frac{\rho_W g^2}{64 \pi} \cdot H_s^2 T_Z \left(1 + \frac{(2 k h)}{\text{sen}(2 k h)} \right) \tanh(k h) \quad (40)$$

$$P_W = \frac{1,027 \frac{kg}{m^3} 9,8 \frac{m}{s^2}}{64 \pi} \cdot 1 m^2 * 8 s \left(1 + \frac{(2*0,089 \frac{1}{m} * 10 m)}{\text{sen}(2*0,089 \frac{1}{m} * 10 m)} \right) \tanh(0,089 \frac{1}{m} * 10 m) \quad (41)$$

$$P_W = 2.665,38 \frac{W}{m} \quad (42)$$

Además, se debe considerar que el frente de la bomba, el cual choca contra la ola, es la distancia que va a absorber energía de la ola. Por lo tanto, al ser este de 2 metros, la potencia de la ola desde la perspectiva de la bomba es:

$$P_{ola} = 2.665,38 \frac{W}{m} * 2 m \quad (43)$$

$$P_{ola} = 5.330,76 W \quad (44)$$

De esta forma, la energía de la ola que se considera que hace efecto en nuestro artefacto es:

$$E_{ola} = P_W * T \quad (45)$$

$$E_{ola} = 5.330,76 W * 8 s \quad (46)$$

$$E_{ola} = \mathbf{42.646,08 J} \quad (47)$$

Con los datos de la energía de la ola que afecta a la bomba (ecuación 47) y la energía que la bomba genera para bombear el diferencial de presión mencionado (ecuación 39), se obtiene el rendimiento de la bomba respecto a la ola:

$$\eta = \frac{E_{bomba}}{E_{ola}} \quad (48)$$

$$\eta = \frac{1391,11 J}{42.646,08 J} = 0,0326 \quad (49)$$

$$\eta = \mathbf{3,26 \%} \quad (50)$$

12. Análisis económico-financiero.

Para poder hacer un análisis económico y poder compararlo con otros proyectos (dentro de un mismo contexto), se propone y se desarrollará un objetivo de uso que, si bien sobre pasa el estudio de este trabajo, nos servirá como método de análisis de la rentabilidad del proyecto. De esta forma, se plateará el estudio económico para la obtención de agua en altura a través del bombeado de nuestras bombas undimotrices, acumulándola en una pileta, para luego dejar fluir la misma de forma continua hacia una turbina de generación eléctrica.

Teniendo en cuenta los materiales utilizados en la construcción del prototipo, sumado a un análisis de los costos totales de mantenimiento, construcción, instalación y conexión de la bomba se realizó un estimado de la inversión necesaria para la implementación de un conjunto de bombas, capaces de abastecer el caudal necesario para la generación de energía que un hogar consume durante un mes. Así también, se realizó una simulación de los costos fijos y de los posibles costos variables que se darían durante el paso de los años.

Para todo esto, se consideran los siguientes adicionales y supuestos:

- **Obtención de energía eléctrica por abastecimiento de turbina hidroeléctrica:**
 - *Estimación de la cantidad de artefactos necesarios para poder abastecer la demanda continua de una turbina hidroeléctrica:* Se considera utilizar una turbina hidroeléctrica “mini turgo” (figura.53), capaz de generar 5kW con una altura de 10 m, que cumple con el consumo medio de un hogar. Por especificaciones técnicas del fabricante se obtiene que son necesarios 19 litros por segundo de caudal y 10 metros de altura de columna de agua para la generación de energía buscada. Dado que cada bomba es capaz de entregar un aproximado de 1,1 litros por segundo (ecuación 28), se necesitarán alrededor de 18 para poder abastecer de manera continua a la turbina para la correcta generación.



Figura 52: Imagen de la turbina hidroeléctrica “mini turgo”.

- Piletón de embalse*: se decide tener una reserva de agua la cual puede abastecer la turbina hidroeléctrica antes mencionada, durante una hora (sesenta minutos), sin ingreso de agua al mismo. Considerando que la turbina seleccionada requiere 19 litros por segundo de caudal para funcionar (el cual se redondea a 20 litros), se debe tener un embalse de capacidad de $0,02 \text{ m}^3/\text{s} \times 3.600 \text{ s}/\text{h} = 72 \text{ m}^3/\text{h}$ (ecuación 51). Por consiguiente el volumen de la pileta deberá ser $72 \text{ m}^3/\text{h} \times 1 \text{ h} = 72 \text{ m}^3$ (ecuación 52). Siendo así, que se deberá realizar una pileta de embalse de 6 metros de cada lado por 2 metros de profundidad (72 m^3). Esta pileta se cubrirá con un nylon de polietileno negro de 200 micrómetros de espesor (técnica la cual se emplea en embalses con el del “embalse superior de Gorona del viento” de las Islas Canarias) (figura 53), con la finalidad de impermeabilizar la superficie y así lograr un mejor aprovechamiento del recurso hídrico.



Figura 53: Imagen ilustrativa del tipo de sellado del piletón.

- Mano de obra para construcción de piletón*: se estima, en función de los datos experimentales recolectados, que un trabajador es capaz de desplazar $0,7 \text{ m}^3$ de tierra por hora bajo condiciones normales. En función de ello, y teniendo en cuenta que el piletón calculado resulta ser de 72 m^3 . Se define que es necesario un aproximado de 14 días de trabajo de ayudante.

- **Tipo de moneda y precio:**

Debido a que este proyecto se plantea para un uso en Argentina, se resuelve utilizar para el análisis económico-financiero la moneda del peso argentino, considerando el precio del dólar a mayo de 2022. Por otra parte, esto sirve para comparar con otros métodos y costos que se implementan en el país.

- **Precio constante:**

Dado que el objetivo de esta tesis es analizar la factibilidad técnica y económica del proyecto, se considerará un valor constante del precio de la energía eléctrica, considerando que la variación respecto al dólar queda incluida en el valor de la tasa que se obtiene para su implementación en este estudio. Además, se considera que cualquier tipo de profundización de estudio económico, no corresponde al objetivo planteado inicialmente.

- **Horizonte temporal:**

Considerando que el promedio de la proyección del tiempo para los proyectos de energía renovable ronda los 20 años, pero a su vez teniendo en cuenta que lo que se plantea es un trabajo de baja escala, tanto por los montos como por la cantidad energía a producir, se tomará un horizonte temporal de 10 años, sin considerar variaciones políticas que pueda influenciar a los costos, ya que no es objetivo de esta tesis.

