



**FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
EVALUACIÓN DEL POTENCIAL UNDIMOTRIZ EN
LA COSTA DE PIMENTEL PARA GENERAR ENERGÍA
ELÉCTRICA**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER EN
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Autores

Avellaneda Vasquez, Lenin Saul

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4050-1128>

Perez Hernandez, Piero Andre

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6392-767X>

Asesor

Mtro. Vives Garnique Juan Carlos

ORCID: <https://orcid.org/000-0003-0988-9881>

**Línea de Investigación
Tecnología E Innovación En El Desarrollo de la Construcción
y la Industria en un contexto de Sostenibilidad.**

**Sublínea de Investigación
Innovación y Tecnificación en Ciencia de los Materiales, Diseño e
Infraestructura**

**Pimentel – Perú
2024**



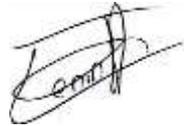
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quienes suscribimos la **DECLARACIÓN JURADA**, somos **egresados** del Programa de Estudios de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaramos bajo juramento que somos autores del trabajo titulado:

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL UNDIMOTRIZ EN LA COSTA DE PIMENTEL PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA.

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán (CIEI USS) conformea los principios y lineamientos detallados en dicho documento, con relación a las citas y referencias bibliográficas, respetando al derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y auténtico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Avellaneda Vasquez Lenin Saul	DNI: 74150681	
Perez Hernandez Piero Andre	DNI: 73090987	

Pimentel, 23 de setiembre de 2024

Dedicatoria

La presente investigación se la dedico a mis padres, por su apoyo inquebrantable y su constante esfuerzo. Su sacrificio y amor han sido la luz que ha guiado cada paso de este camino.

Avellaneda Vazquez Lenin Saul.

Esta investigación, quiero empezar agradeciendo a Dios, A mis padres, por su amor incondicional, su apoyo constante y sus sacrificios, para poder lograr todo esto.

Perez Hernandez Piero Andre

Agradecimientos

La presente investigación se los dedico a mis padres, su sacrificio y amor han sido de mucha ayuda para poder afrontar este camino. A mi compañero de equipo, Pérez Hernández Piero André, por su colaboración y esfuerzo conjunto en cada fase de este proyecto. Juntos hemos alcanzado metas que parecían inalcanzables. A mis amigos y seres queridos, por entender mis ausencias y apoyarme en cada etapa de este desafío académico. Sus ánimos y cariño han sido fundamentales. A todas las personas que participaron en este estudio, cuya contribución generosa y desinteresada fue crucial para obtener los resultados que aquí se presentan. Juntamente A mi asesor, Vives Garnique Juan Carlos, por su sabiduría, paciencia y guía experta. Este proyecto no habría sido posible sin su inestimable ayuda.

Avellaneda Vazquez Lenin Saul.

Esta investigación, quiero empezar agradeciendo a Dios, por ser mi guía y fortaleza en todo momento, por darme la sabiduría y el coraje necesarios para superar cada desafío que se presentó en mi camino. A mis padres, por su amor incondicional, su apoyo constante y sus sacrificios. Sin su fe en mí y sus palabras de aliento, no habría podido llegar hasta aquí. Su ejemplo de esfuerzo y dedicación ha sido mi mayor inspiración. A mis amigos, por estar a mi lado en cada momento, compartiendo alegrías y tristezas, risas y lágrimas. Gracias por las inolvidables experiencias y por ser mi segunda familia. A todos mis seres queridos, por creer en mí, por sus palabras de aliento y por su compañía en este viaje. Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi corazón. A mi asesor, agradezco profundamente su guía y apoyo durante este proceso. Sus conocimientos, paciencia y dedicación han sido cruciales para mi desarrollo académico y personal. Gracias por creer en mi potencial y por ayudarme a alcanzar mis metas.

Este logro es tan mío como de ustedes. Gracias por formar parte de mi vida y por contribuir a que este sueño se haga realidad.

Con cariño y gratitud, **Perez Hernandez Piero Andre**

Índice

Dedicatoria	3
Agradecimientos	4
Índice	5
Índice De Tablas	6
Índice De Figuras	6
Índice De Ecuaciones	6
Resumen	7
Abstract	8
I. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Realidad Problemática	9
1.2. Formulación del Problema	12
1.3. Hipótesis	12
1.4. Objetivos	12
1.5. Teorías relacionadas al tema	13
II. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	16
III. RESULTADOS	19
IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	28
V. REFERENCIAS	30
ANEXOS	34

Índice De Tablas

TABLA I. PARÁMETROS DEL COMPORTAMIENTO Y ENERGÍA DE LAS OLAS.....	19
TABLA II ENERGIA DE OLAS	21
TABLA III COMPARACIÓN FLUJO MEDIO DE ENERGÍA Y ALTURA DE OLA SIGNIFICATIVA	26

Índice De Figuras

Fig. 1 Diagrama de flujo del método a usar.....	17
Fig. 2 Comportamiento de altura significativa de ola, periodo y energía total undimotriz disponible de los 3 últimos años.....	23
Fig. 3 Altura de Ola Significativa (Hs).....	24
Fig. 4 Matriz H s vs. T E. Las líneas negras indican el flujo de energía de las olas [41]	25
Fig. 5 Flujo medio de energía de las olas[41].....	26

Índice De Ecuaciones

Ecuación 1	13
Ecuación 2	13
Ecuación 3	14
Ecuación 4	14
Ecuación 5	14
Ecuación 6	14
Ecuación 7	15
Ecuación 8	15

Resumen

En este estudio se evaluó el potencial undimotriz en la costa de Pimentel, Perú, mediante herramientas estadísticas y modelos numéricos avanzados. Se recolectaron datos sobre características de las olas, incluyendo altura significativa y período, para calcular el flujo de energía y la energía total. Utilizando ecuaciones derivadas de la función de densidad espectral de energía, se obtuvieron valores promedio de 53.49 kW/m de flujo de energía y 6140.28 kJ/m² de energía total durante los últimos tres años. Estos datos se analizaron para identificar patrones y variabilidades en la energía de las olas en diferentes condiciones y ubicaciones. Los resultados muestran que la costa de Pimentel presenta un considerable potencial para la generación de energía eléctrica a partir de las olas, apoyando el desarrollo de proyectos de energía renovable en Perú. Este estudio no solo contribuye a la diversificación de la matriz energética del país, sino que también proporciona una base sólida para futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos en el aprovechamiento de la energía undimotriz. La precisión y confiabilidad de las estimaciones obtenidas fueron validadas mediante comparaciones con datos observacionales y estudios previos, lo que refuerza la importancia de continuar explorando esta fuente de energía sostenible para reducir la dependencia de combustibles fósiles y disminuir el impacto ambiental.

