

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO HENRÍQUEZ UREÑA
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Propuesta para el aprovechamiento de la energía undimotriz caso práctico playa Macao.

Sustentantes:

Ashley Miriel Medina Rodríguez 14-2102

Jorge Adriel Mercedes Paredes 16-1823

Asesor:

Ing. César Elías Mercedes Frías

Fecha:

Agosto del 2021

Santo Domingo, D.N.

**Propuesta para el aprovechamiento de la energía undimotriz caso
práctico playa Macao.**

Agradecimientos y dedicatorias

En primer lugar, quiero agradecer a **Dios** todo poderoso quien por su increíble misericordia nos tiene aquí con vida y en salud a pesar de todas las cosas malas que han sucedido en el mundo.

Gracias, mi Dios por darme las fuerzas para seguir adelante.

A mi padre, **Jorge Tomas Mercedes Mariano**, por siempre estar ahí y más que un padre ser un amigo para mí, siempre dándome los mejores consejos y apoyándome en cada cosa que he necesitado. Gracias por inspirarme y enseñarme a siempre andar por la derecha y a no hacer nada que haga que te sientas avergonzado de mí.

A mi adorada madre, **Ramona Paredes de Mercedes**, Por ser la persona que más me ha amado en la vida y nunca juzgarme bajo cualquier situación, siempre me diste fuerzas para seguir adelante. Gracias por tus buenos deseos y tus consejos.

A mi hermano, **Jorge Tomas Mercedes Paredes**, por siempre estar ahí desde del día uno.

A mi compañera de tesis, **Ashley Miriel Medina**, por confiar en mí para hacer juntos este trabajo de grado, mi amiga desde el colegio y un honor para mí presentar este trabajo de grado junto a ti.

A mi asesor de trabajo de grado, **Ing. Cesar Mercedes**, por darnos el sí desde que le pedimos que nos guiara durante este proceso, por siempre estar a nuestras ordenes cuando lo necesitábamos más y por ser ese soporte para que todo esto que un día se sonó, hoy sea una realidad.

A mis padrinos, **Elvis Pérez y Roció Medina**, por ser mis segundos padres y padrinos desde el día que nací.

A mi prima y más que eso mi hermana, **Maricarmen Pérez Medina**, por ser la hermana que no tenía y siempre ser mi confidente y un gran soporte.

A mi prima, **Nicaurys Paredes**, por ayudar a mi madre a mi crianza mientras ella trabajaba, gracias por tu apoyo en la edad que más se necesita.

A mi gran amigo, **Isaac Ramiro Espino Cordero**, por ser un amigo y hermano para mí, una persona importantísima en mi desarrollo dentro y fuera de la universidad, gracias por ser mi amigo.

A mis compañeros del equipo de beisbol universitario, **Los Búhos de la UNPHU**, por ser partes de mi desarrollo como atleta y profesional, gracias por los buenos momentos dentro y fuera del terreno. Gracias a mi entrenador, **Leonardo Baldera**, por confiar en mí para ser parte de esta familia deportiva.

Quiero agradecer a la persona que más se ha esforzado para que todo esto sea una realidad, **YO**, quiero agradecerme por nunca rendirme, por siempre llevarme de los consejos de las personas que me rodeaban, por siempre seguir adelante, por levantarme cuando muchos pensaron que ya no lo haría, por siempre confiar en mí mismo y sobre todo por ser lo suficientemente fuerte para culminar este gran paso en mi vida.

Por último, pero no menos importante quiero agradecer al **Beisbol**, un deporte que me lo ha dado todo, mi pasión desde niño, gracias por tantos bellos momentos y gracias a ti tuve la oportunidad de obtener una beca en una de las universidades más prestigiosas de mi país.

Jorge Adriel Mercedes Paredes

Agradecimientos y dedicatorias

A Dios:

Gracias, señor por permitirme cumplir otro logro más, por siempre bendecirme en el trayecto de mi vida completa, por ser mi guía en este camino recorrido. Sin ti no hubiera podido lograr nada. No tengo duda que estoy entre tus hijas favoritas.

A mis padres. (Frank Medina y Yanet Rodríguez)

Agradezco a mis padres por siempre dar lo mejor de ellos para que podamos seguir adelante, Dios me bendijo al darme unos padres como ustedes que con sus virtudes y defectos son perfectos para mí. Gracias mami por siempre decirme que me ponga a estudiar porque tenía examen y que no saliera tanto. Gracias papi por tratar de explicarme casa pregunta o duda que tenía, ahora te puedo llamar colega.

Mis hermanos (Frank Carlos Medina y Laurent Medina)

Gracias por siempre llevarme o buscarme a la universidad cada vez que lo necesitaba, a mi hermana Laurent por prestarme desde su vehículo hasta su computadora para poder terminar este camino recorrido o este logro más en mi vida. A mi hermano “FC” por siempre tratar de cuidarme, ayudarme con alguna pregunta o aconsejándome.

Mi novio (Kristopher Guzmán)

Gracias, mi amor por siempre estar ahí en mis momentos de caos y tratar de calmarme incluso cuando me ponía a llorar por cualquier razón y era el estrés de la tesis. Por darme tu amor y tu apoyo incondicional y por relajarme diciéndome mira a mi Bob construye. Te Amo

Mi compañero de tesis (Jorge Adriel Mercedes)

Papa Dios yo te pedí un compañero de tesis normal que no fuera loco, pero yo creo que te equivocaste, jajaja. Gracias por ser mi compañero de tesis, por confiar en mí y lograr hacer un excelente trabajo de grado, por ponerme un turbo ya que la querías hacer en 2 semanas, por decirme hoy nos toca acostarnos tarde trabajando en ella y sobre todo por decirme después de yo pasarme un fin de semana feliz y boncheando. “¿Gozaste mucho en el fin de semana? Que bien, hoy nos toca, y me mandas x capítulo completo”.

Mi asesor (Cesar Mercedes)

Gracias por su entrega y dedicación, por guiarme al camino del éxito, por siempre confiar y creer en mí, sobre todo por aconsejarme en todo este largo trayecto.

Mi mejor amigo (Roberto Rodríguez)

Gracias a mi bilingüe rojo por tener estos 8 años de pura amistad, por siempre aconsejarme e impulsarme a que termine mis estudios, cada vez que hablábamos siempre era “ven acá y la uní qlq con ella” y sobre todo por siempre entender cuando me perdida un coro (que fueron muy pocos) porque tenía examen y tenía que ponerme a estudiar.

Mis amigas

Yissel Rodríguez, Marlem Elivo, Luisanna Vázquez, Karla Estrella y Marjorie Duverge, gracias, amigas, ustedes siempre están ahí para verme y apoyarme en un logro más de mi vida, por aconsejarme tanto en los estudios como en mi vida diaria. Aunque no todas tienen el mismo tiempo perteneciendo a mi vida a todas les guardo un cariño especial.

Por último, pero no menos importantes

Gracias al Team lindura, Junior Gil, Kiara Padilla, Ramón Mercedes. Por más que ser mis compañeros tal vez podría decir que son mi segunda familia, estaré siempre agradecida por todo lo que hicieron por mí como explicarme con cucharita algún ejercicio A todos los recordare siempre.

Ashley Miriel Medina Rodríguez

ÍNDICE

ÍNDICE	1
INTRODUCCION	1
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 ¿Que se dice del problema?	2
1.1.1 ¿Puede aprovecharse la energía de las olas?	3
1.2. Formulación del problema	4
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo General	4
1.3.2. Objetivos Específicos.....	4
1.4. Justificación	5
1.5. Antecedentes	5
1.5.1. Antecedentes Teóricos.....	5
1.6. Alcances y limitaciones.....	8
1.6.1. Alcances	8
1.6.2. Limitaciones.....	8
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	9
2.1 Marco Teórico	9
2.1.1 Agua de mar	9
2.1.2 Las olas	9
2.1.3 Formación y características del oleaje	9

2.1.4 Técnicas de observación	12
2.1.5 Altura y Periodo	12
2.1.6 Energía del oleaje.....	14
2.1.7 Potencia máxima absorbida	15
2.2 Dispositivo de captación.....	17
2.3 La energía.....	17
2.3.1.1 Energía mecánica	17
2.3.1.2 Energía potencial	18
2.3.1.3 Energía cinética.....	18
2.3.1.4 Energía interna	18
2.3.1.5 Energía eléctrica.....	18
2.3.1.6 Energía térmica	18
2.3.1.7 Energía electromagnética.....	19
2.3.1.8 Energía química	19
2.3.1.9 Energía nuclear	19
2.3.2 Propiedades de la energía.....	19
2.3.3 Transferencia de energía	20
2.3.3.1 Trabajo	20
2.3.3.2 Ondas	20
2.3.3.3 Calor.....	20
2.4 La energía olamotriz	21

2.5 Sistemas de Conversión	21
2.6 Sistema Atenuador	21
2.6.1 Dispositivos desbordantes.....	23
2.7 Marco Conceptual.....	25
2.8 Marco contextual o delimitación del área de estudio.....	25
2.8.1 Localización del área de estudio	25
2.8.1.1 Playa Macao.....	26
2.8.1.2 Provincia La Altagracia.....	27
• Geografía.....	27
• Economía	27
• División administrativa.....	28
2.8.1.3 Municipio de Higuey	28
• Etimología.....	30
• Localización	30
2.8.1.4 Punta cana	30
• Clima.....	31
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	32
3.1. Enfoque de la investigación.....	32
3.2. Tipo de investigación	32
3.2.1 De acuerdo al análisis global	32
3.2.2 Según el objetivo.....	32

3.2.3 Según la recogida de datos.....	32
3.3. Procedimiento de la investigación	33
3.4 Método de Investigación.....	33
3.5. Técnicas de investigación	34
CAPÍTULO IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACION	35
4.1 Estado actual de la energía renovable en República Dominicana	35
4.1.1 Energía renovable	35
4.1.2.1 Ventajas de la energía renovable.....	40
4.1.2.2 Retos	41
4.1.2.3 Oportunidades.....	43
4.1.2.4 Iniciativas de energía renovable.....	45
4.2 Potencial energético en Playa Macao	46
4.2.1 Características de la energía undimotriz	46
4.2.3 Posible Ubicación de columnas de agua oscilante (OWC).....	48
4.3 Diferentes métodos de captación de la energía undimotriz	48
4.3.1 Conversores de energía del oleaje (OWC).....	48
4.3.1.1 Características de los OWC	50
4.3.1.2 Conversión primaria.....	51
4.3.1.3 Conversión secundaria	51
4.3.1.4 Método de captación.....	52
4.3.2 Centrales construidas	53

4.3.2.1 Salter's duck. Gran Bretaña	53
4.3.2.2 Wave energy plant OWC. Portugal.....	54
4.3.2.3 Equipo OWC N° 6. Irlanda-EUA	57
4.3.2.4 Mutriku, España.....	59
4.3.2.5 Opera. Unión Europea	60
4.4 Dispositivo a utilizar	61
4.4.1 Resultados obtenidos	64
BIBLIOGRAFIA	68
Anexos	70

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros climáticos promedios de Punta Cana.....	32
Tabla 2: Ficha técnica Turbina Wells.....	65
Tabla 3: Características constructiva de la cámara.....	65
Tabla 4: Resultados promedios de aprovechamiento de la energía undimotriz en el año 2019...67	
Tabla 5: Resultados promedios de aprovechamiento de la energía undimotriz en el año 2020...67	

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Definición de una ola a partir de su perfil $\eta(t)$ con cruces descendientes de elevación cero (arriba) y ascendentes de elevación cero (abajo).....	10
Figura 2: Frecuencias y periodos de los movimientos verticales de la superficie oceánica...11	11
Figura 3: Definición de altura y periodo en una ola.....13	13
Figura 4: Potencia máxima absorbida.....15	15
Figura 5: Pelamis P2 desarrollado y probado en UK. Potencia nominal 0,75MW.....23	23
Figura 6: Wave Dragon desarrollado y probado en Dinamarca. Potencia nominal 11MW.24	24
Figura 7: Playa del Macao Location Maps..... 25	25
Figura 8: Provincia de La Altagracia (República Dominicana).....26	26
Figura 9: La Altagracia - Enciclopedia Dominicana SOS.....28	28
Figura 10: Límites del municipio de Higüey.....29	29
Figura 11: Mapa de Punta Cana, Republica Dominicana.....30	30
Figura 12: Parques solares Fotovoltaicos.....38	38
Figura 13: Energía renovable del sistema eléctrico nacional interconectado.....40	40
Figura 14: Evolución de la matriz de generación de energía eléctrica en R.D.....42	42
Figura 15: Matriz de generación en el 2018.....44	44
Figura 16: Potencia en KW por metro de ancho de ola47	47
Figura 17: Playa Macao altura de ola en metros.....48	48
Figura 18: Playa Macao energía en KJ/M.....49	49

Figura 19: Imagen satelital de Punta Macao.....	50
Figura 20: Sistema OWC.....	51
Figura 21: Potencia en KW por metro de ancho de ola	54
Figura 22: Ensayo en laboratorio y Esquema de funcionamiento.....	55
Figura 23: OWC Pico Plant, Azores. Perspectiva lateral y vista trasera	57
Figura 24: Esquema de una Turbina Wells	58
Figura 25: Equipo N°6 – OWC.....	59
Figura 26: Esquema BBDB.....	60
Figura 27: Tecnología OWC empleada en Mutriku	61
Figura 28: Conjunto Turbina – Generador	62
Figura 29: Esquema de prueba	63
Figura 30: Nereida MOWC de Mutriku.....	65
Figura 31: Vista de punta Macao.....	72
Figura 32: Costa de Punta Macao.....	72
Figura 33: Consorcion Energetico Punta Cana-Macao.....	73
Figura 34: Entrada hacia playa Macao.....	73
Figura 35: Costa de playa Macao.....	74
Figura 36: Playa punta Macao.....	74

Figura 37: Playa Macao.....75

Figura 38: Destacamento policial playa Macao.....75

INTRODUCCION

Desde hace años se utilizan los recursos energéticos no renovables, tal cual es el caso del carbón, el petróleo y el gas. Estos han sido empleados de manera frecuente a fin de satisfacer la demanda mundial de energía. Esta situación ha beneficiado a la población en general, pero es también una de las causas del cambio de las condiciones climáticas en el planeta.