- **Inflación:**

Dado el contexto actual del país, la inflación es un fenómeno el cuál es importante considerar pero que, por practicidad y para mantener los parámetros antes mencionados, será reflejado plenamente en la tasa de descuento a la cual será expuesto el proyecto en la sección de desarrollo de análisis de flujo de fondos.

12.1. Costos de inversión

Se debe tener en cuenta que no todos los costos dependen directamente de la cantidad de bombas a construir, dado que, si se realiza más de una, como es el caso, algunos elementos pueden ser aprovechados por múltiples bombas como, por ejemplo, las anclas, la señalización o el piletón en la zona costera.

Teniendo en cuenta estos aspectos se generó una tabla global de costos con el detalle del precio unitario, la cantidad a utilizar y el costo total estimado por elemento. (ver Tabla II)

Realizando la suma de cada aspecto evaluado se llegó a un costo total de inversión inicial de \$1.639.037,20.

<i>Factor</i>	<i>Costo unitario</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo</i>
Anclas	\$12.900,00	4	\$51.600,00
Señalización (armado de perfilera sobre bomba)	\$1.900,00	2	\$3.800,00
Construcción del piletón sin material (72 m ³ MO + nylon)	\$45.000,00	1	\$45.000,00
Turbina	\$240.000,00	1	\$240.000,00
Manguera 50 m	\$38.500,00	8	\$308.000,00
Neumático	\$0,00	18	\$0,00
Tambores	\$0,00	72	\$0,00
Brazos (tirantes de madera)	\$860,00	36	\$30.960,00
Estructura metálica perfil L (20 m por bomba)	\$1.900,00	63	\$119.700,00
Bulones (12 bulones de 1/2')	\$1.548,73	18	\$27.877,20
Válvulas de retención	\$10.000,00	36	\$360.000,00
Codos	\$700,00	36	\$25.200,00
Chapas 1 m x 2 m (salen 8 tapas por chapa)	\$7.500,00	9	\$67.500,00
Bridas	\$6.000,00	36	\$216.000,00
Pintura hierro tachos de 4 litros	\$3.700,00	2	\$7.400,00
Pintura madera tacho de 5 litros	\$10.000,00	2	\$20.000,00
Pago de permiso legal (info. de serv. hidrografía naval)	\$0,00	1	\$0,00
Instalación	\$40.000,00	1	\$40.000,00
Mantenimiento (año 0)	\$0,00	0	\$0,00
Costo de herrero por mes	\$76.000,00	1	\$76.000,00
TOTAL			\$1.639.037,20

Tabla II: Costos de inversión

Fuente: Elaboración propia con precios encontrados en la web.

12.2. Mantenimiento preventivo

Se considera necesario una revisión y un mantenimiento de la bomba desarrollados de manera preventiva, con el fin de ayudar a evitar fallas inesperadas, así como también, para aumentar la vida útil de los componentes.

Tomando una frecuencia de un año, como mínimo, se debe inspeccionar el artefacto en busca de indicadores de deterioro de los elementos, como puede ser, grietas en la madera o indicios de óxido en el armazón principal. Evaluando los indicadores observados se determina, en caso de corresponder, el recambio o puesta a punto de los componentes necesarios.

Existen distintos elementos críticos sobre los cuales se debe poner una mayor atención al momento de la revisión. Estos son:

- neumático,
- vigas de madera,
- tambores de plástico,
- codos,
- válvulas de retención,
- bulones.

12.2.1 Costo preventivo variable (de seguridad)

En función de las posibles necesidades que surjan de la inspección anual se define como margen de seguridad, la inclusión, en el flujo proyectado, de los repuestos necesarios para el recambio de dos bombas completas, con la excepción del primer año, en el cual se tiene en cuenta solo una bomba de recambio, debido al escaso tiempo de trabajo de los componentes.

Teniendo en cuenta el costo unitario de la bomba, podemos tomar \$126.337,46.- como costo a aplicar, durante todos los años, que resulta el doble del monto detallado en la Tabla III para una bomba.

<i>Factor</i>	<i>Costo unitario</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo</i>
Neumático	\$0,00	1	\$0,00
Tambores	\$0,00	1	\$0,00
Brazos (tirantes de madera)	\$860,00	2	\$1.720,00
Estructura metálica perfil L (20 m por bomba)	\$1.900,00	4	\$7.600,00
Bulones (12 bulones de 1/2')	\$1.548,73	1	\$1.548,73
Válvulas de retención	\$10.000,00	2	\$20.000,00
Codos	\$700,00	2	\$1.400,00
Chapas 1 m x 2 m (salen 8 tapas por chapa)	\$7.500,00	1	\$7.500,00
Bridas	\$6.000,00	2	\$12.000,00
Pago permiso legal (serv. hidro. naval)	\$0,00	1	\$0,00
Costo de herrero por mes	\$76.000,00	0,15	\$11.400,00
TOTAL			\$63.168,73

Tabla III: Costo preventivo variable

Fuente: Elaboración propia con precios relevados en la web.

12.2.2 Costo preventivo fijo

Además de las acciones correctivas que puedan surgir al momento de la inspección, se debe realizar el mantenimiento anual de la pintura del armazón de hierro, el tratamiento de las vigas de madera y una limpieza general del artefacto, quitando incrustaciones que puedan haberse adherido a las distintas piezas. Para esto se debe contar con una embarcación que permita el transporte de las bombas, desde el lugar de operación hasta el sitio de mantenimiento y viceversa.

Se considera que este mantenimiento se realizará y completará en el tiempo de una semana.

Teniendo en cuenta los elementos necesarios se desarrolla la Tabla IV donde se indica los costos asociados a esta tarea, resultando un total de \$61.400,00.- los cuales son aplicables en todos los años del proyecto.

<i>Factor (mantenimiento)</i>	<i>Costo unitario</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo</i>
Transporte grúa de embarcación	\$15.000,00	1	\$15.000,00
Pintura de hierro (4 litros)	\$3.700,00	2	\$7.400,00
M.O. (costo de herrero por mes)	\$76.000,00	0,25	\$19.000,00
Tratamiento de viga de madera (5 litros)	\$10.000,00	2	\$20.000,00
TOTAL			\$61.400,00

Tabla IV: Costo preventivo fijo

Fuente: Elaboración propia con precios relevados en la web.