Palabras Clave: flujo de energía, undimotriz ,espectral

Abstract

In this study, the wave potential on the coast of Pimentel, Peru, was evaluated using statistical tools and advanced numerical models. Data on wave characteristics, including significant height and period, were collected to calculate energy flux and total energy. Using equations derived from the energy spectral density function, average values of 53.49 kW/m of energy flux and 6140.28 kJ/m² of total energy were obtained during the last three years. These data were analyzed to identify patterns and variabilities in wave energy under different conditions and locations. The results show that the Pimentel coast has considerable potential for the generation of electrical energy from waves, supporting the development of renewable energy projects in Peru. This study not only contributes to the diversification of the country's energy matrix, but also provides a solid basis for future research and technological developments in the use of wave energy. The precision and reliability of the estimates obtained were validated through comparisons with observational data and previous studies, which reinforces the importance of continuing to explore this source of sustainable energy to reduce dependence on fossil fuels and reduce environmental impact.

Keywords: energy flow, spectral, wave

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

La generación de energía renovable es una necesidad imperante en la actualidad debido al agotamiento de los recursos fósiles y el impacto ambiental que estos generan. En este contexto, la energía undimotriz, que se obtiene a partir del movimiento de las olas del mar, emerge como una alternativa prometedora. Sin embargo, su aprovechamiento eficiente requiere un entendimiento detallado de las características y variabilidad del movimiento ondulatorio en zonas específicas [1].

El aprovechamiento de la energía del océano es cada vez más importante a medida que el mundo se orienta hacia fuentes de energía renovables para satisfacer las crecientes demandas energéticas y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. La energía del océano es abundante e infinita, la que lo convierte en una fuente interesante para la producción de energía. Una de las formas más prometedoras de aprovechar la energía del océano es mediante convertidores de energía de las olas, que convierten la energía cinética de las olas del océano en electricidad [2].

La costa de Pimentel, ubicada en la región de Lambayeque, Perú, presenta un gran potencial para el desarrollo de proyectos de energía undimotriz debido a sus condiciones oceánicas favorables. No obstante, la falta de estudios detallados sobre la dinámica de las olas en esta área ha limitado el avance de iniciativas para su explotación. Este enfoque permitirá comprender mejor la dinámica del movimiento ondulatorio, identificar patrones de variabilidad y proporcionar una base sólida para el desarrollo de tecnologías de aprovechamiento de la energía de las olas. Solucionar esta problemática contribuirá no solo al avance de las energías renovables en Perú, sino también a la diversificación de la matriz energética del país y a la reducción de su dependencia de los combustibles fósiles.

La idea de generar energía eléctrica a partir del movimiento continuo de las olas del mar

no es nueva. La primera patente de un sistema de energía basado en olas data de 1799 en Francia [3]. No obstante, no fue hasta la crisis del petróleo en 1970 que se tomó más en serio la producción de electricidad a través de las olas [4]. Las olas del mar poseen la mayor densidad de energía entre las fuentes renovables [5]. Se estima que la potencia bruta global de las olas es aproximadamente 3.7 TW, de los cuales unos 3 TW representan su potencial aprovechable [6], [7]. Debido a esto, existen numerosas técnicas de Conversión de Energía de las Olas (WEC); solo en Japón, América del Norte y Europa, se han otorgado más de 1,000 patentes [8]. Es relevante señalar que las tecnologías de energía oceánica no emiten contaminantes nocivos ni gases de efecto invernadero [9], lo que ha impulsado el aumento de parques de generación de energía en los últimos años [10].

Existen numerosos estudios en la literatura que reportan sobre la cuantificación de la disponibilidad de energía de las olas en distintas regiones del mundo. Estos estudios generalmente se han realizado retrospectivamente, prestando especial atención a la variabilidad del potencial de las olas [11]. Este es un aspecto crucial porque la variabilidad climática puede afectar significativamente los parámetros financieros. De hecho, una de las principales fuentes de incertidumbre en la rentabilidad de un proyecto WEC es la alta variabilidad interna de las estimaciones de energía de las olas [12], [13], [14]. Más concretamente, se ha estimado que la infraestructura marina y eléctrica, incluidos los generadores eléctricos, representan más del 50% de los costos de un proyecto WEC [15]. Lamentablemente, el comportamiento de las olas en América Latina y el Caribe no está libre de esta alta variabilidad [16].

La consideración de la variabilidad de la energía de las olas requiere necesariamente herramientas estadísticas, que se pueden utilizar para diferentes fines. Por ejemplo, en algunos casos, se puede querer obtener información sobre las tendencias a largo plazo y la confiabilidad estacional con el objetivo de identificar las mejores ubicaciones para la generación de energía de las olas, es decir, lugares con gran oleaje y baja variabilidad [16], [17], [18], [19], [20]. Al hacerlo, se pueden derivar cifras de mérito como el coeficiente de variabilidad (razón de la

desviación estándar a la media) o el índice de variabilidad (razón de la diferencia entre los extremos a la media) de los datos climáticos retrospectivos, tanto para generadores individuales como para parques con múltiples geometrías [16], [17], [18], [19], [20]. Recientemente, se han extendido procedimientos similares para la evaluación simultánea de la energía de las olas y el viento [21], [22]. En estos casos, se han construido indicadores más complejos para incluir información de correlación, considerando la ocurrencia de ambos recursos.

En enfoques más avanzados, la variabilidad de los estados del mar se ha abordado de manera predictiva para evaluar la propagación de la variabilidad desde los conjuntos de datos originales a extrapolaciones futuras o desde datos de olas en alta mar a predicciones cercanas a la costa [23]. Un procedimiento común es la implementación de algoritmos de Monte Carlo [24], [25], [26], cuyo proceso se describe a continuación. Primero, se considera que el estado inicial del mar se compone de un conjunto de valores de varias variables como la altura significativa de las olas, el período pico de las olas, la dirección de las olas entrantes, los valores astronómicos de las mareas, los valores de las marejadas ciclónicas y el aumento del nivel del mar inducido por el cambio climático, entre otros. Para cada variable, se estima la distribución de probabilidad marginal. Luego, se genera un estado del mar aleatorio cuyos valores caen dentro de las distribuciones marginales, y el estado del mar se propaga hacia la costa utilizando un modelo numérico avanzado, como el modelo Delft3D-Wave o el modelo SWAN. Este proceso se repite durante muchas iteraciones hasta que se logran observaciones adecuadas para describir de manera confiable la variabilidad de los estados cercanos a la costa. Se sigue un procedimiento similar cuando se propaga un estado inicial del mar a través de un modelo predictivo. Más recientemente, se han desarrollado técnicas de inteligencia artificial para fines similares, donde se utilizan redes neuronales para predecir la disponibilidad de energía de las olas durante la vida útil de los parques undimotriz [27].