La mayor parte de la contaminación ambiental es el producto de la quema generada por los combustibles fósiles, tanto por los vehículos como por los procesos industriales y sobre todo la generación de energía eléctrica.

El aumento de los gases de efecto invernadero producen cambios en el clima. La modificación más relevante la representa el incremento de la temperatura global. Por otro lado, se están experimentando el incremento en la frecuencia de sequias, huracanes e inundaciones aun en lugares donde no se registraban esos fenómenos.

La disminución de las reservas mundiales hace peligrar el desarrollo energético no renovable. La utilización de las energías renovables permitirá un gran cambio de las condiciones de vida de la humanidad ya que los efectos sobre el medio ambiente son muy bajos y su provisión es inagotable.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ¿Que se dice del problema?

El petróleo, gas y carbón son fuentes tradicionales de energía que han ido disminuyendo al pasar los años. La combustión en grandes cantidades de estos recursos produce severos efectos sobre el clima y pueden resultar altamente contaminantes, esta es la razón por la cual en el futuro la humanidad necesitara de otras alternativas para obtener energía, estas fuentes serán la energía hidráulica, eólica, solar, geotérmica. Los océanos proveen energía a partir de las mareas (mareomotriz) y de las ondas marinas, conocida como energía undimotriz. Todas estas provienen de fuentes renovables y limpias. En término global el 94% de la producción de energía mundial proviene de fuentes renovables y en nuestro país solamente el 8% de la producción de energía corresponde a fuentes renovables.

La energía de las ondas aparece como alternativa consistente basada en la energía que llevan las ondas a lo largo de los océanos del mundo. La energía se genera a partir de la acción del viento en la superficie del mar.

La energía undimotriz es la energía que permite obtener electricidad a partir de energía mecánica generada por el movimiento de las olas. Es uno de los tipos de energías renovables con más recientes estudios, y presenta enormes ventajas frente a otras energías renovables debido a que se tendría mayor facilidad para predecir condiciones geológicas óptimas que permitan la mayor eficiencia en sus procesos. Debido a que es más fácil llegar a predecir condiciones

óptimas del oleaje, en comparación con la obtenida con los vientos para obtener energía eólica, donde su variabilidad es menor.

La energía undimotriz no está contemplada en el actual Plan de Energías Renovables (PER) 2005-2010, pero en el Plan de Energías Renovables 2011-2020 ya se considera la energía de las olas como fuente de energía renovable.

1.1.1 ¿Puede aprovecharse la energía de las olas?

Agitadas por el viento, las olas se mueven en un vaivén constante, cuya energía podría aprovecharse. Es lo que se conoce como energía undimotriz, o lo que es lo mismo, la forma de captación energética que se nutre del oleaje.

La cosa no es sencilla, porque en una ola se esconden tres tipos de energía: dos producidas por los cambios de empuje en las dos fases de su movimiento: cresta (al ascender y caer), seno (al sumergirse y volver a emerger) y una tercera nacida de su desplazamiento. Entre los sistemas que intentan aprovechar la energía de las olas, uno ha sido desarrollado en España. Bautizado como Pysis, es capaz de aprovechar al máximo todo ese potencial energético.

El dispositivo está formado por una serie de boyas de 12 metros de longitud, conectadas por un sistema de transmisión a unos depósitos invertidos que llenos de aire, ofrecen resistencia ante los movimientos de la ola y aprovechan esa fuerza para producir energía. Pese a que las boyas están conectadas, funcionan autónomamente, de manera que cada una aprovecha el estado de la

ola en función de su posición. Según sus creadores, un generador de 10 grupos de boyas en el Atlántico generará 19,8 Gwh al año, el equivalente a un generador eólico, pero la energía undimotriz es una fuente más predecible y constante pues se calcula que por cada hora de viento se pueden tener entre 2 y 2.5 de oleaje.

1.2. Formulación del problema

- ¿Cuál es el estado actual de las energías renovables en la Republica Dominicana?
- ¿Cuál será la zona donde se captará y se aprovechará la energía undimotriz en República Dominicana?
- ¿Cuáles son las distintas tecnologías existentes para el aprovechamiento de la energía undimotriz?
- ¿Cuál será el método y la instrumentación que se utilizaría para la captación de la energía?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Propuesta de una columna de agua oscilante para el aprovechamiento de la energía undimotriz caso practico playa Macao.

1.3.2. Objetivos Específicos

- 1) Investigar el estado actual de las energías renovables en la República Dominicana.
- 2) Seleccionar la zona donde se podría captar energía undimotriz en la República Dominicana.
- 3) Estudiar las distintas tecnologías existentes o en desarrollo para aprovechar la energía undimotriz.

- 4) Seleccionar la tecnología a utilizarse para la captación de energía undimotriz

1.4. Justificación

El incremento de la demanda energética y el cambio climático a nivel mundial ha suscitado la búsqueda de fuentes alternativas que cubran esta necesidad y que sean amigables con el medio ambiente. La energía undimotriz, aquella que se obtiene mediante el movimiento de las olas es una alternativa emergente que se encuentra en etapa de desarrollo tecnológico y cuyo potencial energético puede ayudar a suplir el aumento de la demanda. La propuesta de este trabajo es desarrollar una estrategia de diseño de una planta de energía undimotriz para la conversión del potencial energético de las olas en potencia eléctrica. En primera instancia se realiza una revisión del estado del arte para estudiar las características del oleaje y seleccionar los elementos fundamentales que componen una planta de generación undimotriz, principalmente para la etapa de captación y conversión de la energía.

1.5. Antecedentes

1.5.1. Antecedentes Teóricos

En la zona de investigación no se han presentado hasta la fecha una propuesta de aprovechamiento de la energía undimotriz.

Agitadas por el viento, las olas se mueven en un vaivén eterno, cuya energía podría aprovecharse. Es lo que se conoce como energía undimotriz, o lo que es lo mismo, la forma de captación energética que se nutre del oleaje.

La cosa no es sencilla, porque en una ola se esconden tres tipos de energía: dos producidas por los cambios de empuje en las dos fases de su movimiento: cresta (al ascender y caer), seno (al sumergirse y volver a emerger) y una tercera nacida de su desplazamiento. Entre los sistemas que intentan aprovechar la energía de las olas, uno ha sido desarrollado en España. Bautizado como Pysis, es capaz de aprovechar al máximo todo ese potencial energético.

El dispositivo está formado por una serie de boyas de 12 metros de longitud, conectadas por un sistema de transmisión a unos depósitos invertidos que llenos de aire, ofrecen resistencia ante los movimientos de la ola y aprovechan esa fuerza para producir energía. Pese a que las boyas están conectadas, funcionan autónomamente, de manera que cada una aprovecha el estado de la ola en función de su posición. Según sus creadores, un generador de 10 grupos de boyas en el Atlántico generará 19,8 Gwh al año, el equivalente a un generador eólico, pero la energía undimotriz es una fuente más predecible y constante pues se calcula que por cada hora de viento se pueden tener entre dos y dos y media de oleaje.

El enfoque de la viabilidad tecnológica, económica y el mantenimiento de una posición vital para la industria europea en este sector presuponen una estrategia coherente y global para la energía de las olas a nivel nacional y de la Unión Europea.

Tanto la costa de Portugal como las islas Azores se encuentran entre las zonas del mundo con mayor potencial de energía undimotriz. Debido a esto Portugal está siendo uno de los países más centrados en el aprovechamiento energético del oleaje. Entre los proyectos cabe citar el proyecto

de Actuadora, con tres dispositivos Pelamis que cuentan con una potencia instalada total de 2,25 MW, a los que hubo que llevar a cabo mejoras estructurales y de diseño una vez ya instalados. Portugal también cuenta con una planta experimental que utiliza la columna de agua oscilante en la isla de Pico, Azores.

Uno de los primeros que consiguió ser un pionero en el aprovechamiento de la energía de las olas, fue Yoshida, un japonés que en 1945 pudo realizar un ensayo en el mar. A partir de 1960, desarrolla un sistema neumático que permite cargar unas baterías en las boyas de navegación, con una turbina de aire de 60W.

Una investigación del aprovechamiento de la energía de las olas a mayor escala, no se produce hasta 1974, en Reino Unido, donde se estudian complejos y modernos sistemas para grandes aprovechamientos, actividad que es abandonada por completo prácticamente en 1982 por problemas económicos. El aprovechamiento de las olas vuelve a resurgir en Dependencia energética y energía undimotriz en España: El gran potencial del mar Europa y Japón a mediados de los años ochenta del siglo XX. Sin embargo, a partir de los años noventa, numerosas empresas en diferentes lugares del mundo comienzan a involucrarse en el diseño y desarrollo de aparatos de aprovechamiento de la energía de las olas. Algunos ejemplos son: AquaEnergy Group (EEUU), Archimedes Wave Swing (Países Bajos), Energetech Australia (Australia), Ocean Power Delivery y Wavegen (Reino Unido) ... A pesar de su gran historia, el desarrollo de energías marinas no ha comenzado por la energía undimotriz, incluso sabiéndose que tiene el mayor potencial, sino que se encuentran en fase comercial otras energías como la mareomotriz.

Sin embargo, en la costa de Sotenäs, Suecia, se encuentra una de las plantas pioneras del mundo de energía undimotriz conectada a la red comercial (Fernández Díez, 2000; Chikome, 2017).

1.6. Alcances y limitaciones

1.6.1. Alcances

Esta investigación solo abarca el estudio y evaluación de la potencia en la captación y conversión de la energía undimotriz, lo que se llevará a cabo dimensionando y seleccionando todos los componentes eléctricos para la transformación de la energía de las olas en potencia eléctrica a través de una columna de agua oscilante.

1.6.2. Limitaciones

Esta investigación está limitada a la propuesta para la colocación de una columna de agua oscilante para el aprovechamiento de la energía undimotriz ubicada en playa Macao, por ende no contempla cálculos de presupuesto ni estudios de impacto ambiental de modo específico.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Agua de mar

El agua de mar o agua salada es una disolución hecha o basada en agua que compone los océanos y mares de la Tierra. Es salada por la concentración de sales minerales disueltas que contiene, un 3,5 % es decir en cada litro de agua (1000 gramos) hay 35 gramos de sales disueltas, como media.

2.1.2 Las olas

Son ondas que se desplazan a través de la superficie de mares, océanos, ríos, lagos, canales, etc.

2.1.3 Formación y características del oleaje

Una “elevación de superficie” en términos del oleaje es una elevación de la superficie marina en un determinado instante de tiempo, partiendo de esto una ola se define como un perfil de elevación entre dos cruces descendentes o ascendentes de elevación de superficie cero (ver Figura 1). De acuerdo con Holthuijsen, es posible clasificar el oleaje en términos del periodo o frecuencia, como se puede observar en la Figura 2. Las olas más largas son las trans-tidal, generadas por las bajas frecuencias en las fluctuaciones de la corteza terrestre. Surges son elevaciones de la superficie marina a gran escala en una tormenta severa. Los tsunamis son olas generadas por terremotos difícilmente de predecir. Las olas de infra-gravedad son grupos de olas generadas por el viento como por ejemplo las olas que se presentan en la zona de surf en la playa, con periodos en escalas de minutos. Para la energía undimotriz se capta la energía de las olas generadas por el viento. El periodo de este tipo de olas es menor a los 30 segundos y se

pueden clasificar en: i) Olas tipo Swell, siendo estas aquellas que han salido de la zona donde fueron generadas y que en aguas profundas (en inglés deep water) tienen longitudes de onda de 100 a 500 m; ii) Wind sea, son olas que se generan debido al viento y que viajan en la dirección en que este sopla, en aguas profundas tienen longitudes de onda desde unos pocos metros hasta 500 m.

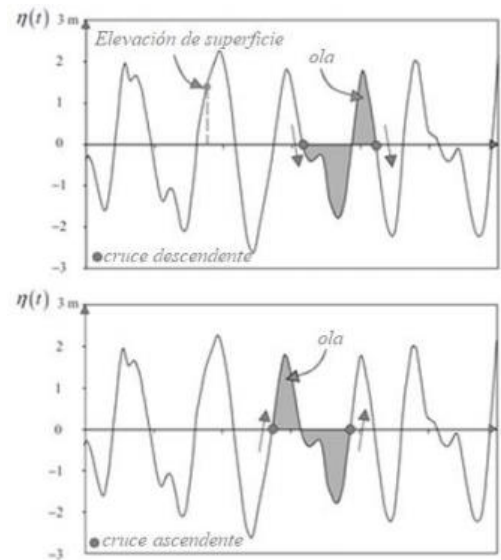


Figura 1. Definición de una ola a partir de su perfil $\eta(t)$ con cruces descendentes de elevación cero (arriba) y ascendentes de elevación cero (abajo)

Fuente: <http://148.214.84.21/bitstream/20.500.12059/357/1/145749.pdf>

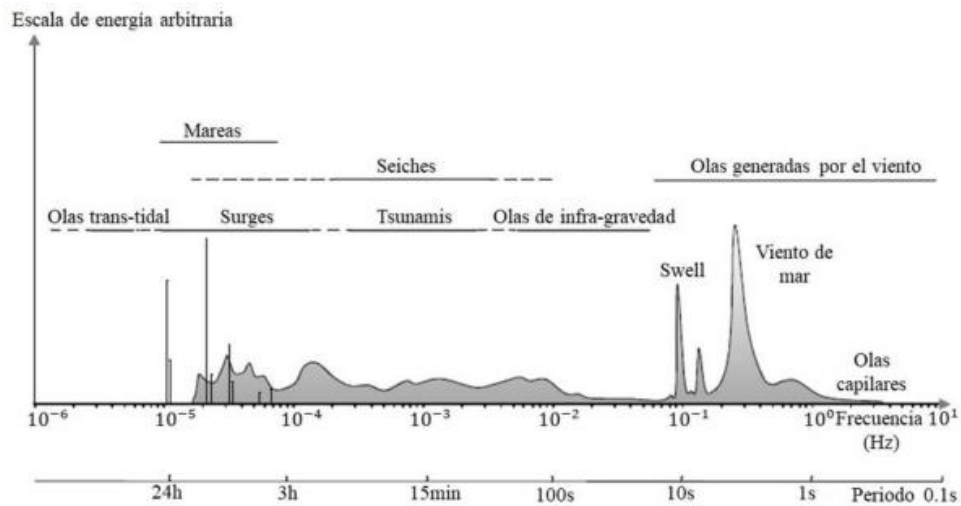


Figura 2. Frecuencias y periodos de los movimientos verticales de la superficie oceánica

Fuente: <http://148.214.84.21/bitstream/20.500.12059/357/1/145749.pdf>

De acuerdo con la profundidad al lecho marino h (m) y la longitud de onda de la ola λ (m) se pueden identificar tres zonas:

Aguas profundas: En este tipo de aguas el oleaje se propaga sin interacción con el fondo. En este sentido varios autores han dado su concepto de aguas profundas. En la definen como ‘decenas de metros’ o con profundidades de ‘más de 40 metros’, por otro lado, en la definen cuando $h > \lambda / 3$, y en cuando la profundidad al lecho marino supera un medio la longitud de onda de la ola, es decir, $h > \lambda / 2$.