12.3. Comparación con otros métodos de generación de energía mediante fuentes renovables.

Para poder obtener un punto de comparación y una base de cálculo se realizó un estudio de mercado en busca de distintas alternativas para la utilización del agua de mar bombeada por el artefacto desarrollado. Se llegó a la conclusión de que lo más idóneo es la evaluación de los ahorros generados en la compra de energía eléctrica de red debido al uso de la bomba (abastecimiento por agua de mar de una turbina hidráulica para la micro generación de energía eléctrica, más precisamente, de 5 kW).

A fin de valorar las distintas adversidades y complicaciones que pueden llegar a ocurrir al momento de la generación de la energía, se tiene en cuenta que la turbina no se encuentra operativa el 100% del tiempo, sino que, se coloca un margen de seguridad del 10%, es decir que, de los 365 días del año, la misma se encuentra operativa alrededor de 328 días.

12.4. Determinación de precios:

La determinación del precio del kiloWatt hora de energía es un factor primordial a tener en cuenta para el desarrollo del flujo de fondos futuros del proyecto. Se toma en cuenta que, la energía generada por el proyecto, corresponde a las del tipo renovable. En base a esto se tomó como referencia el costo medio proyectado de la energía abastecida, según contratos vigentes por proyectos renovables en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) en el mes de mayo 2022, informado por la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A. (CAMMESA) obteniendo un valor de 14,02 \$/kWh.

12.5. Estudio de punto de equilibrio:

Teniendo en cuenta los supuestos declarados, se considera que los costos no dependen de la producción, debido a que el mantenimiento de las instalaciones será demandado indefectiblemente. Es por ello que, para el cálculo de punto de equilibrio, los costos resultan horizontales y son producto de la suma de los mantenimientos preventivos y correctivos calculados anteriormente.

Utilizando la ecuación y despejando la cantidad de producción obtenemos:

$$\text{Precio} \left[\frac{\$}{kWh} \right] * \text{Cantidad de producción}[kWh] = \text{Costo Fijo} + \text{Costo Variable} \quad (53)$$

$$\text{Cantidad de producción necesaria} = \frac{\text{Costo Fijo} + \text{Costo Variable}}{\text{Precio}} \quad (54)$$

$$\text{Cantidad de producción necesaria} = \frac{\$126.337,46}{14,02 \frac{\$}{kWh}} \approx 9011 \text{ kWh} \quad (55)$$

Del análisis, se obtiene que, con una producción de 9011 kWh anual, el costo es exactamente igual al “flujo de fondos positivo”, tal como se puede observar de manera gráfica en la figura 54.

El punto de equilibrio representa a nivel de producción, un porcentaje de operatividad mínima necesaria de 22,86% (% que contempla el margen de seguridad del 10%).

Punto de equilibrio

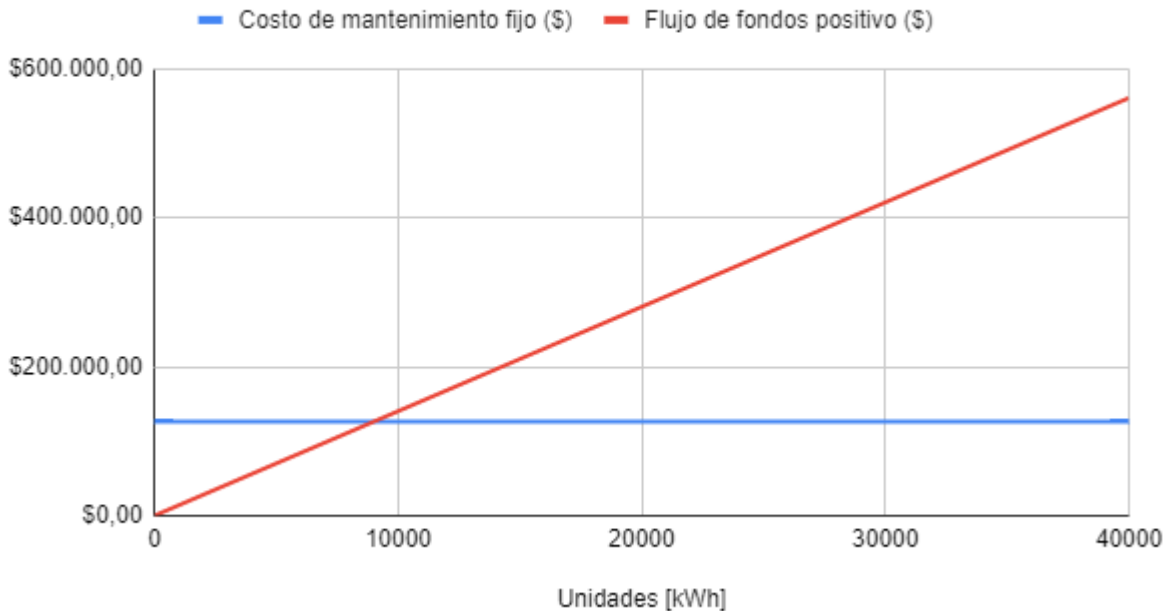


Figura 54: Representación gráfica de punto de equilibrio.

Fuente: Elaboración propia

12.6. Ahorro en obtención de energía:

Tal como se mencionó anteriormente, para poder obtener un método de evaluación económica se utilizará la cantidad de energía generada a lo largo de todo el año, Para esto, se considera que todo el sistema de obtención de energía se encuentra operativo el 90% del tiempo a lo largo del año, obteniendo de esta manera una generación anual de 39420 kWh. Este tiempo de operación, considera reparaciones, controles y un margen improductivo por eventualidades no programadas.

Teniendo en cuenta este tiempo de generación y el precio de la energía renovable, se obtiene una generación anual de \$545.253,12, tal como se observa en la Tabla V.

