

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA EL DESARROLLO DE UNA CENTRAL
UNDIMOTRIZ UBICADO EN LA CIUDAD DE CARTAGENA**

MARÍA FERNANDA ROJAS CASALLAS

TUTOR DEL PROYECTO DIEGO PALMA CUERO



**UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C., NOVIEMBRE DE 2020**

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA EL DESARROLLO DE UNA CENTRAL
UNDIMOTRIZ UBICADO EN LA CIUDAD DE CARTAGENA

MARÍA FERNANDA ROJAS CASALLAS

TUTOR DEL PROYECTO DIEGO PALMA CUERO



UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C., NOVIEMBRE DE 2020

Nota aceptación

Firma de tutor

Firma de jurado 1

Firma de jurado 2

Bogotá D. C., noviembre de 2020

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a Colombia que está encaminada a la utilización de energías limpias y a los miles de personas que sufren actualmente por no contar con los servicios básicos para vivir, los que se levantan día tras día a buscar que darles a sus hijos y a los que con gran esfuerzo logran salir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Hoy quiero agradecerte a muchas personas que me han acompañado a lo largo de este camino, inicialmente a Dios por permitirme llegar hasta aquí, a mis papas Jairo Rojas y Gloria Casallas por la paciencia y amor con que me criaron, también por la oportunidad de darme una educación en una gran institución ya que siempre con gran esfuerzo me apoyaron durante todos estos años de carrera de manera incondicional y me apoyan en cada paso que doy, a cada una de mis hermanas que siempre me enseñaron lo que era la constancia y responsabilidad, a mi compañero Kevin que a lo largo del proyecto me daba ánimos y me alentaba a continuar, a Celina y Camila que más de un día tuvieron que verme baja de ánimo por las traspasadas y madrugadas y mi inmensa gratitud a mi maestro el ingeniero Diego Palma que realizó una gran labor de soporte, acompañamiento y supervisión.

TABLA DE CONTENIDO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.1 IDENTIFICACIÓN.....	12
1.2 DESCRIPCIÓN.....	14
1.3 PLANTEAMIENTO	15
2. DELIMITACIÓN.....	16
2.1 CONCEPTUAL	16
2.2 GEOGRÁFICA.....	17
3. OBJETIVOS	18
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
4. ANTECEDENTES	19
4.1 INTERNOS	19
4.2 EXTERNOS.....	20
5. JUSTIFICACIÓN	21
6. MARCO REFERENCIAL.....	23
6.1 MARCO TEÓRICO	24
6.2 MARCO INSTITUCIONAL	29
6.3 MARCO LEGAL.....	30
7. METODOLOGÍA.....	32
8. RESULTADOS	34
8.1 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA ENERGETICA.....	35
8.2 CUANTIFICACIÓN DEL POTENCIAL ENERGETICO EN CARTAGENA....	37
8.3 SELECCIÓN DE UBICACIÓN DEL DISPOSITIVO	41
8.4 SELECCION DEL TIPO DE CAPTADOR	44
8.4.1 BOYAS	45
8.4.2 PELAMIS	46
8.4.3 WAVE DRAGON	48
8.5 DISEÑO DEL CAMPO UNDIMOTRIS.....	52
8.5.1 SISTEMA DE CONEXIÓN Y TRANSPORTE A LA PLANTA DE DISTRIBUCIÓN	52
8.6 ANÁLISIS ECONÓMICO	54
8.6.1 VIABILIDAD ECONOMICA	54
8.6.2 COSTOS INVERSIÓN INCIAL	55
8.6.3 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	57
8.6.4 CALCULO DE LA TIR SISTEMA WAVE DRAGON.....	58
9. CONCLUSIONES.....	59
10. RECOMENDACIONES	61
Bibliografía.....	62

TABLA DE FIGURAS

Figura 1 Producción de electricidad en Colombia 2012 Fuente La ruta del clima..	11
Figura 2 Ubicación del proyecto Fuente: Wikipedia	17
Figura 3 Acceso a energía eléctrica para el 2030 Fuente: DPN	21
Figura 4 representación esquemática de los tipos de olas que existen respecto a su duración	25
Figura 5 Velocidad promedio del viento en Cartagena Fuente: Weatherspark	26
Figura 6 Clasificación de captadores de energía según su ubicación Fuente Caballero Santos 2011	26
Figura 7 Instalación de columna oscilante de agua Fuente: Caballero Santos, 2011	28
Figura 8 Ubicación de prototipos de energía Undimotriz Fuente: Mareas y energía	29
Figura 9 Potenciales de energía Undimotriz en el Mundo kW/m Fuente: Wave Energy Conversion	37
Figura 10 Ubicación de boyas en la costa Atlántica Fuente CIOH; Error! Marcador no definido.	
Figura 11 Potencia de oleaje global Fuente: CEMIE 2009	41
Figura 121 Trafico Maritimo Fuente: Marine Traffic 2020	42
Figura 13 Áreas ambientales protegidas Fuente: Sistema de información ambiental marina.....	43
Figura 14 Localización de la central undimotriz	44
Figura 15 Dispositivo AQUABUOY De Finavera Fuente https://www.global-greenhouse-warming.com/Finavera-aquabuoy.html	45
Figura 16 Energía del absorbedor puntual AQUABUOY Fuente: Propia	46
Figura 17Dispositivo PELAMIS Fuente www.pelamiswave.com	47
Figura 18 Energía del absorbedor puntual PELAMIS Fuente: Propia.....	48
Figura 19 Funcionamiento Wave Dragon Fuente www.wavedragon.net	49
Figura 20Energía del absorbedor puntual WAVEDRAGON Fuente: Propia	50
Figura 21 Comportamiento de los dispositivos con las condiciones climáticas en Cartagena Fuente: Propia.....	51
Figura 22 Distribución de costos etapa inicial.....	56
Figura 23 Costos de mantenimiento	57