Aguas intermedias: Del inglés Mid waters. En este punto la propagación del oleaje ya depende de la profundidad al lecho marino. En relación con la profundidad y longitud de onda las aguas intermedias se encuentran en un rango entre $\lambda / 25 < h < \lambda / 2$.

Aguas someras: Del inglés shallow waters. En estas aguas el oleaje tiene una alta interacción con el lecho marino por lo que las partículas de agua tienen una trayectoria horizontal. Algunos autores consideran este tipo de aguas cuando $h < \lambda / 25$, por otro lado, en hacen referencia a estas aguas cuando $h < \lambda / 4$.

2.1.4 Técnicas de observación

Diferentes técnicas de observación buscan estimar parámetros del oleaje como la altura y periodo, en las clasifican en: Técnicas en sitio empleando instrumentos que pueden ser ubicados sobre o por debajo de la superficie, cuyo objetivo es adquirir información del movimiento vertical de la superficie; Técnicas de censado remoto, caracterizadas por ubicar instrumentos sobre plataformas fijas o móviles que captan la luz visible o infrarroja reflejada por la superficie marina. Para caracterizar el comportamiento del oleaje estos métodos necesitan promediar la información obtenida de acuerdo con la cantidad de muestras tomadas.

2.1.5 Altura y Periodo

De acuerdo con las técnicas de observación las dos características que permiten estimar el comportamiento del oleaje son su altura y periodo. La altura se puede definir como la distancia entre el punto más alto y el más bajo de una elevación de superficie (Figura 4). Hay varios parámetros en términos de la altura que se pueden obtener a partir de un muestreo de datos: la altura promedio, la décima más alta ($H_{1/10}$) y el tercio más alto ($H_{1/3}$), este último parámetro también es conocido como la altura significativa (H_s) definido por la ecuación (2.1), y que representa el promedio de un tercio de las alturas tomadas en orden descendente desde la altura máxima alcanzada hasta un tercio del número total de olas, siendo N el número total de datos de altura tomados y H_j el valor de cada una de las alturas tomadas.

$$H_{1/3} = H_s = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} H_j \quad (2.1)$$

En la Figura 4 se puede observar el perfil $\eta(t)$ de una ola, mostrando el comportamiento de esta en todo instante de tiempo, de lo anterior el periodo de una ola se define como el intervalo de tiempo entre el inicio y final de una ola, es decir, el intervalo en que hay dos cruces descendientes o ascendentes de elevación cero. Entorno a los datos de medición también son obtenidos diferentes tipos de periodos definidos como: Periodo promedio (T_z), periodo pico (T_p) y periodo de energía (T_e) definidos por

$$T_z = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N T_j \quad (2.2)$$

$$T_p = \max(T_j) \quad (2.3)$$

$$T_e = 1.2T_z = 0.86T_p \quad (2.4)$$

Donde, N es equivalente al número total valores de periodo tomados y T_j el valor de cada uno de los periodos tomados.

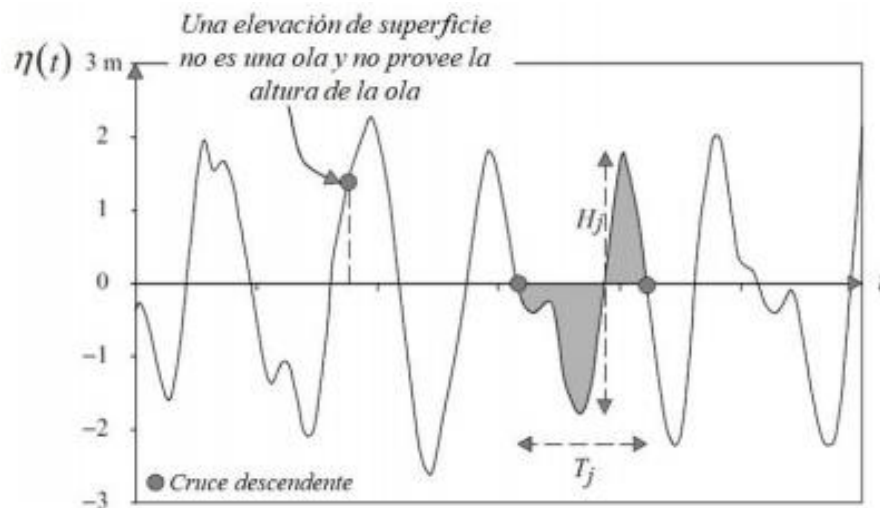


Figura 3. Definición de altura y periodo en una ola.

Fuente: <http://148.214.84.21/bitstream/20.500.12059/357/1/145749.pdf>

2.1.6 Energía del oleaje

La energía de una ola consta de dos componentes, una cinética que se debe al movimiento del agua y una potencial debido al trabajo que se realiza cuando la superficie plana del agua se deforma en una superficie ondulada, es decir el levantamiento del agua en contra de la gravedad. Por otro lado, el espectro $S(f, \alpha)$ del oleaje también permite cuantificar la energía de la ola en términos de la frecuencia f y la dirección o ángulo de incidencia α . La ecuación (2.5) muestra para ciertas condiciones oceanográficas la densidad promedio de energía por unidad de área de superficie marina. Donde E es la densidad de energía promedio por unidad de área (J / m²), ρ es la densidad del agua de mar (1025 kg/m³), g es la aceleración de la gravedad (9.8 m/s²) y H_s es la altura significativa de la ola (m). La parte del integrando corresponde al espectro $S(f)$ (m²/Hz) que describe cuantitativamente como las diferentes frecuencias f contribuyen a la energía de la ola.

$$E = \rho g H_s^2 / 16 = \rho g \int_0^{\infty} S(f) df \quad (2.5)$$

Para una ola sinusoidal de periodo T , la energía es transportada con una velocidad equivalente a la velocidad de grupo c_g , de acuerdo con esto el nivel de potencia de la ola se define como el transporte de la energía por unidad de longitud del frente de onda progresivo representado en la ecuación (2.6), siendo H la altura de la ola.

$$J = c_g E = \rho g H^2 / 8 \quad (2.6)$$

2.1.7 Potencia máxima absorbida

El movimiento de un cuerpo rígido se caracteriza por seis componentes que corresponden a seis grados de libertad o modos de movimiento (Figura 5), tres traslacionales y tres rotacionales denominados por sus siglas en inglés:

1. Surge: Movimiento longitudinal a lo largo del eje x.
2. Sway: Movimiento longitudinal a lo largo del eje y.
3. Heave: Movimiento vertical a lo largo del eje z.
4. Roll: Movimiento angular alrededor del eje x.
5. Pitch: Movimiento angular alrededor del eje y.
6. Yaw: Movimiento angular alrededor del eje z.

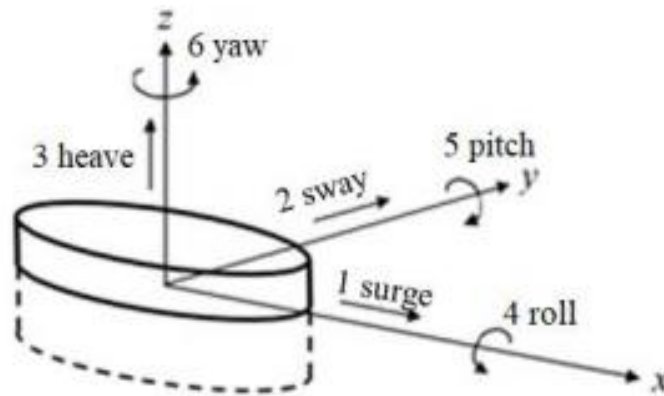


Figura 4. Potencia máxima absorbida

Fuente:

Si una ola sinusoidal incide con una densidad de potencia $J = cgE$ sobre un cuerpo rígido, de acuerdo con sus grados de libertad este podrá absorber un máximo de potencia de:

Para un movimiento vertical, un solo grado de libertad:

$$P_{max} = \left(\frac{\lambda}{2\pi}\right)J \quad (2.7)$$

Para dos grados de libertad:

$$P_{max} = \left(\frac{\lambda}{\pi}\right)J \quad (2.8)$$

Para tres grados de libertad:

$$P_{max} = \left(\frac{3\lambda}{2\pi}\right)J \quad (2.9)$$

De acuerdo con la profundidad al lecho marino h la longitud de onda λ está dada por:

En aguas profundas:

$$\lambda = \left(\frac{g}{2\pi}\right)T^2 \quad (2.10)$$

En aguas someras:

$$\lambda = T\sqrt{gh} \quad (2.11)$$

El nivel de potencia en términos del espectro $S(f)$ para una ola marina real es expresada en Watt /m dado por:

$$J = \rho g \int_0^{\infty} c_g(f)S(f)df = \rho g^2 T_e H_s^2 / 64\pi \quad (2.12)$$

Donde la velocidad de grupo de olas c_g (m/s) es:

En aguas profundas

$$c_g = gT/4\pi \quad (2.13)$$

En aguas someras

$$c_g = \sqrt{gh} \quad (2.14)$$

2.2 Dispositivo de captación

Actualmente hay una gran cantidad de dispositivos de captación de energía undimotriz que tienen diferentes principios de funcionamiento permitiendo así que sean clasificados de diferentes maneras. Esto representa una utilidad para establecer diferencias y similitudes entre ellos. Estos pueden ser categorizados de acuerdo con su ubicación: sobre la costa, cerca de la costa o fuera de la costa, y la manera en que estos capturan la energía de las olas.

2.3 La energía

La energía es la capacidad de los cuerpos para realizar un trabajo y producir cambios en ellos mismos o en otros cuerpos. Es decir, el concepto de energía se define como la capacidad de hacer funcionar las cosas.

La unidad de medida que utilizamos para cuantificar la energía es el joule (J), en honor al físico inglés James Prescott Joule.

2.3.1 Tipos de energía

La energía se manifiesta de diferentes maneras, recibiendo así diferentes denominaciones según las acciones y los cambios que puede provocar.

2.3.1.1 Energía mecánica

Es aquella relacionada tanto con la posición como con el movimiento de los cuerpos y, por tanto, involucra a las distintas energías que tiene un objetivo en movimiento, como son la energía cinética y la potencial. Su fórmula es:

$$E_m = E_p + E_c$$

Donde E_m es la energía mecánica (J), E_p la energía potencial (J) y E_c la energía cinética (J).

2.3.1.2 Energía potencial

La energía potencial hace referencia a la posición que ocupa una masa en el espacio. Su fórmula es:

$$E_p = mgh$$

Donde m es la masa (Kg), g la gravedad (m/s) y E_p la energía potencial ($J = Kg \cdot m /s^2$).

2.3.1.3 Energía cinética

La energía cinética por su parte se manifiesta cuando los cuerpos se mueven y está asociada a la velocidad. Se calcula con la fórmula:

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Donde m es la masa (Kg), v la velocidad (m/s) y E_c la energía cinética ($J=Kg \cdot m^2 /s^2$)

2.3.1.4 Energía interna

La energía interna se manifiesta a partir de la temperatura. Cuanto más caliente esté un cuerpo, más energía interna tendrá.

2.3.1.5 Energía eléctrica

Cuando dos puntos tienen una diferencia de potencial y se conectan a través de un conductor eléctrico se genera lo que conocemos como energía eléctrica, relacionada con la corriente eléctrica.

2.3.1.6 Energía térmica

Se asocia con la cantidad de energía que pasa de un cuerpo caliente a otro más frío manifestándose mediante el calor.

2.3.1.7 Energía electromagnética

Esta energía se atribuye a la presencia de un campo electromagnético, generado a partir del movimiento de partículas eléctricas y magnéticas moviéndose y oscilando a la vez. Son lo que conocemos como ondas electromagnéticas, que se propagan a través del espacio y se trasladan a la velocidad de la luz.

El Sol es un ejemplo de ondas electromagnéticas que se pueden manifestar como luz, radiación infrarroja y también ondas de radio.

2.3.1.8 Energía química

La energía química se manifiesta en determinadas reacciones químicas en las que se forman o rompen enlaces químicos. El carbón, el gas natural o el funcionamiento de las baterías son algunos ejemplos del uso de esta energía.