Flujo de fondos positivo estimado, con 90%		AÑO											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Cosumo por x mes [kWh]	3240	-	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12
Costo energía x kWh [S]	\$14,02												

Tabla V: Flujo de fondos positivo estimado

Fuente: Elaboración propia

12.7. Beneficio impositivo y fondo fiduciario de energías renovables:

Debido a que el proyecto encuadra dentro de la definición de “*Fuentes Renovables de Energía*”, según la ley 26.190 (“*Régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica. Objeto. Alcance. Ámbito de aplicación. Autoridad de aplicación. Políticas. Régimen de inversiones. Beneficiarios. Beneficios. Sanciones. Fondo Fiduciario de Energías Renovables.*”), cuenta con beneficios a tener en cuenta al momento del análisis económico.

Por un lado, en el artículo Nro. 9 de la mencionada ley se indica que: “*Serán beneficiarios del régimen instituido por el artículo 7º, las personas físicas y/o jurídicas que sean titulares de inversiones y concesionarios de obras nuevas de producción de energía eléctrica generada a partir de fuentes de energía renovables, aprobados por la autoridad de aplicación y comprendidas dentro del alcance fijado en el artículo 2º, con radicación en el territorio nacional, cuya producción esté destinada al Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) o la prestación de servicios públicos.*” Además, en el inciso 1 se hace mención a la devolución de I.V.A., en donde se redacta: “*En lo referente al Impuesto al Valor Agregado y al Impuesto a las Ganancias, será de aplicación el tratamiento dispensado por la Ley 25.924 y sus normas reglamentarias, a la adquisición de bienes de capital y/o la realización de obras que se correspondan con los objetivos del presente régimen.*”

12.8. Flujo de fondos:

Para el cálculo de flujo de fondos se aglomeran los datos obtenidos en cálculos económicos anteriores tal como se puede observar en la Tabla VI:

Factor	AÑO										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo de fondos positivo estimado		\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12
Costos por correctivos estimados		-\$63.168,73	-\$126.337,47	-\$126.337,47	-\$126.337,47	-\$126.337,47	-\$126.337,47	-\$126.337,47	-\$126.337,47	-\$126.337,47	-\$126.337,47
Resultados antes de mantenimiento	\$0,00	\$482.084,39	\$418.915,65	\$418.915,65	\$418.915,65	\$418.915,65	\$418.915,65	\$418.915,65	\$418.915,65	\$418.915,65	\$418.915,65
Mantenimiento Preventivo anual		-\$81.400,00	-\$81.400,00	-\$81.400,00	-\$81.400,00	-\$81.400,00	-\$81.400,00	-\$81.400,00	-\$81.400,00	-\$81.400,00	-\$81.400,00
Resultados antes de impuestos	\$0,00	\$420.684,39	\$357.515,65	\$357.515,65	\$357.515,65	\$357.515,65	\$357.515,65	\$357.515,65	\$357.515,65	\$357.515,65	\$357.515,65
Devolucion de IVA		\$278.800,23	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Capital bancario	\$855.614,88	-\$46.756,25	-\$71.701,64	-\$109.955,91	-\$168.619,58	-\$258.581,50					
Inversión	-\$1.327.620,13										
FLUJO NETO	-\$672.005,25	\$652.728,36	\$285.814,01	\$247.559,75	\$188.898,07	\$98.934,15	\$357.515,65	\$357.515,65	\$357.515,65	\$357.515,65	\$357.515,65
FACTOR DE AJUSTE (auxiliar)	1	0,6767401897	0,4579772572	0,3099316068	0,2097431882	0,1419416272	0,09605760088	0,06500603712	0,04399219659	0,02977128658	0,02014742553
FLUJO ACTUALIZADO	-\$672.005,25	\$441.727,50	\$130.898,32	\$78.728,59	\$39.619,66	\$14.042,87	\$34.342,10	\$23.240,68	\$15.727,90	\$10.643,70	\$7.203,02

Tabla VI: Flujo de fondos total

Fuente: Elaboración propia

12.8.1. Período de repago

El período de repago, también llamado payback, tiene en cuenta los flujos de fondos obtenidos por el proyecto para determinar el momento en el cual los ingresos generados se igualan con el valor de la inversión inicial.

Para una apreciación sencilla de este indicador se generó una representación gráfica en la cual el periodo de repago se corresponde con el momento en el cual la gráfica corta el eje de abscisas. De esta manera se observa que el periodo de repago se encuentra entre el tercer y cuarto año del proyecto, tal como se puede apreciar en la figura 55. Es necesario aclarar que esta herramienta de análisis no tiene en cuenta el valor del dinero del tiempo, por lo que en entornos de alto riesgo y una marcada inflación, como es el caso de la República Argentina, debe ser considerado con ciertos recaudos.



Figura 55: Representación gráfica de período de repago.

Fuente: Elaboración propia

Factor	AÑO											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Flujo de fondos positivo estimado		\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	
Costos por correctivos estimados		- \$63.168,73	- \$126.337,47	- \$126.337,47	- \$126.337,47	- \$126.337,47	- \$126.337,47	- \$126.337,47	- \$126.337,47	- \$126.337,47	- \$126.337,47	
Resultados antes de mantenimiento	\$0,00	\$482.084,39	\$418.915,65	\$418.915,65	\$418.915,65	\$418.915,65	\$418.915,65	\$418.915,65	\$418.915,65	\$418.915,65	\$418.915,65	
Mantenimiento Preventivo anual		- \$61.400,00	- \$61.400,00	- \$61.400,00	- \$61.400,00	- \$61.400,00	- \$61.400,00	- \$61.400,00	- \$61.400,00	- \$61.400,00	- \$61.400,00	
Resultados antes de impuestos	\$0,00	\$420.684,39	\$357.515,65	\$357.515,65	\$357.515,65	\$357.515,65	\$357.515,65	\$357.515,65	\$357.515,65	\$357.515,65	\$357.515,65	
Devolucion de IVA		\$278.800,23	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	
Capital bancario	\$655.614,88	- \$46.756,25	- \$71.701,84	- \$109.955,91	- \$168.819,58	- \$258.581,50						
Inversión	- \$1.327.620,13											
FLUJO NETO	- \$672.005,25	\$652.728,36	\$285.814,01	\$247.559,75	\$188.898,07	\$98.934,15	\$357.515,65	\$357.515,65	\$357.515,65	\$357.515,65	\$357.515,65	
FACTOR DE AJUSTE (auxiliar)	1	0,6767401697	0,4579772572	0,3099316068	0,2097431682	0,1419416272	0,09605760088	0,06500603712	0,04399219659	0,02977128658	0,02014742553	
FLUJO ACTUALIZADO	- \$672.005,25	\$441.727,50	\$130.896,32	\$76.726,59	\$39.819,66	\$14.042,87	\$34.342,10	\$23.240,68	\$15.727,90	\$10.643,70	\$7.203,02	
Datos auxiliares para VAN	- \$672.005,25	- \$230.277,75	- \$99.381,43	- \$22.654,84	\$16.964,82	\$31.007,69	\$65.349,79	\$88.590,47	\$104.318,36	\$114.962,07	\$122.165,09	
VAN	\$122.165,09	\$122.165,09	VAN con excel para comparar									
TIR	59,73%											
REPAGO DESCONTADO	- \$672.005,25	- \$230.277,75	- \$99.381,43	- \$22.654,84	\$16.964,82	\$31.007,69	\$65.349,79	\$88.590,47	\$104.318,36	\$114.962,07	\$122.165,09	
REPAGO	- \$672.005,25	- \$19.278,89	\$286.537,12	\$514.096,87	\$702.992,94	\$801.927,10	\$1.159.442,75	\$1.516.958,40	\$1.874.474,06	\$2.231.989,71	\$2.589.505,36	