1.2. Formulación del Problema

¿Cómo se puede evaluar y cuantificar el potencial undimotriz en la costa de Pimentel, Perú, para la generación de energía eléctrica, utilizando herramientas estadísticas y modelos numéricos avanzados, considerando la necesidad de comprender en detalle las características y la variabilidad del movimiento ondulatorio en esa zona específica?

1.3. Hipótesis

El uso de herramientas estadísticas y modelos numéricos avanzados permitirá evaluar y cuantificar de manera precisa el potencial undimotriz en la costa de Pimentel, Perú, proporcionando un entendimiento detallado de las características y la variabilidad del movimiento ondulatorio, lo cual es crucial para la generación eficiente de energía eléctrica en esta zona específica.

1.4. Objetivos

Objetivo General

Evaluar el potencial undimotriz en la costa de Pimentel, Perú, para la generación de energía eléctrica, mediante el uso de herramientas estadísticas y modelos numéricos avanzados.

Objetivo Especifico

- Analizar las características del movimiento ondulatorio en la costa de Pimentel mediante la recopilación y procesamiento de datos climáticos y oceanográficos.
- Determinar la variabilidad temporal y espacial del potencial undimotriz en la región, utilizando herramientas estadísticas para identificar patrones y tendencias a largo plazo.

- Desarrollar y aplicar modelos numéricos avanzados para simular la propagación y el comportamiento de las olas desde alta mar hasta la costa cercana, evaluando su impacto en la generación de energía.
- Validar los resultados obtenidos a través de comparaciones con datos observacionales y estudios previos, asegurando la precisión y confiabilidad de las estimaciones del potencial energético.

1.5. Teorías relacionadas al tema

Cálculo del flujo energético de las olas

El flujo energético de las olas es una medida crucial para entender la creación, transmisión y disipación de las olas [28], [29]. El flujo, definido como la densidad de potencia de las olas por unidad de longitud de cresta, se calcula generalmente utilizando una función de densidad espectral de varianza, que describe la combinación de amplitudes, frecuencias y direcciones de las olas [30] [31], [32], [33].

$$P = \rho * g \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} C_g(f, d) S(f, \theta) df d\theta \text{ Ecuación 1}$$

donde P es el flujo de energía de las olas (kW/m); ρ es la densidad del agua de mar (kg/m^3), $\rho = 1025 \text{ kgm}^{-3}$; g es la aceleración gravitatoria (m/s^2); C_g es la velocidad de grupo de propagación de la energía de las olas (m/s); f es la frecuencia de las olas (Hz); d es la profundidad del agua (m); θ es la dirección de propagación de la onda ($^\circ$), definida como el ángulo de la brújula ($0-360^\circ$ en sentido horario desde el norte verdadero) desde donde provienen las ondas; y S es el espectro de onda [34], [35].

La potencia de onda por unidad de ancho transmitida por ondas irregulares se puede aproximar como [36], [37].

$$P = \frac{\rho g}{16} H_s C_g \text{ Ecuación 2}$$

$$C_g = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right) \frac{L}{T_e} \text{ Ecuación 3}$$

$$L = T_e \sqrt{\frac{g}{k} \tanh(kd)} \text{ Ecuación 4}$$

Dónde H_s es la altura de ola significativa; $k = 2\pi/L$ es el número de ola; L es la longitud de onda; T_e es el período de ola; $C_g = L/T_e$ es la celeridad de la onda; L , T_e y d están relacionadas a través de una ecuación de dispersión (es decir, la ecuación 4).

En aguas poco profundas ($d < L/2$), los efectos cercanos a la costa (por ejemplo, refracción, formación de bancos de arena y disipación del fondo y protección por la línea de costa o islas adyacentes) deben considerarse al calcular el flujo de energía de las olas (Iglesias et al., 2009). Como se presenta a continuación, la ecuación 5 se deriva de la ecuación 3 incorporando una ecuación explícita de dispersión de olas (es decir, ecuación 6) que relaciona k , d y T_e para reflejar los efectos. La ecuación 5 mejora significativamente la precisión de la estimación de la energía de las olas a varias profundidades del agua, especialmente en áreas de aguas poco profundas cercanas a la costa, en comparación con las ecuaciones tradicionales solo para aguas profundas [38]

$$C_g = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{g}{k} \tanh(kd)} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right) \text{ Ecuación 5}$$

$$\left(\frac{2\pi}{T_e} \right)^2 = gk \tanh(kd) \text{ Ecuación 6}$$

El número de onda k que varía con T_e y d es desconocido y debe estimarse antes de aplicar estas ecuaciones. Para lograr esto a escala macro, se construyen todas las combinaciones discretas de T_e y d y, para cada combinación distinta de cero, el valor óptimo de k se identifica mediante la ecuación 6 basada en la optimización paralela. El flujo de energía de las olas se puede obtener (como sigue) utilizando una matriz de valores k óptimos para todas las combinaciones de T_e - d :

$$P = \frac{\rho g}{32} H_s^2 \sqrt{\frac{g}{k}} \tanh(kd) \left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right) \text{Ecuación 7}$$

En aguas profundas ($d \geq L/2$), $\tanh(kd) \approx 1$; en consecuencia, la ecuación 7 se simplifica como:

$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_s^2 T_e \approx 0.49 H_s^2 T_e \text{Ecuación 8}$$

Juntas, las ecuaciones 7 y 8 pueden evaluar y caracterizar con precisión la variabilidad temporal y espacial de la energía de las olas tanto en aguas profundas como poco profundas. Además de generar series plurianuales de flujo de energía de las olas, las ecuaciones se aplican para calcular estadísticas (es decir, medias, desviaciones estándar y tendencias) del flujo para cada cuadrícula. Luego se calcula la frecuencia del flujo que excede los 2 kW/m, denotada como F_{media} , que es un indicador importante de los recursos de energía de las olas explotables [39]. Una F_{media} alta es propicia para la producción y entrega confiables de energía de las olas [40].

La estimación precisa de la potencia de las olas dependerá en gran medida de que las alturas de las olas se distribuyan según Rayleigh, y las posibles imprecisiones en el período tendrán un papel menor dado el exponente cuadrático de la altura de ola significativa en la ecuación 8.

II. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El estudio del potencial energético de las olas requiere una metodología rigurosa y precisa para evaluar la viabilidad y eficiencia de convertir la energía undimotriz en electricidad. Este método de investigación se basa en una serie de pasos sistemáticos que permiten estimar con precisión la potencia de las olas a partir de datos espectrales y parámetros característicos de las olas.

En primer lugar, se recopilan datos esenciales sobre las características de las olas, como altura, frecuencia y dirección. Estos datos permiten calcular la altura significativa de las olas (H_s), un parámetro crucial que se utiliza para describir la energía contenida en el movimiento de las olas. Posteriormente, se determina el período de energía (T_e), que representa el período de una onda sinusoidal con el mismo flujo de energía que el estado del mar.

La potencia de las olas (P) se calcula utilizando las ecuaciones derivadas de la función de densidad espectral de energía, lo que permite obtener una estimación precisa del flujo de energía por unidad de ancho del frente de ola. En aplicaciones específicas, puede ser preferible calcular la altura cuadrática media (H_{rms}), que se relaciona con la altura significativa de las olas a través de una distribución de Rayleigh. Esto proporciona una alternativa útil para ciertos contextos donde la altura cuadrática media es más relevante.

Finalmente, la visualización y el análisis de los datos recopilados y calculados permiten identificar patrones y variabilidades en la energía de las olas en diferentes ubicaciones y condiciones. Este enfoque integral no solo facilita una mejor comprensión del potencial

energético de las olas, sino que también sienta las bases para el desarrollo de tecnologías eficientes de conversión de energía undimotriz, contribuyendo así al avance de las energías renovables y la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles.

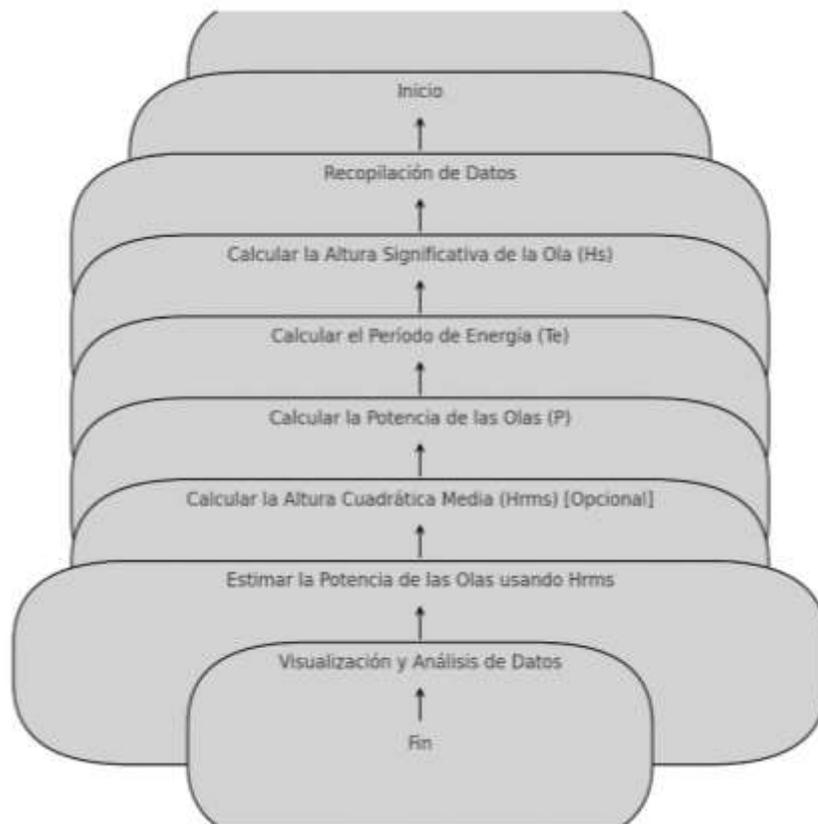


Fig. 1 Diagrama de flujo del método a usar

El diagrama de flujo describe los pasos del método de investigación para calcular la potencia de las olas a partir de la función de densidad de energía espectral.

Recopilación de Datos: Recolectar datos de las características de las olas, como altura, frecuencia, y dirección.

Calcular la Altura Significativa de la Ola (Hs): Utilizar los parámetros característicos de las olas y suponer una distribución de Rayleigh.

Calcular el Período de Energía (Te): Basarse en la función de densidad espectral de energía y suponer un espectro JONSWAP.

Calcular la Potencia de las Olas (P): Utilizar las ecuaciones correspondientes para obtener la potencia en función de H_s y T_e .

Calcular la Altura Cuadrática Media (Hrms): Derivar H_{rms} para aplicaciones específicas donde sea preferible.

Estimar la Potencia de las Olas usando Hrms: Calcular la potencia en términos de H_{rms} .

Visualización y Análisis de Datos: Presentar los resultados de la potencia de las olas en diferentes ubicaciones y condiciones.

III. RESULTADOS

3.1. Determinar las características del movimiento ondulatorio de las olas

A partir de los datos de la capitanía de puerto de Pimentel, específicamente el periodo de las olas y altura significativa de ola; se determinaron los valores de flujo de energía y energía total considerando las ecuaciones 3,4,5,6,7 y 8; siendo los valores promedio 53.49 kW/m y 6140.28 kJ/m² respectivamente durante los últimos 3 años

TABLA I.

PARÁMETROS DEL COMPORTAMIENTO Y ENERGÍA DE LAS OLAS

Año	Mes	Periodo de olas (Te) [s]	Longitud de Onda (L) [m]	Velocidad de traslación(C) [m/s]	Celeridad del grupo (Cg) [m/s]	Altura de Ola Significativa (Hs) [m]	Flujo de energía [kW/m]	Energía Total [kJ/m ²]
2021	Ene.	15	328.73	21.92	10.96	1.59	37.21	4178.33
	Feb.	15	328.73	21.92	10.96	1.39	28.44	3193.29
	Mar.	15	328.73	21.92	10.96	1.59	37.21	4178.33
	Abr.	16	374.03	23.38	11.69	1.96	60.31	7224.00
	May	16	374.03	23.38	11.69	2.04	65.33	7825.75
	Jun.	15	328.73	21.92	10.96	2.05	61.85	6945.70
	Jul.	16	374.03	23.38	11.69	1.89	56.08	6717.22
	Ago.	15	328.73	21.92	10.96	2.05	61.85	6945.70
	Sep.	16	374.03	23.38	11.69	1.95	59.70	7150.47
	Oct.	15	328.73	21.92	10.96	2.05	61.85	6945.70