2.3.1.9 Energía nuclear

La energía nuclear es la que se genera al interactuar los átomos entre sí. Puede liberarse a través de su rotura, lo que se conoce como fisión, o de su unión, lo que se denomina fusión.

2.3.2 Propiedades de la energía

La energía tiene 4 propiedades básicas:

- Se transforma: La energía no se crea, sino que se transforma y es durante esta transformación cuando se manifiestan las diferentes formas de energía.
- Se conserva: Al final de cualquier proceso de transformación energética nunca puede haber más o menos energía que la que había al principio, siempre se mantiene. La energía no se destruye.
- Se transfiere: La energía pasa de un cuerpo a otro en forma de calor, ondas o trabajo.

- Se degrada: Solo una parte de la energía transformada es capaz de producir trabajo y la otra se pierde en forma de calor o ruido (vibraciones mecánicas no deseadas).

2.3.3 Transferencia de energía

Existen tres formas principales de transferir energía de un cuerpo a otro:

2.3.3.1 Trabajo

Cuando se realiza un trabajo se pasa energía a un cuerpo que cambia de una posición a otra. Como ocurre, por ejemplo, si empujamos una caja para desplazarla: estamos realizando un trabajo para que su posición varíe.

2.3.3.2 Ondas

Las ondas son la propagación de perturbaciones de ciertas características, como el campo eléctrico, el magnetismo o la presión. Al moverse a través del espacio transmiten energía.

2.3.3.3 Calor

Es un tipo de energía que se manifiesta cuando se transfiere energía de un cuerpo caliente a otro cuerpo más frío. Esta energía puede viajar de tres maneras principales:

- **Conducción:** cuando se calienta un extremo de un material, sus partículas vibran y chocan con las partículas vecinas, transmitiéndoles parte de su energía.
- **Radiación:** el calor se propaga a través de ondas de radiación infrarroja (ondas que se propagan a través del vacío y a la velocidad de la luz).
- **Convección:** que es propia de fluidos (líquidos o gaseosos) en movimiento.

2.4 La energía olamotriz

Es aquella que se aprovecha del movimiento de las olas para la generación de energía eléctrica. En sí, es la energía que se obtiene de la energía mecánica y potencial del movimiento de las olas, mientras que la energía Mareomotriz lo hace a través de las mareas.

2.5 Sistemas de Conversión

El movimiento de las olas puede convertirse en energía mecánica y luego en energía eléctrica usando sistemas apropiados. Los conversores de energía de las olas generalmente se refieren en la literatura como dispositivos WEC que es el acrónimo de Wave Energy Converter.

Se han instalado dispositivos de conversión de energía undimotriz en la costa, cerca de ella o mar adentro, siendo además instalados de manera unitaria o mediante arreglos de varios dispositivos. La selección de la tecnología es determinada según la topografía de la zona, el recurso disponible y/o la demanda energética.

Existe además una gran variedad de diseños, puesto a que aún no se llega a un consenso de diseño como ha sucedido con los dispositivos mareomotrices. Los dispositivos propuestos o en desarrollo para captar energía de las olas se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- Sistema atenuador
- Dispositivo desbordante
- Columna de agua oscilante
- Absolvedor puntual
- Conversor undimotriz oscilante

2.6 Sistema Atenuador

Un atenuador es un dispositivo flotante el cual tiene la capacidad de operar paralelamente en la dirección del oleaje y adecuarse de forma efectiva a él. Estos dispositivos capturan energía

desde el movimiento relativo a través de dos estructuras mecánicas unidas, como por ejemplo el dispositivo Pelamis de la Figura 2.7, el cual se basa en una estructura articulada que dispone entre sus nodos de unión un sistema hidráulico que actúa sobre un generador eléctrico. Se estima que la cantidad de energía obtenida por 30 de estos sistemas podría abastecer aproximadamente 20.000 hogares con un consumo medio europeo. Se trata de una tecnología comercialmente afianzada.

2.6.1 Dispositivos desbordantes

Estos dispositivos capturan la energía de un frente de olas mediante un colector de olas para mover una o varias turbinas hidráulicas de salto reducido, denominadas turbinas Kaplan, aprovechando la energía potencial de las olas. Se distinguen dos tipos de convertidores, los de estructura fija o situados en la costa, y los de estructura flotante, alejados de ella.

En los dispositivos de estructura fija el funcionamiento es similar a las centrales hidroeléctricas. Las olas entrantes acceden a un depósito situado en una cota superior a la del mar a través de una rampa, para después hacer pasar el agua por unas turbinas acopladas a unos generadores eléctricos antes de ser devuelta al mar. Podemos distinguir: el SSG (Seawave Slot-Cone Generator), el cual almacena agua en varios dispositivos colocados a distintas alturas y utiliza una turbina con varias etapas, y el tapchan.

Entre los dispositivos convertidores de estructura flotante, cuyo funcionamiento es similar a los anteriores, podemos citar al convertidor de olas danés Wavedragon, el cual se muestra en la

Figura 6, caracterizado por tener un reflector que dirige las olas incidentes por una rampa hasta un deposito situado en la parte posterior por encima del nivel del mar.



Figura 5. Pelamis P2 desarrollado y probado en UK. Potencia nominal 0,75MW.

Fuente: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/139160/Analisis-de-un-dispositivo-oscilante-como-medio-de-captacion-de-energia-undimotriz.pdf?sequence=1>



Figura 6. Wave Dragon desarrollado y probado en Dinamarca. Potencia nominal 11MW

Fuente: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/139160/Analisis-de-un-dispositivo-oscilante-como-medio-de-captacion-de-energia-undimotriz.pdf?sequence=1>

2.7 Marco Conceptual

La intervención del hombre en el medio ambiente ha desencadenado una serie de impactos que han transformado el entorno, hasta el punto de deteriorar su calidad y contribuir en la generación de problemas globales. Particularmente, el desarrollo del país ha causado insostenibilidad en el medio ambiente y refleja deterioro y destrucción de los recursos naturales.

De ahí, que se debe tener claro que el progreso y desarrollo de las regiones no debe comprometer el derecho a un ambiente sano, por el contrario, debe permitir el equilibrio entre el progreso y la protección del medio ambiente. Esta conceptualización da la terminología básica para comprender la importancia de la planificación y el valor de la variable ambiental en el desarrollo de cualquier comunidad.

La definición de los términos básicos que se utilizaran a lo largo de la investigación ayudara a distinguir las razones de que se busca exactamente con este estudio.

2.8 Marco contextual o delimitación del área de estudio

2.8.1 Localización del área de estudio

El área de estudio de esta investigación está localizada en la Republica Dominicana, playa Macao, Provincia La Altagracia, municipio de Higüey, distrito municipal Verón – Punta Cana.

2.8.1.1 Playa Macao

Playa Macao está en el distrito municipal Verón – Punta Cana en la región este de la República Dominicana. Contiene arena blanca con palmeras en sus alrededores y es una de las pocas playas de la región que no ha sido invadida por hoteles. Es muy popular entre los lugareños y también es un punto turístico para surfistas por la cantidad y la longitud de sus olas.



Figura 7. Playa del Macao Location Maps

Fuente: <https://es.surf-forecast.com/breaks/Playadel-Macao>

- **País:** Republica Dominicana
- **División:** La Altagracia
- **Coordenadas:** 18°46'26"N 68°32'13"O

2.8.1.2 Provincia La Altagracia

Es la más oriental de las 32 provincias de la república dominicana. El nombre conmemora el cuadro de nuestra señora de La Altagracia, traído desde España en el siglo XVI.



Figura 8. Provincia de La Altagracia (República Dominicana)

Fuente: [https://www.ecured.cu/Provincia_de_La_Altagracia_\(Rep%C3%BAblica_Dominicana\)](https://www.ecured.cu/Provincia_de_La_Altagracia_(Rep%C3%BAblica_Dominicana))

- **Coordenadas:** 18°37'N 68°43'O
- **Capital:** Salvaleón de Higüey
- **Entidad:** Provincia
- **País:** Republica Dominicana
- **Subdivisiones:** 2 municipios y 5 distritos municipales
- **Fundación:** 1944
- **Superficie:** Puesto 2. °
- **Total:** 2.998,4 km²
- **Población:** Puesto 9. °
- **Total:** 442,838 hab.
- **Densidad poblacional:** 91,1 hab/km².

- **Geografía**

La extensión de la provincia es de 3,010.34km² por esta razón, La Altagracia es la segunda provincia del país en términos de tamaño.

Esta provincia limita por el norte con el océano atlántico, al sur con el mar caribe, al este con el canal de la mona y al oeste con las provincias La Romana y El Seibó.

- **Economía**

El turismo es una de las principales actividades económicas de la provincia, tanto el de la playa como el religioso. Cuenta con complejos hoteleros de primer orden internacional, lo que le sitúa en uno de los principales destinos turísticos del caribe y de Centroamérica el cual representan una fuente de ingreso muy importantes para la provincia, siendo especialmente conocidos los destinos de Bávaro y Punta Cana.

La provincia también cuenta con una notable actividad económica basada en la ganadería extensiva y la agricultura, se estima que tiene alrededor de 775,000 hectáreas de la provincia son dedicadas al pastoreo de ganado vacuno. Lo que la situó como segunda provincia del en mayor número de vacas.

- **División administrativa**

La provincia se divide en dos municipios y en cinco distritos municipales.

Los municipios son:

- Higüey
- San Rafael del Yuma

Los distritos municipales son:

- Las Lagunas de Nisibón
- La otra Banda
- Boca de Yuma
- Verón - Punta Cana
- Bayahíbe

2.8.1.3 Municipio de Higüey

Higüey es un municipio de la República Dominicana, que está situado en la provincia de La Altagracia.



Figura 9. La Altagracia - Enciclopedia Dominicana SOS

Fuente: http://enciclopediadominicana.org/La_Altagracia

- **Coordenadas:** 18°37'05"N
68°42'40"O
- **Idioma oficial:** español

- **Entidad:** Municipio de la República Dominicana
- **País:** República Dominicana
- **Provincia:** La Altagracia
- **Distritos municipales:** 4
- **Superficie:** 1704,59 km²
- **Altitud:** 106 m s. n. m.
- **Población (2012):** 168, 502 hab.
- **Densidad:** 140 hab/km

- **Etimología**

Higüey era la denominación de un cacicazgo del este de la isla. *güey* o *huiou* que significa sol en taíno. Entre varias tribus sudamericanas también es sol, luz o día. Puede ser coincidencia, pero es de notar que Higüey se encuentra en el punto más oriental de la isla, es decir, en la región que primero recibe los rayos del sol.

- **Localización**

El municipio está situado a unos 145 km al este de la ciudad de Santo Domingo.

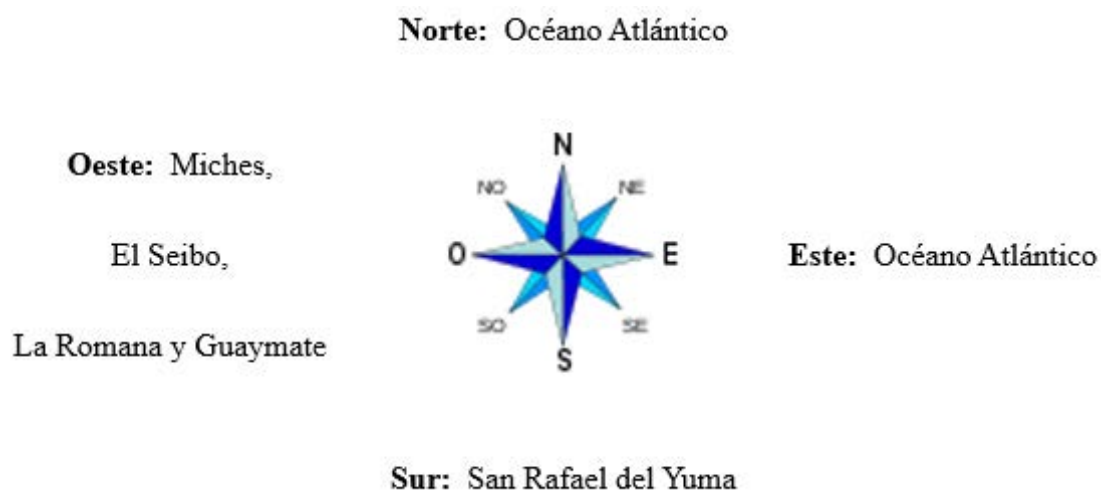


Figura 10. Límites del municipio de Higüey

Fuente: Elaboración propia

2.8.1.4 Punta cana

Punta Cana es una localidad (Paraje) perteneciente a la sección Juanillo, situada al este de la República Dominicana, en la provincia de La Altagracia. En esta localidad se ubican varios complejos hoteleros, cuya superficie total es de unos 420 000 m² (equivalentes a 42 hectáreas o 0,42 km²).



Figura 11. Mapa de Punta Cana, Republica Dominicana

Fuente: <https://kurzhaarfrisuren2015.blogspot.com/2017/10/punta-cana-republica-dominicana-mapa.html>

- **Coordenadas:** 18°30'37"N
68°22'10"O
- **Entidad:** Distrito municipal
- **País:** Republica Dominicana
- **Idioma oficial:** español
- **Provincia:** La Altagracia

- **Distritos municipales:** Higüey
- **Superficie:** 4,752.3 km²
- **Altitud:** 28 m s. n. m.
- **Población (2012):** 43,982 hab.
- **Densidad:** 92,54 hab/km²

En Punta Cana se encuentra el Aeropuerto Internacional Punta Cana (PUJ), el principal aeropuerto del país, situado a unos 30 km hacia el interior, en la carretera que lleva desde Higüey hasta La Romana.

- **Clima**

El clima es constante, con temperaturas medias de 26 °C, siendo el intervalo de temperaturas de unos doce grados, desde los 20 °C en invierno hasta los 32 °C de máxima entre abril y noviembre.