Tabla VII: Flujo de fondos total con repago

Fuente: Elaboración propia

12.8.2. Cálculo costo promedio ponderado del capital (WACC)

Tal como su nombre lo indica el costo promedio ponderado del capital (WACC) pondera los costos de cada una de las fuentes de financiación de un proyecto o inversión ya sean propias o de terceros. Además, intrínsecamente el mismo considera el factor inflacionario. La ecuación para su cálculo resulta ser la siguiente:

$$WACC = Ke * \frac{E}{E+D} + Kd * (1 - T) * \frac{D}{E+D} \quad (56)$$

Donde:

- Ke: tasa de retorno requerida del capital propio,
- Kd: costo porcentual de la deuda adquirida de terceros,
- T: tasa de impuesto a las ganancias,
- E: monto de capital propio invertido en el proyecto,
- D: monto de deuda adquirida y destinada al proyecto.

Para realizar un análisis de la financiación del proyecto, se toman los datos para un préstamo simple del banco Nación con valores a mayo de 2022. Adicionalmente, el costo de capital propio se considera como el costo de oportunidad de colocar el dinero en un plazo fijo (44% TNA) + 20% de prima por riesgo.

Siendo así, con estos datos y de forma iterativa, se obtiene que conviene tomar un préstamo del 40 % del monto total para la financiación del proyecto, con devolución del mismo a 5 años, con amortización francesa.

De esta forma, utilizando la ecuación 56, se obtiene un WACC de 47,77%, valores expresados en la tabla 8.

WACC	47,77%
Inversión total	\$1.639.037,20.-
E (60%)	\$983.422,32.-
D (40%)	\$655.614,88.-
Ke	43,35%
Kd	60,60%
T	35,00%

Tabla VIII: Desglose de costos de capital

Fuente: Elaboración propia

12.8.3. Cálculo de VAN

El valor actual neto (VAN) resulta de trasladar todos los ingresos y egresos de un proyecto o inversión a un momento 0 determinado en el cual los flujos de fondos calculados son comparables entre sí. Para poder realizar esta operación se debe trabajar sobre los flujos netos anuales aplicándoles un factor de ajuste, teniendo en cuenta el costo promedio ponderado del capital. Quedando la ecuación 57 de la siguiente manera:

$$VAN = -Inversión\ inicial + \sum_{j=1}^n \frac{FFj}{(1+WACC)^j} = -Inversión\ inicial + BNA \quad (57)$$

Donde:

$$BNA = \text{Beneficio neto actualizado} = \sum_{j=1}^n \frac{FFj}{(1+WACC)^j} \quad (58)$$

Año	Flujo Neto anual	FF actualizado	FF actualizado Acumulado
0	-\$672.005,25	-\$672.005,25	-\$672.005,25
1	\$652.728,36	\$441.727,50	-\$230.277,75
2	\$285.814,01	\$130.896,32	-\$99.381,43
3	\$247.559,75	\$76.726,59	-\$22.654,84
4	\$188.896,07	\$39.619,66	\$16.964,82
5	\$98.934,15	\$14.042,87	\$31.007,69
6	\$357.515,65	\$34.342,10	\$65.349,79
7	\$357.515,65	\$23.240,68	\$88.590,47
8	\$357.515,65	\$15.727,90	\$104.318,36
9	\$357.515,65	\$10.643,70	\$114.962,07
10	\$357.515,65	\$7.203,02	\$122.165,09
Valor Actual Neto (VAN):		\$122.165,09	

Tabla IX: Cálculo de Valor Actual Neto (VAN):

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla IX se puede observar el flujo de fondos, año a año y su correspondiente actualización mediante la aplicación del factor de ajuste. En función de ello se obtiene un flujo de fondos actualizado y acumulado que representa el resultado neto al finalizar cada año del proyecto. Como se puede observar, al finalizar el horizonte temporal planteado, el valor obtenido de este indicador financiero resulta positivo. Es decir, el beneficio neto actualizado (BNA) es mayor que la inversión en \$122.165,09.-

12.8.4. Cálculo de Tasa interna de retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) indica la rentabilidad que ofrece un proyecto o inversión. Es representada en forma de porcentaje del beneficio o pérdida que se obtiene por el

monto no retirado. Desde otro punto de vista, se puede considerar a la TIR como la tasa de descuento a la cual el VAN se vuelve cero.

Utilizando la ecuación 57, se varía la Tasa de descuento (WACC) hasta lograr que el resultado de esta sea 0.