	Nov.	16	374.03	23.38	11.69	2.25	79.48	9519.86
	Dic.	15	328.73	21.92	10.96	1.65	40.07	4499.62
	Ene.	15	328.73	21.92	10.96	1.59	37.21	4178.33
	Feb.	16	374.03	23.38	11.69	1.39	30.33	3633.25
	Mar.	15	328.73	21.92	10.96	1.59	37.21	4178.33
	Abr.	14	286.36	20.45	10.23	1.96	52.77	5530.88
	May	16		23.38	11.69	2.04	65.33	7825.75
	.		374.03					
2022	Jun.	15	328.73	21.92	10.96	2.05	61.85	6945.70
	Jul.	14	286.36	20.45	10.23	1.89	49.07	5142.87
	Ago.	16	374.03	23.38	11.69	2.05	65.98	7902.66
	Sep.	15	328.73	21.92	10.96	1.95	55.97	6284.60
	Oct.	16	374.03	23.38	11.69	2.05	65.98	7902.66
	Nov.	16	374.03	23.38	11.69	2.25	79.48	9519.86
	Dic.	15	328.73	21.92	10.96	1.65	40.07	4499.62
	Ene.	14	286.36	20.45	10.23	1.59	34.73	3639.79
	Feb.	15	328.73	21.92	10.96	1.39	28.44	3193.29
	Mar.	15	328.73	21.92	10.96	1.59	37.21	4178.33
	Abr.	16	374.03	23.38	11.69	1.96	60.31	7224.00
	May	16		23.38	11.69	2.04	65.33	7825.75
	.		374.03					
2023	Jun.	14	286.36	20.45	10.23	2.05	57.73	6050.48
	Jul.	15	328.73	21.92	10.96	1.89	52.57	5903.80
	Ago.	15	328.73	21.92	10.96	2.05	61.85	6945.70
	Sep.	16	374.03	23.38	11.69	1.95	59.70	7150.47
	Oct.	14	286.36	20.45	10.23	2.05	57.73	6050.48
	Nov.	16	374.03	23.38	11.69	2.25	79.48	9519.86

Dic.	15	328.73	21.92	10.96	1.65	40.07	4499.62
------	----	--------	-------	-------	------	-------	---------

3.2. Energía disponible utilizando los modelos matemáticos

En la tabla 2 se puede apreciar el valor máximo y mínimo para la altura de ola: 2.25 m y 1.39m respectivamente; para el periodo 16 s y 14 s respectivamente; además del valor máximo de 9519.86 kJ/m², valor mínimo de 3193.29 kJ/m² y 6140.28 kJ/m² promedio de energía disponible en los 3 últimos años en la costa de Pimentel.

TABLA II
ENERGIA DE OLAS

MES	Altura de Ola		
	Significativa	Periodo de olas (Te)	Energía Total
	(Hs) [m]	[s]	[kJ/m ²]
Ene.	1.59	15	4178.33
Feb.	1.39	15	3193.29
Mar.	1.59	15	4178.33
Abr.	1.96	16	7224.00
May.	2.04	16	7825.75
Jun.	2.05	15	6945.70
Jul.	1.89	16	6717.22
Ago.	2.05	15	6945.70
Sep.	1.95	16	7150.47
Oct.	2.05	15	6945.70

Nov.	2.25	16	9519.86
Dic.	1.65	15	4499.62
<hr/>			
Ene.	1.59	15	4178.33
Feb.	1.39	16	3633.25
Mar.	1.59	15	4178.33
Abr.	1.96	14	5530.88
May.	2.04	16	7825.75
Jun.	2.05	15	6945.70
Jul.	1.89	14	5142.87
Ago.	2.05	16	7902.66
Sep.	1.95	15	6284.60
Oct.	2.05	16	7902.66
Nov.	2.25	16	9519.86
Dic.	1.65	15	4499.62
<hr/>			
Ene.	1.59	14	3639.79
Feb.	1.39	15	3193.29
Mar.	1.59	15	4178.33
Abr.	1.96	16	7224.00
May.	2.04	16	7825.75
Jun.	2.05	14	6050.48
Jul.	1.89	15	5903.80
Ago.	2.05	15	6945.70
Sep.	1.95	16	7150.47
Oct.	2.05	14	6050.48
Nov.	2.25	16	9519.86
Dic.	1.65	15	4499.62
<hr/>			

La figura 2 muestra altura significativa de ola, periodo y energía total undimotriz disponible de los 3 últimos años en las costas de Pimentel determinadas por las ecuaciones 3, 5 y 8.

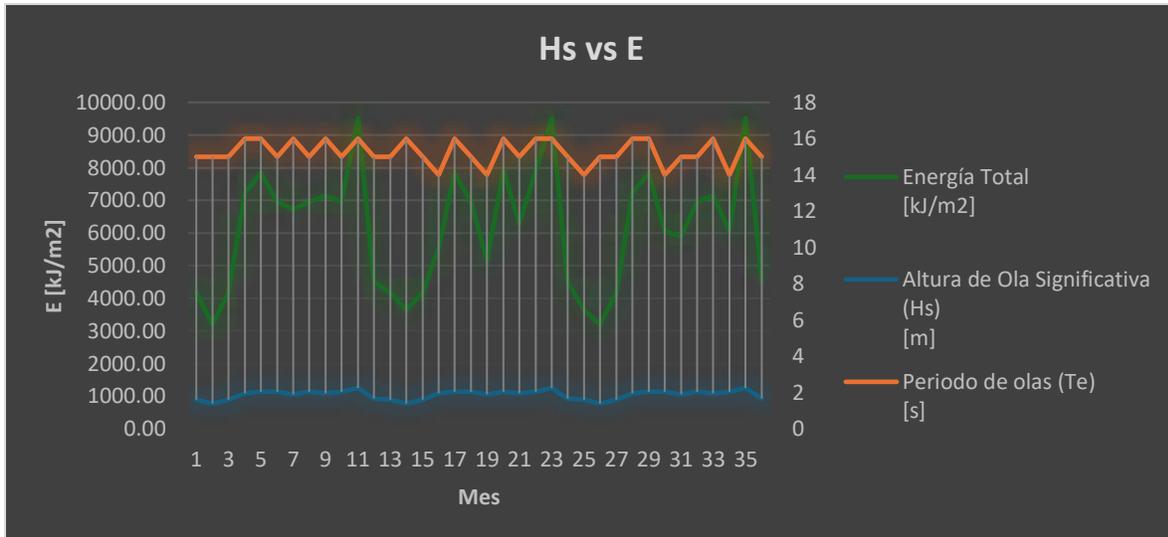


Fig. 2 Comportamiento de altura significativa de ola, periodo y energía total undimotriz disponible de los 3 últimos años

Altura de Ola significativa (Hs):

La altura de ola significativa se puede comparar en la figura 3 y figura 4 en la que se puede apreciar que para las costas de Pimentel bordea entre los 1.5 a 2.5 m anual según DIHODRANAVA, registrada en el 2023, dato que fue procesado para determinar la energía disponible en los últimos 3 años.