Parámetros climáticos promedio de Punta Cana													
Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Annual
Temp. Máx. media (°C)	27.7	27.6	28.1	28.7	29.6	30.3	30.5	30.7	30.9	30.5	29.4	28.1	29.3
Temp. media (°C)	24.8	24.7	25.1	25.6	26.4	27.2	27.6	27.8	27.7	27.1	26.3	25.2	26.3
Temp. mín. media (°C)	21.9	21.8	22	22.5	23.2	24.1	24.6	24.8	24.4	23.6	23.2	22.3	23.2
Lluvias (mm)	66.4	54.2	54.2	69.2	124.4	103.9	78.3	103.1	101.7	152.1	116.6	78.5	1102.6
Días de lluvias (≥ 1 mm)	10	6.8	6.7	6.6	10.1	9.2	9.1	10	10.4	11.4	11.5	11	112.8
Horas de sol	256.9	241.9	278.8	265	249.7	255.1	268.3	271.2	245.2	242.7	238.3	233.2	3046.3
Humedad relativa (%)	82.8	81.4	81.2	82.1	83	82.2	82.3	82.6	82.5	83	82.2	83.2	82.4
<i>Fuente n.º 1: Organización Meteorológica Mundial</i>													
<i>Fuentes n.º 2: NOAA7</i>													

Tabla 1. Parámetros climáticos promedios de Punta Cana

Fuente: Organización meteorológico mundial

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de la investigación

Esta investigación está centrada en el método o enfoque de investigación cualitativo, ya que se orienta a profundizar casos específicos y no a generalizar, está pretende conceptuar sobre la realidad, con base en la información obtenida de la población o las personas estudiadas, en algunos casos puede ser mixta.

3.2. Tipo de investigación

3.2.1 De acuerdo con el análisis global

Esta investigación es tipo aplicada o caso de estudio, ya que el objetivo es encontrar estrategias con fines de ponerlas en práctica para los problemas específicos que arrojan la comunidad de los alrededores de Playa Macao.

3.2.2 Según el objetivo

Esta investigación puede ser atribuida como descriptiva, ya que está enfocada a describir la situación actual de la comunidad con fines de energía eléctrica. La misma, involucra aspectos descriptivos del tema objeto de estudio y se soporta principalmente en técnicas como la encuesta, la entrevista, la observación y la revisión documental.

3.2.3 Según la recogida de datos

Esta investigación de campo para un caso de estudio particular aplicable, ya que se hizo una visita al lugar de estudio y se extrajo una serie de datos e informaciones directamente de la realidad a través del uso de técnicas de recolección (entrevistas y encuestas) con el fin de dar respuesta a diversas situaciones e incógnitas planteadas previamente. También se le atribuye el tipo de investigación bibliográfica/documental ya que se apoya en informes, normativas y libros.

3.3. Procedimiento de la investigación

El procedimiento de la investigación es escoger y designar un medio confiable, apto y seguro para la investigación que sea capaz de ser utilizado para desarrollar la información. Cada uno de estos métodos, medios o técnicas, así como tienen sus ventajas también poseen sus desventajas, por esa razón son utilizados en conjunto por que uno complementa al otro.

Entre ellos se encuentran:

- Se recolectaron las informaciones necesarias en publicaciones, normas, documentos, informes para obtener el mayor aprovechamiento de la energía undimotriz en el caso teórico Playa Macao.
- Se realizó la elaboración de una propuesta para el aprovechamiento de la energía undimotriz.

3.4 Método de Investigación

Este tipo de investigación utiliza el método inductivo, porque se basa en la obtención de conclusiones a partir de la observación de hechos. La observación y análisis permiten extraer conclusiones más o menos verdaderas.

3.5. Técnicas de investigación

El tipo de técnica de investigación a utilizar será el de análisis documental ya que toda información que se utiliza es de informes periodísticos, tesis existentes, noticias y artículos de revistas. También se encuentran las fichas más comunes en las funciones de información.

De entre las fichas más comunes se describen y ejemplifican las principales:

- 5) Ficha Bibliográfica (libro).
- 6) Ficha Video gráfica (material de video).
- 7) Ficha de Información Electrónica (información extraída de medios electrónicos, por ejemplo, Internet.)

CAPÍTULO IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

4.1 Estado actual de la energía renovable en República Dominicana

4.1.1 Energía renovable

Este tipo de energía es el mayor regalo de la naturaleza. Una energía interminable como las fuentes renovables de las que procede: sol, viento, agua, calor geotérmico, vegetación... A medida que avanza el cambio climático, las energías renovables no solo se han convertido en un imperativo moral para llegar a las generaciones futuras, un mundo más sostenible, también se cataloga como la clave de una nueva economía.

Uno de los casos más reconocibles de esa conexión entre pasado y futuro son los molinos de viento medievales y los modernos parques de aerogeneradores. De hecho, la eólica es junto a la solar una de las renovables con mayor grado de madurez y proyección. "La energía eólica instalada en el mundo creció un 10% en 2019, hasta situarse en 651 GW (gigavatios)", según datos del Global Wind Energy Council (GWEC). "China, Estados Unidos, Alemania, India y España son los primeros productores mundiales".

La fuente más grande del mundo de generación de electricidad renovable, en 2019 alcanzó un estimado de 4.306 TWh [teravatios-hora]

Los aerogeneradores generan electricidad a partir de la energía cinética producida por las corrientes de aire. El viento hace girar las palas y así causa la rotación de un eje comunicado con

una especie de caja de cambios que incrementa la rapidez de rotación y aporta energía a un generador. Este último transforma la energía rotacional en eléctrica. Los parques eólicos pueden ser terrestres, los más evidentes, pero también marinos con un mínimo impacto visual y acústico al situarse lejos de las costas, de las rutas de navegación intensa y de zonas de interés ecológico.

Por su parte, la energía hidráulica aprovecha la fuerza del agua fluvial para que las centrales hidroeléctricas la conviertan primero en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica.

De acuerdo con el informe 'Hydropower Status Report 2020', de la Asociación Internacional de Hidroelectricidad, se trata de "la fuente más grande del mundo de generación de electricidad renovable, en 2019 alcanzó un estimado de 4.306 TWh [teravatios-hora] estableciendo en este sentido la mayor contribución de una fuente de energía renovable". Brasil y China son las dos grandes potencias mundiales.

El agua también aporta la energía de los mares para producir electricidad aprovechando el movimiento del oleaje (energía undimotriz) y de las mareas (energía mareomotriz). (Diario, 2019)

4.1.2 Energía renovable en República Dominicana

“Energía asequible y no contaminante”, reza el número 7 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), con los cuales República Dominicana está comprometido.

Para lograr ese objetivo, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) asegura que el mundo debe triplicar su inversión anual en infraestructuras de energía sostenible y pasar de los US\$400,000 millones actuales a US\$1.25 billones en 2030.

En el país el aprovechamiento de fuentes renovables es notable. Casi dos décadas atrás la producción de energía estaba liderada en un 88% por derivados del petróleo y el resto provenía del agua (9%) y el carbón (3%).

Fruto de las inversiones que siguieron al proceso de capitalización, se redujo de manera progresiva el protagonismo de los combustibles fósiles y dio entrada a otras fuentes: 72% derivados de petróleo, 4% gas natural, 12% carbón, 12% hidroeléctricas solo en cuatro años, explica el último informe de la Asociación Dominicana de la Industria Eléctrica (ADIE).



Figura 12: RD cuenta con dos parques solares fotovoltaicos, ubicados en las provincias Monte plata y Montecristi.

Fuente: <https://eldinero.com.do/80227/la-energia-renovable-expande-su-luminosidad-en-republica-dominicana/>

En el año 2018 la matriz de generación eléctrica estuvo compuesta por: 38.1% de derivados de petróleo, 32.9% de gas natural, 13% carbón, 11.2% agua, 3.1% viento, 1.3% biomasa y 0.5% sol. Es por ello que República Dominicana cuenta con una de las matrices de generación eléctrica más diversificadas de la región.

El 16% de la matriz de generación del Sistema Eléctrico Nacional Interconectado (SENI) en 2018 provino de energías renovables, con 2,525.77 gigavatios-hora.

En el período 2011-2018 la inversión en tecnologías de generación eléctrica con fuentes renovables ascendió a US\$710.65 millones, según la Comisión Nacional de Energía (CNE).

En 2018 fueron inaugurados los proyectos Montecristi Solar, con 57.96 megavatios, y el Parque Eólico Larimar II, con 48.30 megavatios, para un total de 106.26 megavatios, que, sumados a los que ya estaban en operación (194.95 megavatios), totalizan 301.21 megavatios de energía limpia.

Mientras que para este año se espera un crecimiento exponencial, debido a un aumento significativo en la inversión, con unos US\$338 millones, para alcanzar 159 megavatios adicionales, que se corresponden con los proyectos eólicos Matafongo, Agua Clara (ya entró en febrero), Guanillo (Pecasa) y proyectos solares fotovoltaicos como Solar Canoa, Montecristi Solar II y Monte Plata Solar II.

“Preveamos que al cierre de este año 2019, incluyendo la inversión encontrada en el año 2012, alcanzaremos un total de US\$1,048.6 millones y un total de 460 megavatios que se corresponden con el sector de las energías renovables, excluyendo las hidroeléctricas”, asegura el director ejecutivo de la CNE, Ángel Canó Sención. (Diario, 2019)

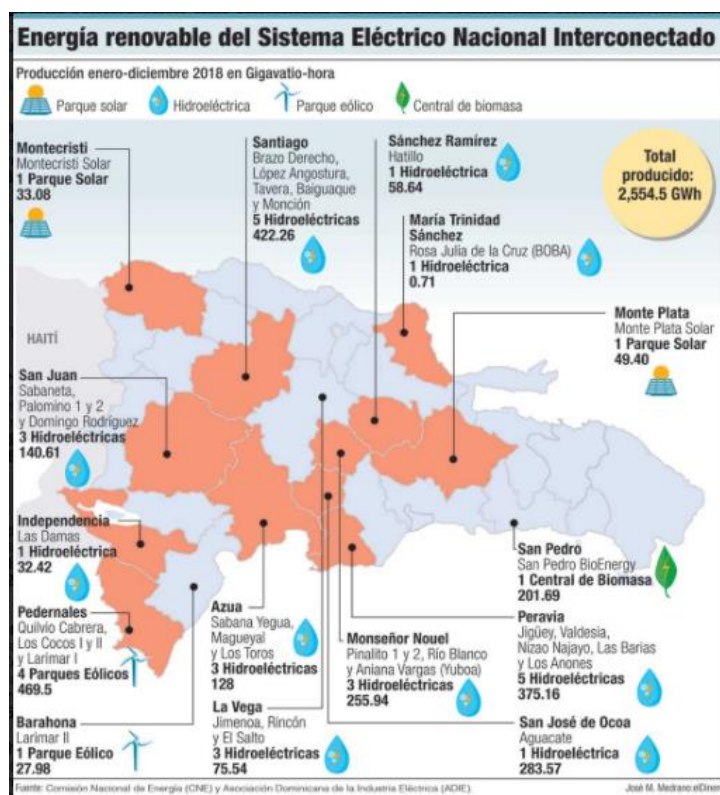


Figura 13: Energía renovable del Sistema Eléctrico Nacional Interconectado.

Fuente: <https://eldinero.com.do/80227/la-energia-renovable-expande-su-luminosidad-en-republica-dominicana/>

4.1.2.1 Ventajas de la energía renovable

La energía eléctrica representa alrededor del 60% de todas las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Eso significa que la principal ventaja del uso de energía renovable consiste en reducir la contaminación ambiental. Canó Sención destaca también la disminución de la dependencia de los combustibles convencionales para la producción de energía eléctrica y, por consiguiente, una reducción de la factura petrolera y la diversificación de la matriz de generación eléctrica.

Además, Manuel Cabral, destaca que la tecnología de generación es cada vez más eficiente y la productividad es mayor, lo que se traduce en un abaratamiento de los costos.

Debido a su posición geográfica, el país recibe mucho sol y viento, por lo que las inversiones se han inclinado más hacia la generación eólica y solar. (Diario, 2019)

4.1.2.2 Retos

Para incrementar el uso de energía limpia en el país, los expertos coinciden en que se debe mejorar la red de transmisión eléctrica, considerando la expansión hacia las zonas con el mayor potencial de recursos de fuentes renovables, en la medida que se garantice la confiabilidad y seguridad del SENI.

Para Roberto Herrera, presidente de la ADIE, el principal reto de la energía renovable es que no es continua, por lo que considera que se debe buscar la manera de integrarla con la energía convencional, para garantizar que no haya interrupción en el servicio.