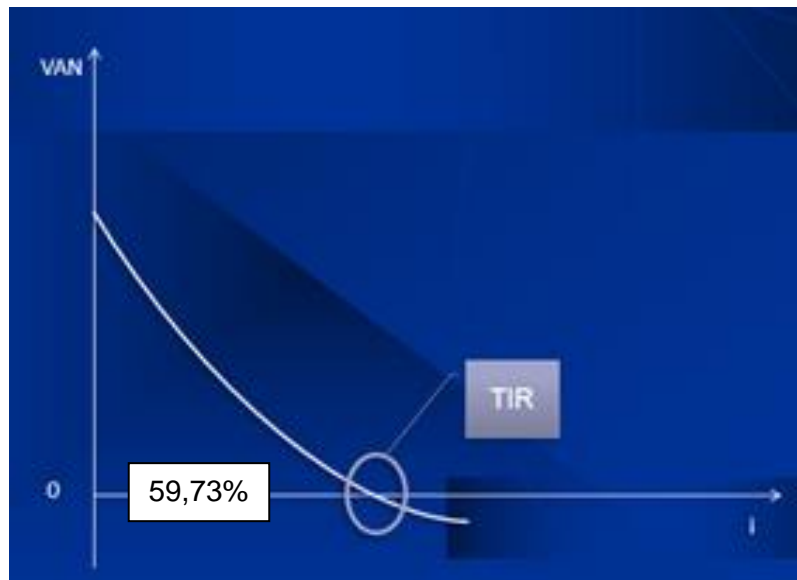


Figura 56: Representación gráfica de Tasa Interna de Retorno (TIR).

Fuente: Elaboración propia

Usando los datos del proyecto en la ecuación anteriormente mencionada, se obtiene un valor de 59,73%. Al obtener una TIR mayor a 0, se puede estimar que este proyecto tenga un rendimiento positivo a futuro.

12.9. Conclusión de análisis financiero

Evaluando los indicadores financieros, tanto el VAN, la TIR y el período de repago podemos obtener una conclusión respecto del proyecto.

Teniendo en cuenta el valor positivo del VAN, el proyecto otorgaría un ahorro de \$122.165,09- a valor actual del dinero; esto sumado a que el periodo de repago se encuentra en el segundo año, en un proyecto de 10 años, nos da un indicio que es viable el proyecto. Además, teniendo en cuenta la TIR, comparándola con el valor de la WACC calculado anteriormente,

observamos que esta es mayor al costo del capital invertido, por lo que podemos concluir finalmente que este proyecto es redituable y cumple con el objetivo económico.

13. Análisis de sensibilidad.

Con el fin de evaluar distintos escenarios que pueden surgir al momento del desarrollo del proyecto se realiza un análisis de sensibilidad en el cual se considera un caso optimista, y otros dos casos donde se analiza el precio mínimo y un desajuste por inflación, respectivamente.

Para realizar la variación de sensibilidad, se considerará, por un lado, el rango de precios de la energía renovable y, por el otro, una estimación de desproporcionalidad de la inflación.

13.1. Caso optimista:

Si bien el precio promedio respecto a su producción resulta ser de \$14,02.- por kWh (según contratos vigentes por proyectos renovables en el MEM en el mes de mayo informados por CAMMESA), los precios, dependiendo de los distintos tipos de proyectos, oscilan entre \$9,02.- por kWh (turbina eólica) y \$41,38.- por kWh (Biogas). De esta forma resulta factible que en un escenario positivo se pueda comercializar la energía generada a un precio mayor al promedio de mercado.

Se considerará un precio que promedie los más altos, donde el repago sea dentro del primer año, se obtiene un costo de \$24,70.- por kWh con un nuevo flujo de fondos, del cual se calcula un nuevo VAN, dando como resultado un beneficio de \$973.628,07.-, tal como se observa en la Tabla X.

Año	Flujo Neto anual	FF actualizado	FF actualizado Acumulado
0	- \$672.005,25	- \$672.005,25	- \$672.005,25
1	\$1.067.811,24	\$722.630,76	\$50.625,51
2	\$700.896,89	\$320.994,83	\$371.620,35
3	\$662.642,63	\$205.373,89	\$576.994,24
4	\$603.978,95	\$126.680,46	\$703.674,70
5	\$514.017,03	\$72.960,41	\$776.635,11
6	\$772.598,53	\$74.213,96	\$850.849,07
7	\$772.598,53	\$50.223,57	\$901.072,64
8	\$772.598,53	\$33.988,31	\$935.060,95
9	\$772.598,53	\$23.001,25	\$958.062,20
10	\$772.598,53	\$15.565,87	\$973.628,07
Valor Actual Neto (VAN):		\$973.628,07	

Tabla X: Cálculo de Valor Actual Neto (VAN) con proyección optimista

Fuente: Elaboración propia

13.2. Caso de precio mínimo:

A modo de punto de equilibrio se determina el precio mínimo del costo de la energía para que el proyecto logre ser rentable dentro del plazo del tiempo planteado (de 10 años), precio del cual, si llega a bajar, no sería redituable el proyecto.

El valor obtenido es de \$ 12,50.- el kWh, dando un VAN de \$618,66.- tal como se observa en la Tabla XI. Disminuyendo ese valor, el VAN es negativo, la TIR menor a la WACC y el repago descontado es mayor a 10 años, motivo por el cual se considera como el costo de la energía mínimo para este proyecto.

Año	Flujo Neto anual	FF actualizado	FF actualizado Acumulado
0	- \$672.005,25	- \$672.005,25	- \$672.005,25
1	\$593.475,24	\$401.628,54	- \$270.376,71
2	\$226.560,89	\$103.759,73	- \$166.616,98
3	\$188.306,63	\$58.362,18	- \$108.254,80
4	\$129.642,95	\$27.191,72	- \$81.063,08
5	\$39.681,03	\$5.632,39	- \$75.430,69
6	\$298.262,53	\$28.650,38	- \$46.780,31
7	\$298.262,53	\$19.388,87	- \$27.391,44
8	\$298.262,53	\$13.121,22	- \$14.270,22
9	\$298.262,53	\$8.879,66	- \$5.390,56
10	\$298.262,53	\$6.009,22	\$618,66
Valor Actual Neto (VAN):		\$618,66	

Tabla XI: Cálculo de Valor Actual Neto (VAN) con proyección de precio mínimo

Fuente: Elaboración propia

13.3. Caso de análisis con efecto de inflación:

Por último, se considera que uno de los efectos de la inflación es que los precios varían de forma desequilibrada, más allá del promedio de aumento de precio general (el cual ya está reflejado en la WACC). Para volcar este caso dentro de este análisis, se tomará un aumento de “los costos por correctivos” el cual representa el mantenimiento por imprevistos.