OLAS

CLIMATOLOGÍA ANUAL

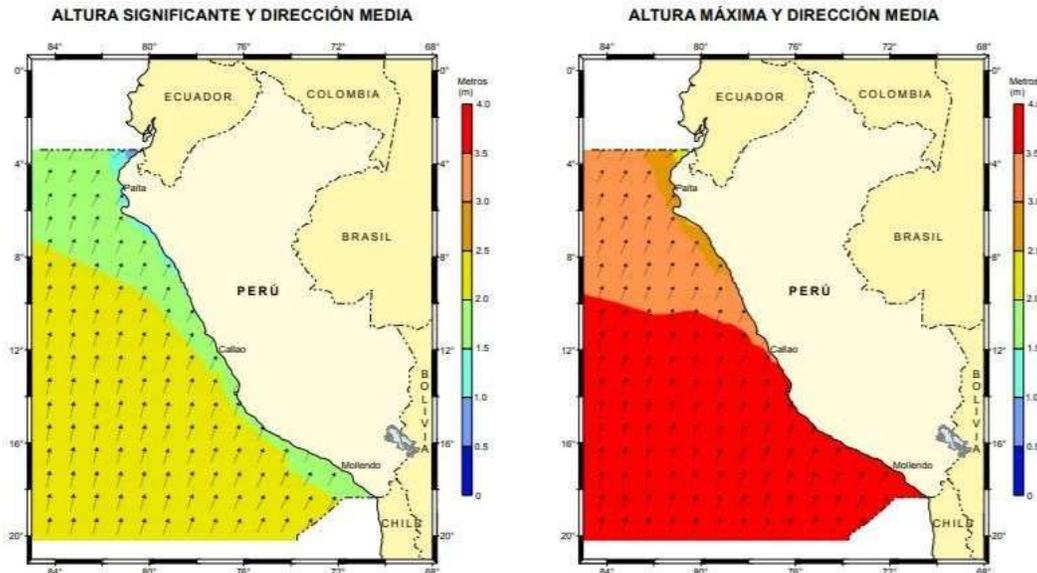


Fig. 3 Altura de Ola Significativa (H_s)

Periodo (T_e):

El conjunto de datos offshore fue discretizado primeramente en términos de la altura significativa de ola, H_s , y el periodo de energía, T_e . Dicha discretización se presenta en la Fig. 4 por medio de la matriz de recurso unidimotriz, donde los intervalos de energía son los siguientes: 1,5 m de altura significativa de ola y 15 s de periodo de energía. Esta matriz caracteriza la probabilidad de ocurrencia de cada intervalo de energía y su contribución a la energía anual total en un año promedio.

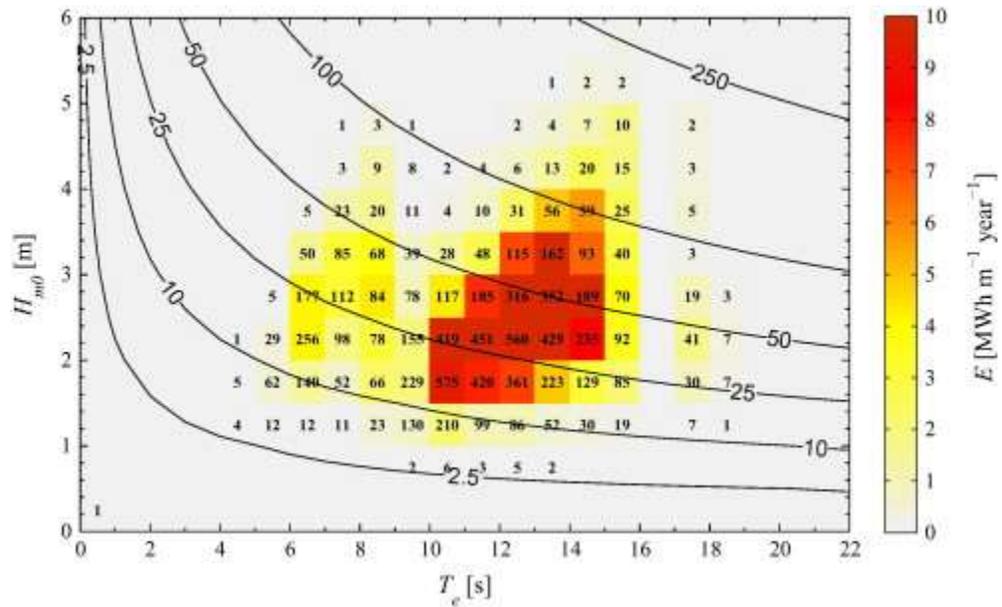


Fig. 4 Matriz H s vs. T E. Las líneas negras indican el flujo de energía de las olas [41]

La figura 5 ilustra el promedio anual del flujo de energía de las olas por metro de frente de ola a lo largo de las costas de Perú. El mapa revela una distribución espacial relativamente uniforme del recurso offshore, con valores de la potencia undimotriz media superiores a 17 kW. Se observa únicamente una pequeña disminución en la potencia media de las olas al norte de la Península de Paracas. Esta baja variabilidad espacial se debe a la gran profundidad del agua y a la ausencia de obstáculos, lo que resulta en mínimas pérdidas de energía durante la propagación.

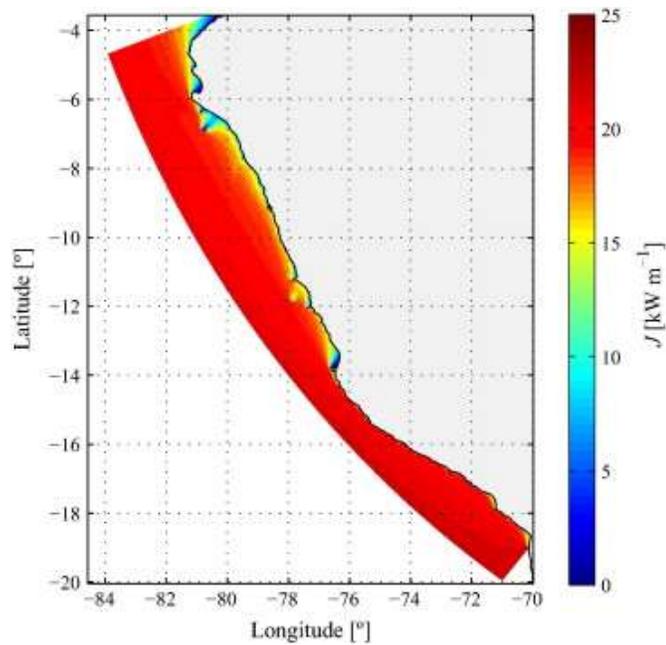


Fig. 5 Flujo medio de energía de las olas[41]

El puerto de Pimentel se encuentra ubicado con **Longitud:** -79.9341700; **Latitud:** -6.8366700 por tanto se tienen los siguientes datos comparativos.