Evolución de la matriz de generación de energía eléctrica en RD

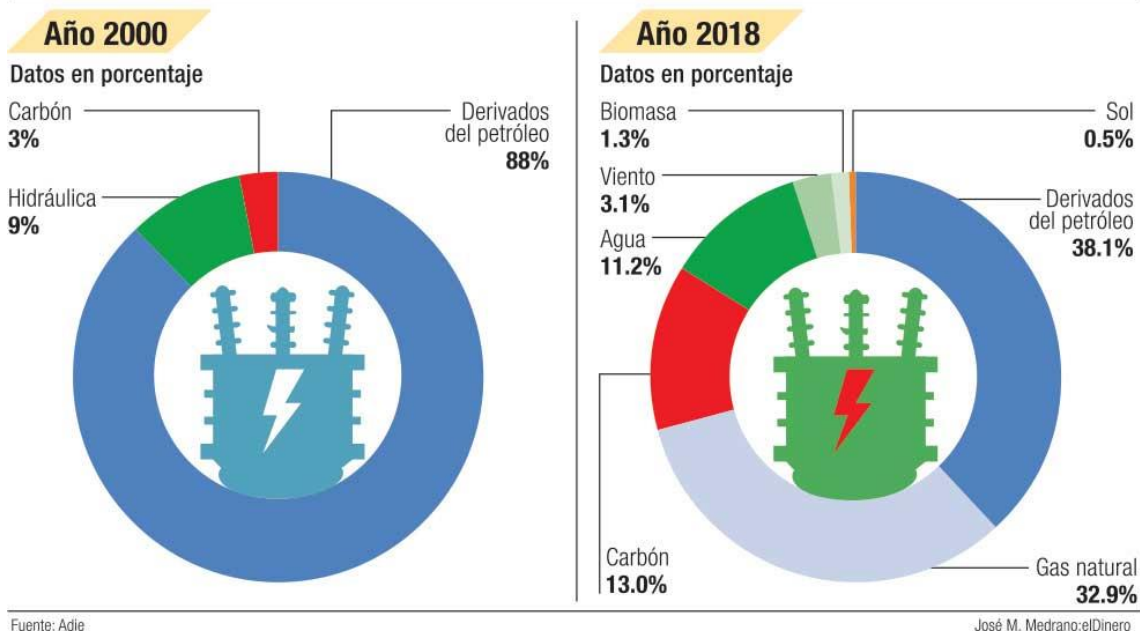


Figura 14: Evolución de la matriz de generación de energía eléctrica en RD

Fuente: <https://eldinero.com.do/80227/la-energia-renovable-expande-su-luminosidad-en-republica-dominicana/>

Herrera sugiere establecer facilidades para incentivar el almacenamiento de energía, aunque aclara que esta tecnología tiene un límite de hora y de autonomía, además de que todavía es muy costosa.

En ese sentido, Cabral advierte que el desarrollo de la energía renovable va ligado al almacenamiento de estas, porque no siempre hay sol y viento.

“Tiene que haber, a la par, bancos de baterías en las cuales se pueda almacenar para cuando se necesite, porque en un momento se puede tener sobreabundancia de energía renovable y se puede inyectar en la noche, que no hay sol”.

En la actualidad, el país cuenta con un parque de baterías de 20 megavatios, propiedad de la empresa AES dominicana, pero los directivos de ADIE insisten en que la regulación tiene que avanzar más para fomentar el desarrollo de tecnologías de almacenamiento.

El parque de almacenamiento de AES dominicana se está usando para regular la frecuencia de generación del sistema, pero esas baterías están diseñadas para almacenar la energía, comenta Cabral.

4.1.2.3 Oportunidades

Además de promover e incentivar un mejor aprovechamiento de la biomasa para la producción de energía renovable, el director de la CNE, Ángel Canó Sención, propone lograr la promulgación de una ley que establezca una compensación por toneladas de residuos sólidos convertidos en energía, que permita la rentabilidad de proyectos energéticos a base de residuos sólidos urbanos (RSU). (Diario, 2019)

“Eso solucionaría eficazmente el problema ambiental que producen todos los vertederos del país, principalmente a nuestras aguas subterráneas”.

En tanto que Manuel Cabral indica que por la demanda que existe a nivel mundial por las fuentes renovables, se está invirtiendo mucho en el desarrollo de nuevas tecnologías y los precios están bajando rápido.

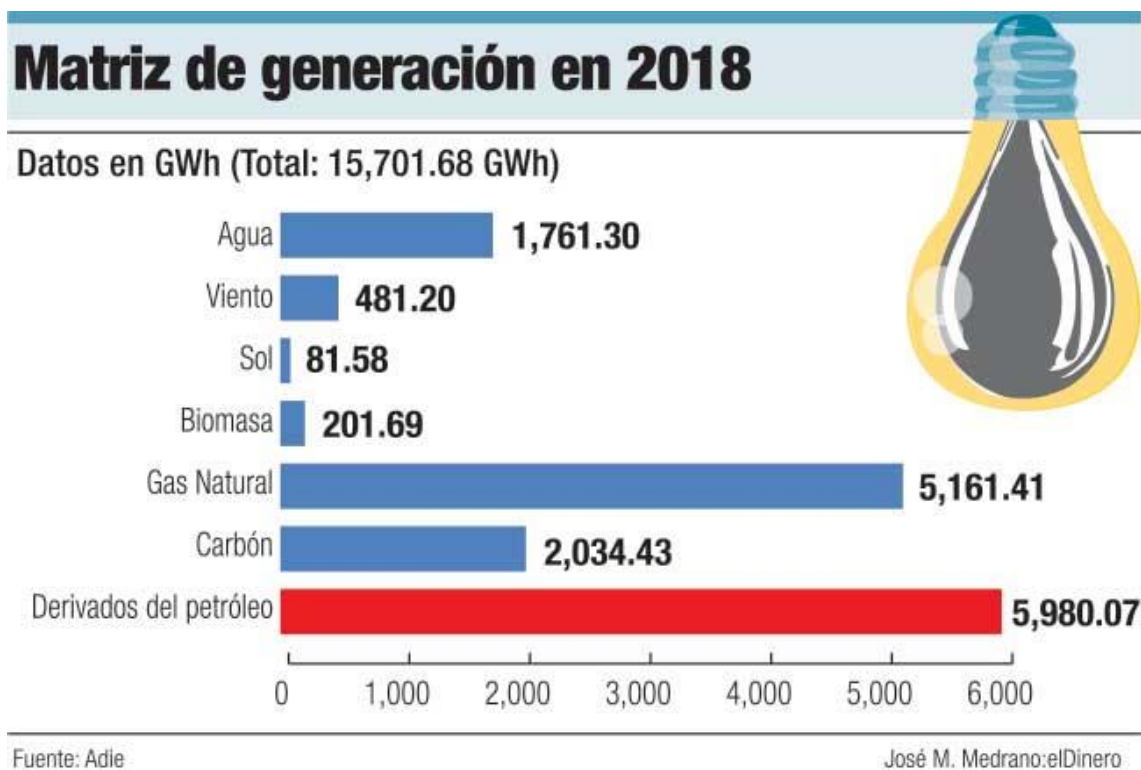


Figura 15: Matriz de generación en el 2018

Fuente: <https://eldinero.com.do/80227/la-energia-renovable-expande-su-luminosidad-en-republica-dominicana/>

“La caída de precios en los paneles solares en los últimos años ha sido traumática. Porque con el avance de la tecnología se puede invertir en nuevas fábricas, nuevas estructuras y materiales con los que se construyen”, explica.

Por esa razón opina que la energía renovable va a bajar de manera importante en los próximos años, lo que se convertiría en una mayor oportunidad para incrementar su uso en el país. (Diario, 2019)

4.1.2.4 Iniciativas de energía renovable

De acuerdo con la Comisión Nacional de Energía (CNE), al mes de diciembre de 2018 en el país había una capacidad instalada en iniciativas de autoproducción de fuentes renovables de unos 110 megavatios pico (MWp), de los cuales 94,521 kilovatios pico (kWp) corresponden a usuarios registrados en Medición Neta, un programa para clientes con sistemas de generación propia que utilicen fuentes renovables de energía interconectadas a sus redes de distribución.

El restante (15,500 kilovatios pico kWp) corresponde a entidades (Usuarios No Regulados y/o empresas de Generación) con sistemas solares para autoproducción para suplir sus consumos propios. Según la CNE, los usuarios regulados que utilizan la autoproducción en el sector residencial representan un 26.94%, en el sector comercial un 26.33% y en el sector industrial un 46.73%.

Esos emprendimientos son, prácticamente en su totalidad, en base a paneles solares fotovoltaicos, debido a que los costos de esos sistemas han presentado una persistente tendencia a la baja. (Diario, 2019)

4.2 Potencial energético en Playa Macao

4.2.1 Características de la energía undimotriz

La energía undimotriz nos permite obtener energía eléctrica (electricidad) a partir de la energía mecánica generada por el movimiento o golpe de las olas. Es una de las energías renovables con más relevancia en los últimos años. Para generar energía eléctrica a través del movimiento de las olas, se tiene que realizar estudios acerca de los oleajes en la zona costera de donde este localizado el dispositivo. El estudio se realizará en las costas de playa Macao al norte de la Republica Dominicana.

4.2.2 Playa Macao, potencial energético

El estudio sobre las características de las olas se fundamenta en la información adquirida de la base de datos disponibles del Onamet. El Onamet es la entidad que realiza el registro meteorológico en la Republica Dominicana.

Para un análisis del potencial energético se debe investigar la frecuencia y longitud de la ola en el mar. Las olas tienen una altura promedio de 1 metro a 2 metros. Y el periodo de las olas está comprendido entre 4 segundos a 8 segundos.

En la Figura 17, se muestra el área correspondiente al perfil costanero donde se analiza la potencia en kJ/m (Kilo joule por metro por hora) en dominicana.

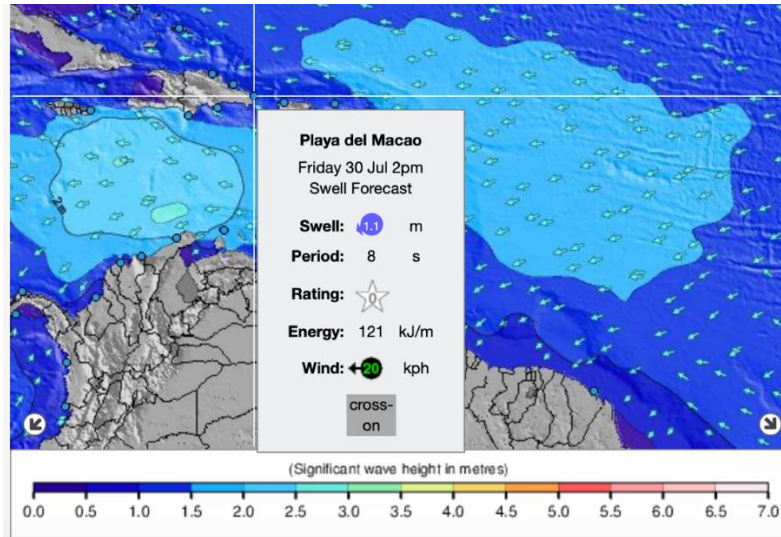


Figura 17: Playa Macao altura de ola en metros

Fuente: https://es.surf-forecast.com/weather_maps/Dominican-Republic?over=none&type=htsgw

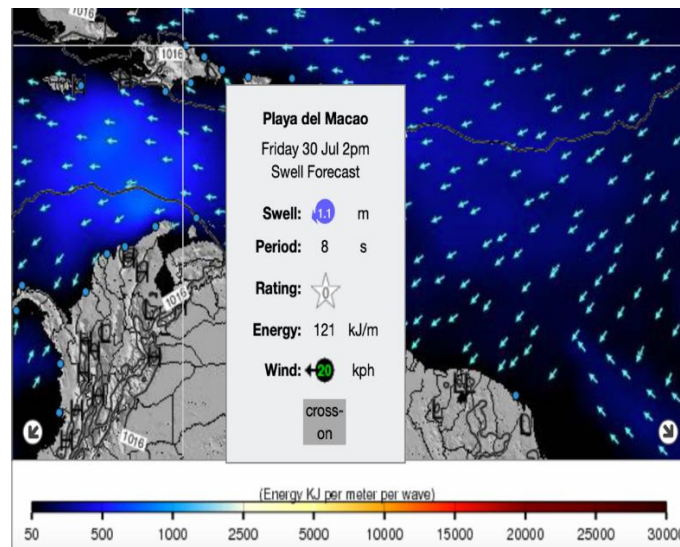


Figura 18: Playa Macao Energía en KJ/m

Fuente: https://es.surf-forecast.com/weather_maps/Dominican-Republic

4.2.3 Posible Ubicación de columnas de agua oscilante (OWC)



Figura 19: Imagen satelital de punta macao

Fuente: Google maps

4.3 Diferentes métodos de captación de la energía undimotriz

4.3.1 Conversores de energía del oleaje (OWC)

Los OWCs son dispositivos mecánicos que convierten y/o transforman la energía generada por una ola u onda en energía eléctrica, por medios sistemas que incluyen un pase primario-mecánico

y una secundaria-eléctrica con el uso de transformadores. Pocas son las instalaciones que se han ensayado en el mar a escala natural, por lo que falta experiencia operativa con prototipos reales. En general, a medida que aumenta la distancia a la costa la densidad de energía es mayor y existe una mayor complicación para el transporte de la energía generada, por lo que hay que encontrar un compromiso entre la energía generada por el OWC y la densidad de energía.

Son muchas las modalidades de OWCs que permiten obtener energía del oleaje, aunque no está todavía claro cuáles son las opciones más favorables, debido a la heterogeneidad de la fuente de energía acorde al planeta, existen múltiples mecanismos preferentes en estas zonas. A pesar de esto, los OWCs cumplen con una serie de características más comunes.

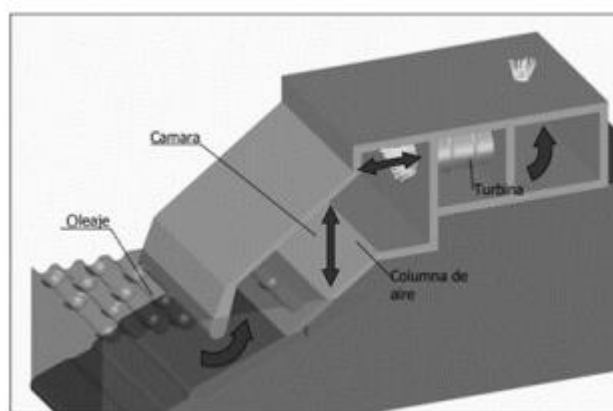


Figura 20: Sistema OWC

Fuente: http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-87522015000100005

4.3.1.1 Características de los OWC

Las características básicas, los OWCs pueden ser englobados en:

- Por la capacidad de producción energética de la que dispone, relacionada con el punto anterior; pueden ser grandes, medianos o pequeños aprovechamientos.
- Por su posición con respecto a la costa: OWCs en altamar, cerca del litoral o en la costa.

Por su posición con relación a la dirección del oleaje, destacando:

- Totalizadores o terminadores: OWCs largos con eje paralelo al frente del oleaje.
- Atenuadores: OWCs largos con eje perpendicular al frente del oleaje.