Realizando el análisis, se obtiene que el proyecto sigue siendo rentable en el plazo de diez años, con un desajuste por inflación en el costo del ítem mencionado no mayor al 18% anual. Aumentando ese valor, el VAN es negativo, la TIR menor a la WACC y el repago descontado es mayor a 10 años. Esto se representa en la Tabla XII:

Factor	AÑO										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo de fondos positivo estimado		\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12	\$545.253,12
Costos por correctivos estimados		-\$63.168,73	-\$149.078,21	-\$175.912,29	-\$207.576,50	-\$244.940,27	-\$289.029,52	-\$341.054,83	-\$402.444,70	-\$474.884,75	-\$560.364,00
Resultados antes de mantenimiento	\$0,00	\$482.084,39	\$396.174,91	\$369.340,83	\$337.676,62	\$300.312,85	\$256.223,60	\$204.198,29	\$142.808,42	\$70.368,37	-\$15.110,88
Mantenimiento Preventivo anual		-\$61.400,00	-\$61.400,00	-\$61.400,00	-\$61.400,00	-\$61.400,00	-\$61.400,00	-\$61.400,00	-\$61.400,00	-\$61.400,00	-\$61.400,00
Resultados antes de impuestos	\$0,00	\$420.684,39	\$334.774,91	\$307.940,83	\$276.276,62	\$238.912,85	\$194.823,60	\$142.798,29	\$81.408,42	\$8.968,37	-\$76.510,88
Devolucion de IVA		\$278.800,23	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Capital bancario	\$655.614,88	-\$46.756,25	-\$71.701,64	-\$109.955,91	-\$168.619,58	-\$258.581,50					
Inversión	-\$1.327.620,13										
FLUJO NETO	-\$672.005,25	\$652.728,36	\$283.073,26	\$197.984,93	\$107.657,04	-\$19.668,65	\$194.823,60	\$142.798,29	\$81.408,42	\$8.968,37	-\$76.510,88
FACTOR DE AJUSTE (auxiliar)	1	0,6767401697	0,4579772572	0,3099316068	0,2097431682	0,1419416272	0,09605760088	0,06500603712	0,04399219659	0,02977128658	0,02014742553
FLUJO ACTUALIZADO	-\$672.005,25	\$441.727,50	\$120.481,57	\$61.361,79	\$22.580,33	-\$2.791,80	\$18.714,29	\$9.282,75	\$3.581,34	\$267,00	-\$1.541,50
Datos auxiliares para VAN	-\$672.005,25	-\$230.277,75	-\$109.796,18	-\$48.434,39	-\$25.854,06	-\$28.645,86	-\$9.931,57	-\$648,82	\$2.932,51	\$3.199,51	\$1.658,01
VAN	\$1.658,01	\$1.658,01	VAN con excel para comparar								
TIR	47,98%										
REPAGO DESCONTADO	-\$672.005,25	-\$230.277,75	-\$109.796,18	-\$48.434,39	-\$25.854,06	-\$28.645,86	-\$9.931,57	-\$648,82	\$2.932,51	\$3.199,51	\$1.658,01
REPAGO	-\$672.005,25	-\$19.276,89	\$243.796,38	\$441.781,30	\$549.438,34	\$529.769,69	\$724.593,29	\$887.391,58	\$948.800,00	\$957.768,37	\$881.257,48

Tabla XII: Flujo de fondos con proyección de desajuste por efecto de inflación

Fuente: Elaboración propia

14. Descripción de la forma de la puesta y conexión de las bombas

Se colocarán las 18 bombas en 6 columnas de 3 bombas. En la posición de mar adentro se colocarán dos anclas, las cuales sujetan las filas de los extremos. Luego se amarran los extremos de las 6 columnas entre sí mediante cadenas.

En cada fila, se vinculan las bombas de un extremo de un brazo al extremo opuesto de la bomba siguiente; así en las 3 bombas.

En las últimas bombas de cada fila (más cercanas a la costa) se aplicará el mismo sistema de fondeo que de las bombas de mar adentro.

Peso estimado de cada bomba :140 kgf x 4 (tambores) + 60 kgf del agua en neumático + 80 kgf de peso de estructura=700 kgf.

Se necesitan seis tiras de mangueras, una para cada línea de bombas, que se vinculan entre si con conexiones de tubo de forma T para cada bomba subsiguiente a la de mar adentro (dos conexiones T por cada tira de manguera). La manguera cuelga a una profundidad a 1,5 m respecto de la salida de la conexión con el neumático. El extremo más cercano a la costa se ubica a 10 m de esta, evitando la zona donde rompen las olas y como un margen de seguridad. Luego se vinculan las tres bombas de la línea con cadenas de 2 m de distancia.



Figura 57. Distribución de las bombas

Fuente: Confección propia

15. Conclusiones.

La idea principal de este proyecto es la creación de una alternativa renovable frente a la necesidad de generación de energía tanto a nivel país, como a nivel regional, en zonas con difícil acceso a la red eléctrica, en contra posición de la búsqueda de ganancias extraordinaria.

Se destaca que la estacionalidad del potencial de energía aprovechable del oleaje se contrapone con la estacionalidad detectada en la generación de los pequeños aprovechamientos hidráulicos del país; motivo por el cual el desarrollo de este tipo de nuevas tecnologías de producción eléctrica que aprovechen la energía de las olas puede ayudar a brindar estabilidad a la producción y demanda de la energía hidráulica.

A lo largo de esta tesis se pudo demostrar que tanto el contexto social y legal, como técnico y económico, arrojan datos positivos para la implementación de la bomba undimotriz como una fuente más de energía renovable. Esto queda demostrado mediante el prototipo creado con el cual se realizaron ensayos con resultados favorables, como así también con el desarrollo financiero-económico el cual arrojó datos positivos de VAN, TIR mayor a la WACC

y un repago en un tiempo mucho menor al propuesto (en comparación a otros proyectos). Además, queda planteada la posibilidad de ajustar este proyecto a la disponibilidad de materiales existentes al lugar de implementación.

Por otro lado, el rendimiento energético que se obtiene de la bomba respecto a la ola de mar, es un valor bajo (menor al 5%), pero esto se contrarresta con el objetivo fundamental de todo este estudio, el cual consiste en aprovechar materiales de descarte (disminuyendo su impacto ambiental) para crear una nueva alternativa para la obtención de energía proveniente de fuentes renovables.