TABLA III

COMPARACIÓN FLUJO MEDIO DE ENERGÍA Y ALTURA DE OLA SIGNIFICATIVA

Flujo medio de energía [kW/m]	Altura de Ola Significativa (Hs) [m]	Referencia
10 a 17	1.0 a 2.5	M. López 2015
10 a 20	2.0 a 4.0	A. Cornett 2008
10 a 20	1.5 a 2.5	A. Martinez 2020
10 a 17.83	1.4 a 2.3	Autores

La tabla 3 considera el cuadro comparativo del flujo de energía medio y la altura de ola

significativa en la que se puede apreciar que los datos comparativos con los autores M. López, A. Corpett y A. Martínez son cercano al resultado obtenido para el puerto de Pimentel en los últimos 3 años.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión:

Los resultados de este estudio se comparan favorablemente con investigaciones previas realizadas en otras regiones, que también han demostrado el potencial significativo de la energía undimotriz. Estudios anteriores han encontrado variabilidades similares en el potencial energético de las olas y han subrayado la importancia de utilizar modelos numéricos avanzados para predecir con precisión la disponibilidad de energía. Sin embargo, este estudio es uno de los pocos que se ha centrado en la costa peruana, proporcionando datos específicos y relevantes para esta región.

La metodología empleada, basada en herramientas estadísticas y modelos numéricos avanzados, se ha validado a través de comparaciones con datos observacionales y estudios internacionales, lo que refuerza la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos. Este enfoque metodológico no solo confirma el potencial energético de la costa de Pimentel, sino que también resalta la importancia de continuar explorando esta fuente de energía sostenible.

La discusión también destaca que, al igual que en otros estudios, los patrones de las olas y su consistencia juegan un papel crucial en el diseño y la implementación de sistemas de energía undimotriz. La validación de los métodos y resultados subraya la viabilidad de desarrollar proyectos de energía renovable en Perú, contribuyendo a la diversificación de la matriz energética y a la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles.

Conclusiones:

- El análisis de las características de las olas en la costa de Pimentel reveló que la altura significativa y el período de las olas son adecuados para la generación de energía undimotriz. Los datos recolectados mostraron una consistencia en los patrones de las olas que facilita la planificación y el diseño de sistemas de energía undimotriz.
- Los cálculos realizados indicaron que el flujo de energía promedio es de 17.83 kW/m y la energía total promedio es de 6140.28 kJ/m². Estos valores confirman un alto potencial energético en la región, suficiente para justificar la inversión en tecnologías de captación de energía undimotriz.
- La aplicación de herramientas estadísticas y modelos numéricos avanzados permitió obtener estimaciones precisas y confiables del potencial undimotriz en Pimentel. Los métodos empleados demostraron ser efectivos para predecir la disponibilidad de energía y su variabilidad, facilitando una evaluación detallada y robusta.
- La comparación de los resultados con estudios previos realizados en otras regiones del mundo validó los métodos empleados y confirmó la similitud en las variabilidades observadas en el potencial energético de las olas. Este estudio se distingue por ser uno de los pocos realizados en la costa peruana, proporcionando datos específicos y relevantes para el desarrollo de la energía undimotriz en esta área.
- Los resultados del estudio proporcionan una base sólida para el desarrollo de proyectos de energía renovable en Perú. La identificación de un considerable potencial energético undimotriz en la costa de Pimentel apoya la diversificación de la matriz energética del país y la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles. Además, se destaca la importancia de continuar la investigación y el desarrollo tecnológico en este campo para optimizar la explotación de la energía undimotriz y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

V. REFERENCIAS

- [1] S. M. Polinder H, «Wave energy converters and their impact on power systems,» *International Conference on Future Power Systems*, p. 9, 2005.
- [2] B. A. UNUSUAL, «BUSINESS AS UNUSUAL,» [En línea]. Available: <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/>.
- [3] S. M. Polinder H, «Wave energy converters and their impact on power systems, in 2005,» *International Conference on Future Power Systems*, p. 9.
- [4] S. Salter, «Wave power,» *Nature*, pp. 720-724, 1974.
- [5] H. B. M. B. O. Å. M. Leijon, «Economical considerations of renewable electric energy production—especially development of wave energy,» *Renewable Energy*, pp. 1201-1209, 2003.
- [6] R. C. G. Iglesias, «Wave resource in El Hierro—an island towards energy self-sufficiency,» *Renewable Energy*, pp. 689-698, 2011.
- [7] P. r. p. o. o. s. waves, «Panicker N.,» *Proceedings of the wave and salinity gradient workshop, Newark, Delaware, USA*, pp. 1-48, 1976.
- [8] P. M. A. F. A. F. F. G. K. H. e. a. A. Clément, «Wave energy in Europe: current status and perspectives,» *Renew Sustain Energy*, pp. 405-431, 2002.
- [9] R. B. S.C. Pryor, «Climate change impacts on wind energy: A review,» *Renew Sustain Energy*, pp. 430-437, 2010.
- [10] A. K. J. Falnes, «Ocean waves and oscillating systems: linear interactions including wave-energy extraction,» *Cambridge University Press*, 2020.
- [11] A. B. P. C. E.B. Mackay, «Uncertainty in wave energy resource assessment. Part 1: historic data,» *Renewable Energy*, pp. 1792-1808, 2010.
- [12] T. L. G. D. M. O'Connor, «Operational expenditure costs for wave energy projects and impacts on financial returns,» *Renewable Energy*, pp. 1119-1131,

2013.