Absorbedores puntuales o momentáneos:

- OWCs aislados de dimensiones reducidas, los cuales aprovechan el efecto antena o pico (concentración y convergencia del oleaje).
- Por su posición relativa al agua: Pudiendo ser OWCs fijos o flotantes, semi-sumergidos o sumergidos.
- Por otros criterios, véase la capacidad de almacenamiento, el impacto medioambiental, eficiencia, materiales de fabricación, etc.

En la actualidad la investigación de los OWCs está centrada principalmente en los sistemas: Raft, Rompeolas sumergidos, Boyas mecánicas, Sistemas péndulo, etc.

Dejando un amplio margen de maniobra para disponer en el futuro de nuevos sistemas con una mayor eficiencia. Los OWCs utilizan un método basado principalmente en dos etapas, la primera o primaria y la secundaria o final, pudiendo ser también diferenciados por los distintos mecanismos utilizados para cada etapa, seguidamente explicaré las características principales de cada etapa, puesto prácticamente todos los OWCs las utilizan.

4.3.1.2 Conversión primaria

Esta primera etapa consiste simplemente en la extracción de la energía de la ola por medio de sistemas mecánicos o neumáticos, consiguiendo transformar el movimiento de las olas en un movimiento de una columna de aire (flujo controlado), traduciéndose en gradientes de presión o en el desplazamiento mecánico de cuerpos acumuladores de energía, pudiendo ser flotadores en sentido vertical o en rotación. Esto, con el fin de pasar a la segunda etapa o fase.

4.3.1.3 Conversión secundaria

Esta segunda etapa es la transformación en energía utilizable (normalmente eléctrica) partiendo normalmente de los acumuladores de energía, siendo los flotadores, zonas de resonancia, etc. Los medios utilizados para esta segunda conversión suelen ser turbinas neumáticas o hidráulicas, dispositivos de transmisión mecánica, etc.

4.3.2 Centrales construidas

4.3.2.1 Salter's duck. Gran Bretaña

El generador WEC37 Salter's Duck38 es un dispositivo de 1978. En las imágenes de abajo se puede ver en las pruebas de laboratorio y el esquema de su funcionamiento.

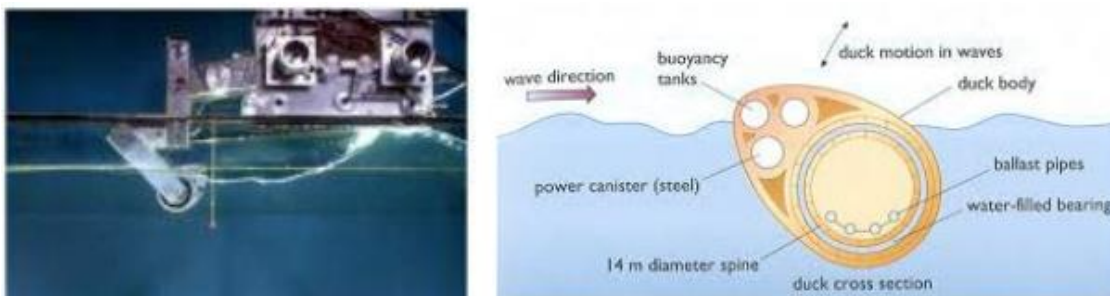


Figura 22: (Izq.) Ensayo en laboratorio. (Der.) Esquema de funcionamiento

Fuente:

https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/48378/TFM_PelayoPireCortes.pdf;jsessionid=62D0213F0AD2AEDB69E70122264856AE?sequence=3

El impacto de la onda provoca la rotación de los giróscopos ubicados dentro de un dispositivo de aspecto similar a un pato, un generador eléctrico convierte esta rotación en electricidad con una eficiencia general cercana al 90%.

El equipo denominado “pato de Salter” fue inventado por Stephen Salter en respuesta a la escasez de petróleo en la década de 1970 y fue uno de los primeros diseños de generador propuestos para el programa Wave Energy en el Reino Unido.

4.3.2.2 Wave energy plant OWC. Portugal

La planta piloto de columna de aire oscilante en la isla Pico40 de las Islas Azores tiene una potencia nominal de 400 kW. Fue construida entre 1995-1999, con financiación de la UE. Problemas de funcionamiento con la turbina Wells y accidentes debidos a inundaciones demoraron el programa de pruebas planificado después de la puesta en marcha de la planta. Las pruebas realizadas en un corto período en 1999 tuvieron que ser suspendidas. Durante 2003-2005 se llevó a cabo un programa de trabajos de reparación, coordinado por el Wave Energy Center en Portugal.

Luego se describe el monitoreo de la planta Pico durante la demostración a gran escala en septiembre-noviembre de 2005.

Los datos fueron recolectados para un rango significativo de oleaje entre 1.0 y 3.5 m y períodos entre 8.0 y 12.0 s. La velocidad máxima de la turbina debió limitarse a 1200 rpm debido a problemas de vibraciones (año 2005), a principios de 2006 se resolvió el tema.

Esta planta está equipada con una sola turbina Wells de eje horizontal con palas de paso fijo y velocidad de rotación en el rango de 750-1500 rpm. A cada lado del rotor, está instalado un estator guía que lleva palas de acero fijas, para aumentar el rendimiento aerodinámico de la turbina. Se adoptó un generador asincrónico de 400 kW del tipo de inducción de rotor bobinado.



Figura 23: OWC Pico Plant, Azores. Perspectiva lateral y vista trasera (operando durante un día normal de otoño – Sept 2015).

Fuente:

https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/48378/TFM_PelayoPireCortes.pdf;jsessionid=62D0213F0AD2AEDB69E70122264856AE?sequence=3

La turbina Wells es de alta solidez y convierte la energía de onda de una columna de agua oscilante. Tiene varias características favorables (por ejemplo, simplicidad y alta velocidad de rotación) aunque se caracteriza por un rango operativo relativamente estrecho con alta eficiencia.

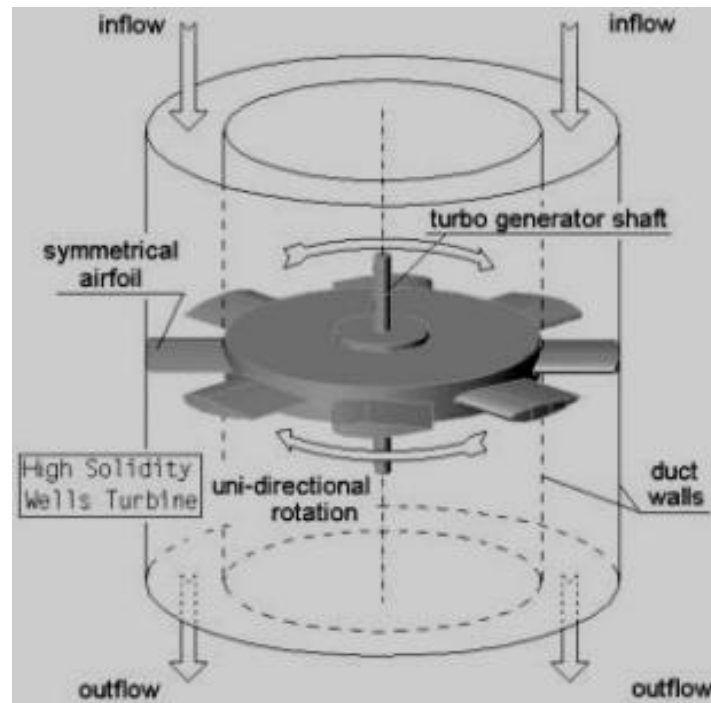


Figura 24: Esquema de una turbina Wells

Fuente:

<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Frepositorio.uniandes.edu.co%2Fbitstream%2Fhandle%2F1992%2F9779%2Fu303209.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&psig=AOvVaw126Mhcz->

<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Frepositorio.uniandes.edu.co%2Fbitstream%2Fhandle%2F1992%2F9779%2Fu303209.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&psig=AOvVaw126Mhcz->

JC1pa-FqjICFQAAAAAdAAAAABAJ

4.3.2.3 Equipo OWC N° 6. Irlanda-EUA

El Departamento de Tecnologías del Agua de los Laboratorios Sandia trabajó junto al equipo del Centro de Investigación Hidráulica y Marítima de Irlanda (HMRC) del 8 al 20 de septiembre de 2013 para completar las pruebas del equipo N° 6, el mismo consiste en una boya de conductos doblada hacia atrás (BBDB) cuyo diseño corresponde a un convertidor de energía de onda de columna oscilante.



Figura 25: Equipo N° 6

Fuente: National Ocean test facility Wave Basin

Estos ensayos se realizaron según un convenio celebrado entre los organismos de Irlanda y los Estados Unidos; las conversaciones comenzaron en 2012 y la planificación comenzó cuatro meses antes de esta prueba. Los ensayos se realizaron tanto en el canal como en la pileta de pruebas del HMRC; allí se recopilaban datos que pudieron verificar el modelo desarrollado por los Laboratorios Nacionales Sandia.

Las siglas con las cuales se identifica al equipo BBDB y provienen de la forma inglesa de su denominación Backward Bent Duct Buoy. Este convertidor se basa en un mecanismo que hace rotar una turbina que mueve un generador eléctrico. El fundamento corresponde a un sistema Oscillating Water Column (OWC).

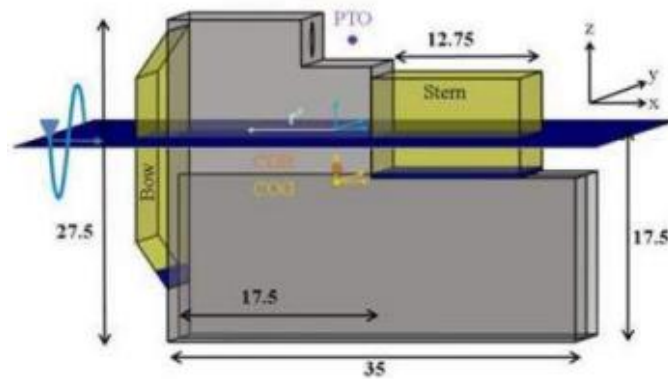


Figura 26: Esquema BBDB

Fuente: National Ocean test facility Wave Basin

4.3.2.4 Mutriku, España



Figura 27: Tecnología OWC (Oscilating Water Column) empleada en Mutriku

Fuente: <https://www.diariorenovables.com/2017/12/central-undimotriz-de-mutriku-analisis-datos-produccion-problemas.html>

Aprovechando la construcción del nuevo dique de abrigo de Mutriku, España ha incorporado al proyecto del dique una planta de aprovechamiento de energía de las olas mediante la tecnología de Columna de agua oscilante (OWC). Esta planta, de 300 kW de potencia y 16 grupos turbogeneradores, es la primera con configuración multi-turbina del mundo. Ocupa 100 m de dique y es la primera planta undimotriz en conectarse a la red eléctrica española en 2011. Las cámaras de aire que se encuentran dentro del dique son comprimidas por el movimiento ondular del mar. Luego, ese aire ingresa a una turbina de aire bidireccional.

4.3.2.5 Opera. Unión Europea

El generador de turbina bi-radial OPERA llegó a la etapa final de montaje en 2017. Esta innovación de las turbinas de aire se considera como una de las vías de reducción de costos más prometedoras para los dispositivos de energía de olas (OWC).

El proyecto OPERA apunta específicamente a validar el nuevo prototipo de turbina bi-radial. Luego pasará a la prueba en laboratorio. La turbina fue fabricada por Kymaner (Patente Europea 11710901.7). El conjunto de turbina-generador bi-radial tiene como objetivo aumentar la eficiencia media anual de la turbina OWC en un 50% y mejorar la fiabilidad de la toma de fuerza en comparación con otras opciones ya conocidas.

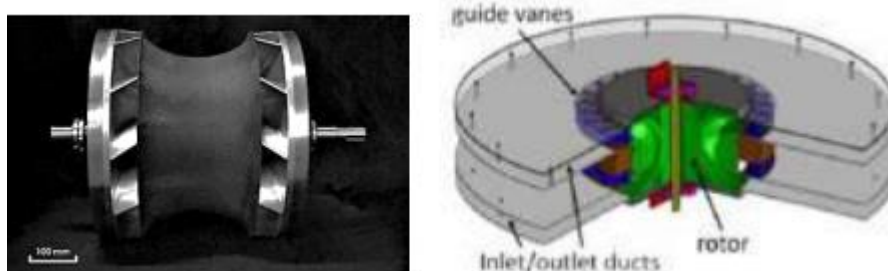


Figura 28: Conjunto turbina-generador

Fuente: <https://undimotriz.frba.utn.edu.ar/wp-content/uploads/sites/61/2019/08/GEMA-Cat%C3%A1logo-Energ%C3%ADas-del-Mar-Diciembre-2018.pdf>

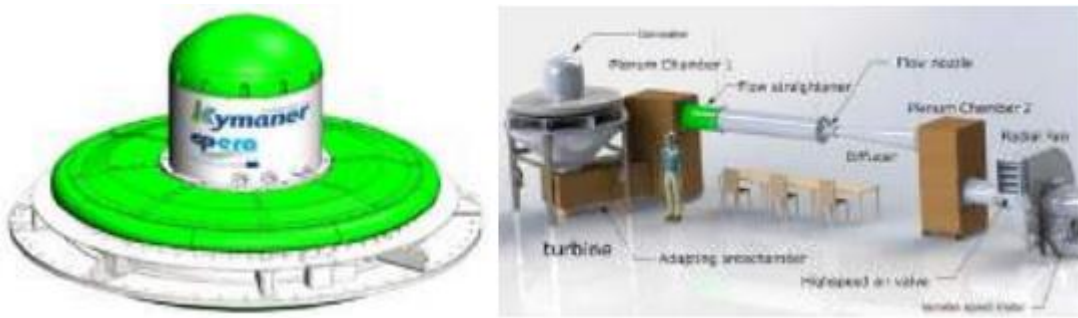


Figura 29: Esquema de prueba

Fuente: <https://undimotriz.frba.utn.edu.ar/wp-content/uploads/sites/61/2019/08/GEMA-Cat%C3%A1logo-Energ%C3%ADas-del-Mar-Diciembre-2018.pdf>

4.4 Dispositivo a utilizar

El dispositivo que se plantea utilizar será la columna de agua oscilante, uno de los convertidores de energía undimotriz más utilizados en la actualidad, captura la energía entregada por las olas, la transfiere a una turbina tipo Wells que, acoplada a un generador, la inyecta a la red.