16. Bibliografía:

- Aderinto, Tunde & Li, Hua, 2018, *Ocean Wave Energy Converters: Status and Challenges* [en línea]. *Energies*. Vol 11, 5, 1250 [consulta 24 mayo 2020]. Disponible en doi.org/10.3390/en11051250.
- Agencia Internacional de las Energías Renovables [En línea] [consulta 13 septiembre 2020]. Múltiples secciones. <www.irena.org>
- AIGUAPRES [En línea] [consulta 17 mayo 2020]. <www.aiguapres.es/bomba-diafragma/>
- Amundarain Ormaza, Modesto, 2012, La energía renovable procedente de las olas [en línea]. *Ikastorratza. e-Revista de didáctica*. 2012, n. 8 ; p. 1-14 [consulta 24 mayo 2020]. Disponible en: hdl.handle.net/11162/199425
- Baca Urbina, Gabriel, 2009. *Evaluación de proyectos*. 6ª. Ed. México: Mc Graw Hill. ISBN 978-607-15-0260-5
- Banco Central de la República Argentina [En línea] [consulta 13 septiembre 2020]. Múltiples secciones <www.bcra.gob.ar/>
- Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima [En línea] [consulta 5 julio 2020]. Múltiples secciones. <<https://cammesa.com/>>
- Consejo para la Defensa de Recursos Naturales [En línea] [consulta 8 mayo 2021]. <www.nrdc.org>
- Dean, Robert G. & Dalrymple Robert A., 1991. *Water Wave Mechanics for Engineers & Scientists*. Illustrated edición. United States: Ed. WSPC. ISBN: 9789810204211
- Díaz Vélez, Sofía, 2015, *Estudio de factibilidad sobre el aprovechamiento de Energía Undimotriz en Mar del Plata* [En línea]. Universidad Nacional de Mar del Plata [consulta 8 mayo 2021]. Trabajo final presentado como requisito para obtener el título de: Ingeniero Industrial. Disponible en: <<https://undimotriz.frba.utn.edu.ar/wp-content/uploads/sites/61/2019/08/2015-UNMdP-Sofia-Diaz-Velez-Estudio-de-factibilidad-sobre-el-aprovechamiento-de-Energ%C3%ADa-Undimotriz-en-Mar-del-Plata.pdf>>

-
- Díaz Velilla, Jorge Pablo, 2015. *Sistemas de energías renovables*. 1ª. Ed. España: Ediciones Paraninfo. ISBN 978-84-9732-467-0
 - Drew, B., Plummer, A., & Sahinkaya, M. N., 2009, A review of wave energy converter technology [en línea]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, 223(8), 887-902[consulta 5 julio 2020]. Disponible en doi.org/10.1243/09576509JPE782
 - Francesc Lluís Arbó Joaquín & Antoni Canela Mata, 2011, *Proyecto OWC, Diseño y optimización de una planta de energía undimotriz* [En línea] Universitat Politècnica de Catalunya [consulta 5 julio 2020] Proyecto Final de Carrera Ingeniería Técnica Naval. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/13595>
 - González Cubero, Javier, 2011. *Análisis de los Requisitos Eléctricos para el Diseño de un Parque Offshore de Energía Undimotriz* [en línea]. Proyecto Fin de Carrera. Escuela técnica superior de ingeniería, Universidad de Sevilla [consulta 8 mayo 2021]. Disponible en: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/4991>
 - Josep Puig y Joaquim Corominas, 1990. La ruta de la energía. 1ª. Ed. España: Editorial Anthropos. ISBN: 84-7658-244-7
 - Kinsman, Blair, 1984. Wind Waves – Their Generation and Propagation on the Ocean Surface. 1ª. Ed. United States: Dover Publications. ISBN: 978-0-486-64652-7
 - Martin, Paula; Prario, Bárbara y Dragani, Walter, 2018. *Oleaje e impacto costero: Estudios de caso en la ciudad de Mar del Plata, Pcia. de Buenos Aires* [En línea]. Servicio de Hidrografía Naval, Ministerio de Defensa [consulta 17 julio 2021]. Disponible en: http://cenamet.org.ar/congremet/wpcontent/uploads/2018/11/T0174_MARTIN.pdf
 - Mena Contla, Armando, 2018. *Estudio del impacto ambiental de las ondas lineales y no lineales generados por tsunamis y huracanes en zonas costeras* [en línea]. Tesis posgrado en ciencias ambientales. Instituto de ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla [consulta 17 mayo 2020]. Disponible en: hdl.handle.net/20.500.12371/9227

-
- Mott, R. L., 2006. *Mecánica de los fluidos*. 6ª. Ed. México: Pearson Educación. ISBN 970-26-0805-8
 - Naciones Unidas [En línea] [consulta 17 mayo 2020]. Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar.
<www.un.org/depts/los/convention_agreements/texts/unclos/convemar_es.pdf>
 - Ocean Power Technologies [En línea] [consulta 17 mayo 2020].
<www.oceanpowertechnologies.com>
 - Pampa Azul [En línea] [consulta 2 agosto 2020].
<<https://www.pampazul.gob.ar/>>
 - Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva [en línea] [consulta 17 julio 2021] Energías de Mar
<www.argentina.gob.ar/sites/default/files/energias_del_mar_2016_arg_innovadora_2020.pdf>
 - Portal de energía undimotriz Universidad Tecnológica Nacional [En línea] [consulta 26 julio 2020] múltiples secciones
<<https://undimotriz.frba.utn.edu.ar/>>
 - Portal oficial del estado argentino [En línea] [consulta 26 julio 2020] ¿Qué son las energías renovables? - Pequeños aprovechamientos hidroeléctricos.
<<https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/energia-electrica/renovables/que-son-las-energias-renovables#6>>
 - Portal oficial del estado argentino [En línea] [consulta 2 agosto 2020]. Elementos constituyentes del patrimonio natural.
<www.argentina.gob.ar/area-marina-protegida/antecedentes-institucionales/elementos-constituyentes-del-patrimonio-natural>
 - Secretaria de energía – Presidencia de la nación [En línea] [consulta 2 agosto 2020]. RenovAr - Plan de Energías Renovables.
<<https://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=4127>>
 - WAVE DRAGON UK [En línea] [consulta 17 mayo 2020].
< www.wavedragon.net>