- [13] A. d. A. P. S. C. V. I. L. R. Guanche, «Uncertainty analysis of wave energy farms financial indicators,» *Renewable Energy*, pp. 570-580, 2014.
- [14] G. I. S. Astariz, «The economics of wave energy: a review,» *Renew Sustain Energy Rev*, pp. 397-408, 2015.
- [15] A. d. A. P. S. C. V. I. L. R. Guanche, «Uncertainty analysis of wave energy farms financial indicators,» *Renewable Energy*, pp. 570-580, 2014.
- [16] F. M. I. L. B.G. Reguero, «Variability of multivariate wave climate in Latin America and the Caribbean,» *Global Planet Change*, pp. 70-84, 2013.
- [17] S. S. L. T. R. Alonso, «Wave energy resource assessment in Uruguay,» *Energy*, pp. 683-696, 2015.
- [18] M. V. G. I. M. López, «On the wave energy resource of Peru,» *Energy Convers Manage*, pp. 34-40, 2015.
- [19] L. M. A. M. G. Besio, «Wave energy resource assessment in the Mediterranean Sea on the basis of a 35-year hindcast,» *Energy*, pp. 50-63, 2016.
- [20] G. M. G. C. G. B. C. Lo Re, «Wave energy assessment around the Aegadian Islands (Sicily),» *Energies*, p. 333, 2019.
- [21] G. B. F. C. A. M. F. Ferrari, «Optimized wind and wave energy resource assessment and offshore exploitability in the Mediterranean Sea,» *Energy*, 2020.
- [22] F. F. A. M. G. B. A. Lira-Loarca, «Future wind and wave energy resources and exploitability in the Mediterranean Sea by 2100,» *Appl Energy*, 2021.
- [23] A. B. P. C. E.B. Mackay, «Uncertainty in wave energy resource assessment. Part 2: Variability and predictability,» *Renewable Energy*, pp. 1809-1819, 2010.
- [24] R. B. M. O.-S. A. López-Ruiz, «The importance of wave climate forecasting on the decision-making process for nearshore wave energy

- exploitation,» *Appl Energy*, pp. 191-203, 2016.
- [25] R. B. A. L.-L. M. O.-S. A. López-Ruiz, «A methodology for the long-term simulation and uncertainty analysis of the operational lifetime performance of wave energy converter arrays,» *Energy*, pp. 126-135, 2018.
- [26] R. B. J. R.-C. M. O.-S. A. López-Ruiz, «Towards an optimum design of wave energy converter arrays through an integrated approach of life cycle performance and operational capacity,» *Appl Energy*, pp. 20-32, 2018.
- [27] R. B. C. Rodriguez-Delgado, «Wave energy assessment under climate change through artificial intelligence,» *Sci Total Environ*, 2021.
- [28] M. A. , E. K. J. D. Nash, «Estimación de los flujos de energía de las olas internas en el océano,» *J Atmos Ocean Technol*, pp. 1551-1570, 2005.
- [29] N. Guillou, «Estimating wave energy flux from significant wave height and peak period,» *Renew Energy*, p. 2020, 1383-1393.
- [30] J. Z. J. M. J. W. Y. Wan, «A wave energy resource assessment in the China's seas based on multi-satellite merged radar altimeter data,» *Acta Oceanol Sin*, pp. 115-124, 2015.
- [31] A. Cornett, «Inventory of Canada's marine renewable energy resources,» *Canadian Hydraulics Centre, National Research Council of Canada*, 2006.
- [32] M. L. R. C. A. C. J. F. P. F. G. Iglesias, «Wave energy potential in Galicia (NW Spain),» *Renew Energy*, pp. 2323-2333, 2009.
- [33] F. O. L. Rusu, «The performance of some state-of-the-art wave energy converters in locations with the worldwide highest wave power,» *Renewable Sustainable Energy Rev*, pp. 1348-1362, 2017.
- [34] J. Z. , J. M. , J. W. Y. Wan, «A wave energy resource assessment in the China's seas based on multi-satellite merged radar altimeter data,» *Acta Oceanol Sin*, pp. 115-124, 2015.

- [35] A. Cornett, «Inventory of Canada's marine renewable energy resources,» *Canadian Hydraulics Centre, National Research Council of Canada*, 2006.
- [36] G. H. G. S. A. Cornett, «Inventario de los recursos de energía renovable marina de Canadá,» *Centro Canadiense de Hidráulica, Consejo Nacional de Investigación de Canadá*, 2006.
- [37] K. H. ,. V. N. S. Ahn, «Wave energy resource characterization and assessment for coastal waters of the United States,» *Appl Energy*, 2020.
- [38] H. G. A. R. K. Mahmoodi, «Temporal and spatial characteristics of wave energy in the Persian Gulf based on the ERA5 reanalysis dataset,» *Energy*, 2019.
- [39] H. G. A. R. M. S. S. K. K. Mahmoodi, «Temporal and spatial characteristics of wave energy in the Persian Gulf based on the ERA5 reanalysis dataset,» *Energy*, 2019.
- [40] S. D. Z. W. C. S. Y. Lin, «Wave energy assessment in the China adjacent seas on the basis of a 20-year SWAN simulation with unstructured grids,» *Renew Energy*, 2019.
- [41] T. Wilberforce, E. T. Sayed, M. A. Abdelkareem, M. Mahmoud y A. G. Olabi, «sciencedirect,» [En línea]. Available: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95211-8.00015-4>.

ANEXOS

NOMBRE DEL TRABAJO

**AVELLANEDA Y PEREZ HERNANDEZ_TU
RNITIN.docx**

AUTOR

lenin saul y piero andre Avellaneda Vasquez y Perez Hernandez

RECUENTO DE PALABRAS

3999 Words

RECUENTO DE CARACTERES

20833 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

21 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

381.6KB

FECHA DE ENTREGA

Sep 23, 2024 2:57 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 23, 2024 2:58 PM GMT-5**● 9% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)
- Material citado



**ACTA DE CONTROL DE REVISIÓN DE
SIMILITUD DE LA INVESTIGACIÓN**

Código:	F3.PP2-PR.02
Versión:	02
Fecha:	18/04/2024
Hoja:	1 de 1

Yo, **Silvia Yvone Gastiaború Morales**, Coordinadora de Investigación del Programa de Estudios de Ingeniería Mecánica Eléctrica, he realizado el control de originalidad de la investigación, el mismo que está dentro de los porcentajes establecidos para el nivel de Pregrado, según la Directiva de similitud vigente en USS; además certifico que la versión que hace entrega es la versión final de la Trabajo de Investigación titulado: **EVALUACIÓN DEL POTENCIAL UNDIMOTRIZ EN LA COSTA DE PIMENTEL PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA** elaborado por el (los) Bachiller(es):

AVELLANEDA VASQUEZ LENIN SAUL

PEREZ HERNANDEZ PIERO ANDRE

Se deja constancia que la investigación antes indicada tiene un índice de similitud del **09%**, verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el software de similitud TURNITIN.

Por lo que se concluye que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con lo establecido en la Directiva sobre índice de similitud de los productos académicos y de investigación vigente.

Pimentel, 23 de setiembre de 2024

Dra. Gastiaború Morales Silvia Yvone

Coordinador de Investigación

DNI N° 16481433