Es una estructura que se ubicara según los datos obtenido en la costa de playa macao o más específico en la punta de playa macao, está diseñado de la siguiente manera: En la parte superior forma una cámara de aire y cuya parte inferior está sumergida en el agua y abierta a la acción de las olas. El flujo bidireccional de aire desplazado por la columna de agua mueve una turbina de aire montada en la parte superior de la estructura (Turbina Wells).

Al utilizar energía neumática para generar energía mecánica, el mantenimiento es más sencillo y económico (Pereira, 2008). Tenemos ejemplos de instalaciones costeras, cerca de la costa y en los rompeolas. Todas ellas son similares y comprenden: la cámara de captura, el grupo turbogenerador y el sistema de instrumentación y control. Las plantas de: LIMPET en la isla de Islay, Escocia; PICO, en las Azores, Portugal; PORT KEMBLA situada a 100 Km de Sídney, Australia; VIZHINJAM cerca de Trivandrum, India, SAKATA en el puerto de Sakata, Japón y la planta MOWC de Mutriku son buenos ejemplos de aplicación real de esta tecnología.

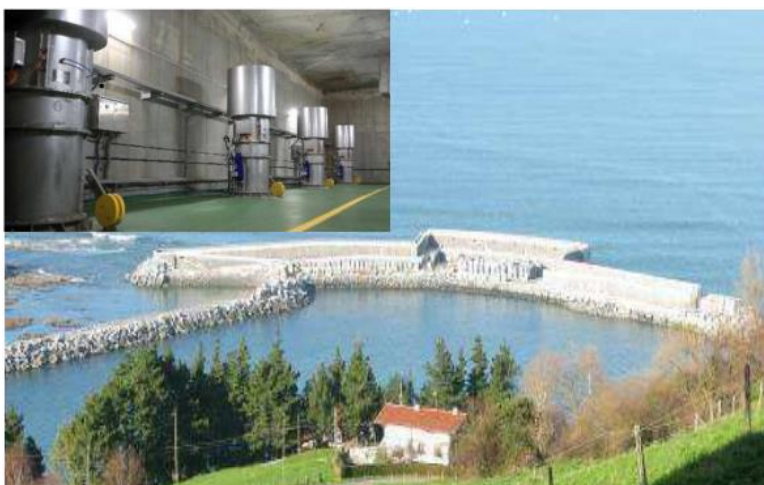


Figura 30: NEREIDA MOWC de Mutriku.

Fuente: <https://www.diariorenovables.com/2017/12/central-undimotriz-de-mutriku-analisis-datos-produccion-problemas.html>

En cuanto a la cámara de captura, el principal requerimiento es la creación de una cámara de aire adecuada para la captura de la energía de las olas, que sirva de soporte para la instalación del grupo turbina-generator y que resista el embate de la mar. Las distintas estructuras son similares

y contienen: el labio, la cámara de captura y el conducto que termina en el exterior. El labio frontal debe penetrar en la mar, de manera que la cámara de captura no quede nunca conectada con la atmósfera exterior. Algunas plantas han adoptado un colector inclinado debido a que presenta dos ventajas, por una parte, facilita el movimiento ascendente y descendente del agua por el colector, de manera que reduce las turbulencias, así como las pérdidas en la captura de energía y, por otra, aumenta el área de la columna de agua, lo que permite sintonizar mejor la frecuencia de oscilación de la columna de agua con las frecuencias de las olas incidentes.

Nuestro OWC constara con 30 cámaras de dimensiones de 3.10m x 4.50m x 9.70m las cuales tendrán 1 turbina tipo Wells cada una. Cada turbina tiene una potencia instalada de 18.5 kW, lo que nos da como resultado que nuestro OWC tendrá una potencia instala de 555 kW.

Ficha Técnica	
Numero de Turbinas	30
Diámetro	0.75 M
Potencia Instalada	18.5 KW
Tensión	440 voltios
Vida útil	100,000 horas
Presión media	9655.85 pascal

Tabla 2: Ficha técnica Turbina Wells

Fuente: Propia

Características Constructivas	
Longitud total del tramo	135 ml
Altura de la superficie libre en pleamar máxima	2.93m
Altura de la superficie libre bajo nivel del mar	3m
Área de la boca de la cámara	13.95
Diámetro agujero turbina	0.75
Numero de cámaras	30
Longitud total de la cámara:	3.1
Ancho de la cámara:	4.5
Alto de la cámara	9.7
Ubicación	Playa Macao

Tabla 3: Características constructiva de la cámara

Fuente: Propia

4.4.1 Resultados obtenidos

Datos Aprox. Onanet										
Año	Mes	Altura de Ola (M)	Viento (Nodos)	Viento (m/s)	Periodo (S)	Longitud de la onda	E total	Celendad (m/s)	Flujo de energía (kW/m)	
2019	Enero	1.1895	12.5	6.425	7.1	39.35272632	1778.41	5.54	9857.08	
	Febrero	1.5921	13.02	6.69228	6.72	35.25304813	3185.98	5.25	16713.64	
	Marzo	1.1285	12	6.168	6.83	36.41661168	1600.69	5.33	8534.63	
	Abril	1.23525	12.1	6.2194	6.266	30.65059495	1917.84	4.89	9381.26	
	Mayo	1.037	11.06	5.68484	6.73	35.35804598	1351.64	5.25	7101.23	
	Junio	1.04615	11.44	5.88016	5.965	27.7765961	1375.60	4.66	6405.59	
	Julio	1.08275	13.08	6.72312	5.677	25.15914721	1473.53	4.43	6530.35	
	Agosto	1.10715	11.78	6.05492	5.93	27.45159067	1540.69	4.63	7132.28	
	Septiembre	1.13765	9.98	5.12972	7.83	47.86098716	1626.75	6.11	9943.52	
	Octubre	1.1712	10.01	5.14514	8.16	51.98025974	1724.11	6.37	10982.81	
	Noviembre	1.30845	10.89	5.59746	8.27	53.39113422	2151.88	6.46	13892.51	
	Diciembre	1.6104	7.33	3.76762	7.8	47.49493888	3259.65	6.09	19848.29	126323.19

Tabla 4: Resultados promedios de aprovechamiento de la energía undimotriz en el año 2019

Fuente: Propia

Año	Mes	Altura de Ola (M)	Viento (Nodos)	Viento (m/s)	Periodo (S)	Longitud de la onda	E total	Celendad (m/s)	Flujo de energía (kW/m)
2020	Enero	1.7385	13.35	6.8619	7.86	48.2284406	3798.85	6.14	23309.50
	Febrero	1.43655	11.64	5.98296	6.96	37.81608862	2593.85	5.43	14093.27
	Marzo	1.83	13.12	6.74368	7.3	41.60100745	4209.25	5.70	23987.56
	Abril	1.03395	10.65	5.4741	7.44	43.21196333	1343.70	5.81	7804.28
	Mayo	1.1529	12.72	6.53808	6.36	31.57710848	1670.65	4.96	8294.71
	Junio	1.0187	10.13	5.20682	6.06	28.66839477	1304.35	4.73	6170.58
	Julio	1.30845	12.85	6.6049	6.16	29.62235294	2151.88	4.81	10347.99
	Agosto	1.25355	12.16	6.25024	6.09	28.95294285	1975.09	4.75	9389.91
	Septiembre	1.29625	11.02	5.66428	7.79	47.37323506	2111.93	6.08	12843.28
	Octubre	1.34505	12.03	6.18342	7.1	38.25200535	2273.94	5.46	12426.13
	Noviembre	1.430145	12.13	6.23482	7.17	40.13252077	2570.77	5.60	14389.32
	Diciembre	1.3603	11.77	6.04978	7.51	44.02891687	2325.80	5.86	13635.48
									156692.02

Tabla 5: Resultados promedios de aprovechamiento de la energía undimotriz en el año 2020

Fuente: Propia

Conclusión

Los datos de la obtención de energía eléctrica dominicana nos muestran que se sigue dependiendo en gran medida de los combustibles fósiles para la producción de electricidad, continuando con la contaminación de nuestro ambiente.

La producción eléctrica en la Republica Dominicana obtenida por energía renovable es sumamente baja. La energía undimotriz aún está en etapa de desarrollo tecnológico y por ende puede ser un poco alto su costo inicial para poder implementarlo en un país. Pero verdaderamente los avances tecnológicos en la actualidad muestran que este tipo de energía (energía undimotriz) tiene un gran futuro, basándose en varias instalaciones de dispositivos con excelentes resultados.

La columna de agua oscilante según lo investigado es el método más viable para implementarlo en las aguas de playa de Macao, este se podría colocar en la costa de punta Macao. Los datos obtenidos por ONAMET muestran que nuestras olas rondan de 0.5 metros de altura a 2 metros de altura en esa zona, generando aproximadamente un flujo de 140,000 kW/m anualmente.

Recomendaciones

- Analizar dispositivos de captación y conversión diferentes a los ya estudiados en este trabajo con miras a incrementar el conocimiento de generación por undimotriz y evaluar cuál de estos sistemas puede ser apto para la implementación de un prototipo. Haciendo un estudio más profundo en los factores técnicos y económicos que esto acarrea.
- Procurar los mantenimientos anuales de los equipos.
- Concientizar a la población sobre el manejo de la energía eléctrica, con el fin de evitar el derroche innecesario de la energía.
- Promover la implementación de energía renovables por encima de las demás fuentes de energía eléctrica, con el fin de reducir los danos ocasionados al medio ambiente.
- Se recomienda utilizar turbinas Wells.

BIBLIOGRAFIA

- Solange de la Cruz Matos. (2009). Santo Domingo: Diario Libre.
- Proyecto Fahemar (sistema Energywave). (2014). España: Redacción interempresas
- Catalogo CEMA. (2014)
- Generación undimotriz mediante absorbedores puntuales con sistemas hidráulicos de conversión de potencia (2015).
- GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON TURBINAS WELLS. Alfredo Santa
- II CONGRÉS UPC SOSTENIBLE 2015. DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO A PEQUEÑA ESCALA DE UNA TURBINA DE AIRE, PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA MARINA, A BAJO COSTE MEDIANTE TÉCNICAS DE PROTOTIPADO RÁPIDO.

WEB

- https://www.energias-renovables.com/energias_del_mar/el-prototipo-undimotriz-disenado-por-oceantec-sobrevive-20171226
- <http://ecomedioambiente.com/energias-renovables/energia-undimotriz/>
- <https://www.interempresas.net/Energia/Articulos/126331-Generar-energia-a-partir-de-energia-undimotriz.html>

- <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/12872/SuarezQuijanoEduardo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/48378/TFM_PelayoPireCortes.pdf;jsessionid=62D0213F0AD2AEDB69E70122264856AE?sequence=3
- [https://www.ecured.cu/Provincia_de_La_Altagracia_\(Rep%C3%BAblica_Dominicana\)](https://www.ecured.cu/Provincia_de_La_Altagracia_(Rep%C3%BAblica_Dominicana))
- <https://es.surf-forecast.com/breaks/Playadel-Macao>
- http://enciclopediadominicana.org/La_Altagracia
- <https://www.dominican-republic-live.com/punta-cana/guide.html>
- Listín Diario (2009)
- Estudio de las olas y su aprovechamiento en energía undimotriz.pdf (ull.es)
- http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70175/fichero/5_CapituloV.pdf
- <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/5281/369177.pdf?sequence=1>
- http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-87522015000100005

Anexos



Figura 31: Vista de punta Macao

Fuente: propia



Figura 32: Costa de Punta Macao

Fuente: propia



Figura 33: Consorcio Energetico Punta Cana-Macao

Fuente: propia



Figura 34: Entrada hacia playa Macao

Fuente: propia



Figura 35: Costa de playa Macao

Fuente: propia

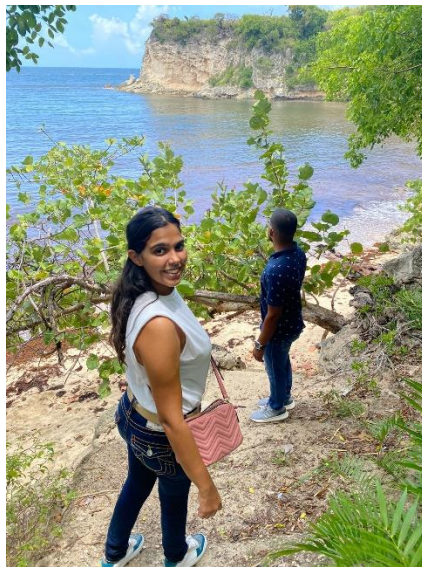


Figura 36: Playa punta Macao

Fuente: propia



Figura 37: Playa Macao

Fuente: propia



Figura 38: Destacamento policial playa Macao

Fuente: propia

Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña

Escuela de Ingeniería Civil

Ashley Miriel Medina Rodríguez

Sustentante

Jorge Adriel Mercedes

Sustentante

Ing. Cesar Mercedes

Asesor

Ing. Cesar Torres

Presidente del Jurado

Ing. Luis Guillermo Mendoza

Miembro del jurado

Ing. Teresa Rodríguez

Miembro del jurado

Ing. José Adolfo Herrera

Director escuela de Ingeniería Civil

Calificación: _____

Fecha: _____