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Análisis DOFA Fuente: Albert S. Humphrey	12
Tabla 2 Consumo futuro energético en Cartagena Fuente: Propia.....	37
Tabla 3 Principales características de los convertidores Fuente García Santana, 2007	50

RESUMEN

En los últimos años se han realizado varias propuestas en Colombia con el fin de reducir la población que no cuenta con servicios básicos, tanto así que se ha puesto como uno de los objetivos propuestos por el plan de desarrollo del país el aumentar la cobertura del servicio de energía eléctrica junto con impulsar la generación de energías limpias, lo que busca este trabajo de grado es contribuir con estos lineamientos a partir de un estudio de la prefactibilidad de una central undimotriz en la ciudad de Cartagena con la cual se pretende abastecer este servicio a la población futura, siempre enfocado al desarrollo de energía renovable a partir de la evaluación de los dispositivos de generación más avanzados, en este proyecto se pretende abordar temas como la ubicación del dispositivo entre los cuales se tiene en cuenta la normativa vigente para la localización, caracterización del océano y su potencial energético, costos iniciales y costos operacionales, entre otros, permitiendo una evaluación de los aspectos positivos y negativos del proyecto con el fin de resolver el objetivo principal que es determinar la viabilidad del este.

In recent years, several proposals have been made in Colombia in order to reduce the population that does not have essential services, that's the reason the increase in service coverage has been set as one of the objectives proposed by the country's development plan. of electric energy along with promoting the generation of clean energy, what this degree project seeks is to contribute with these guidelines from a study of the pre-feasibility of a central in the city of Cartagena with which it is intended to supply this service to the future population, always focused on the development of renewable energy from the evaluation of the most advanced generation devices, in this project it is intended to focus in issues such as the location of the device, among which the current regulations for the location are taken into account. , characterization of the ocean and its energy potential, initial costs and operational costs, among others, allowing an evaluation of the positive and negative aspects of

the project in order to solve the main objective, which is to determine the viability of the project.

INTRODUCCIÓN

Este proyecto permitirá orientar la promesa de una energía limpia junto con el propósito de abastecer una región del caribe colombiano, esto ya que evidentemente esta zona de Colombia ha sido foco de estudios por tener diferentes problemas de abastecimiento de servicio energético. Debido a lo anterior se realizó una recopilación de información de fuentes nacionales como el UPME y el DANE para evaluar la mejor alternativa de generación de energía a partir de una de las fuentes más grandes que tiene el privilegio de contar la ciudad de Cartagena, el cual es el océano Caribe lo que abarca el alto potencial de la recopilación de energía transmitida a través de las olas, todo esto se evaluara y estudiara con el fin de apoyar todas los planteamientos generados en el plan de desarrollo actual del país respecto a la implementación de tecnologías limpias de tal forma que se puedan reducir las formas tradicionales de generación de energía eléctrica que han traído graves consecuencias debido a las emisiones de gas invernadero.

La energía undimotriz es una energía poco conocida actualmente sin embargo podría ser un gran error el ignorar el alto potencial energético que puede llegar a generar, esto debido a que la extensión de playas y océano con las que cuenta el país es importante por lo que no debería ser ignorarla esta fuente principal de energía ya que tenemos una gran ventaja que debe ser aprovechada, de tal forma en este proyecto se evaluarán diferentes tipos de recolección de energía undimotriz realizando una comparación y evaluando los que mejor se adapten a los factores más influyentes que serían el área que ocupara el campo undimotriz sin que interfiera las diferentes vías de transporte marítimo ya que es una de las principales fuentes económicas de Cartagena, las condiciones del océano, la población futura entre otros. Entre los equipos evaluados están el sistema de boyas, la serpiente de mar o pelamis y wavedragon, como finalidad se busca proponer el sistema óptimo

de recolección de energía y el que más se adapte a las condiciones del mar caribe junto con la población de Cartagena, realizando así un estudio de costo y beneficio.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cartagena es una de las ciudades más turísticas del país que acoge a miles de extranjeros durante el año y aunque ha salido en diferentes noticias destacando las partes más hermosas de esta ciudad no es de extrañar que también ha sido foco en los noticieros, esto debido a la gran problemática que ha tenido por el mal suministro de consumo energético, para gran parte de la población, lo cual se debe a que las empresas encargadas como ELECTRICARIBE no ha podido suplir la demanda a aproximadamente el millón de personas que viven en Cartagena, de allí surgió la idea de investigar alguna forma de energía renovable constante que permita un suministro a toda la población.

Colombia es un país que actualmente tiene como principal fuente de electricidad la energía hidroeléctrica como se puede ver en la Figura 1 que cuenta con aproximadamente el 75% y en segundo puesto el gas natural que es una energía no renovable seguido de carbón los cuales suman aproximadamente un 20% por lo que, aunque puede parecer que no es un porcentaje tan alto es de gran importancia tener en cuenta ya que a partir de este tipo de energía se ha aumentado en gran medida la alta generación de CO₂.

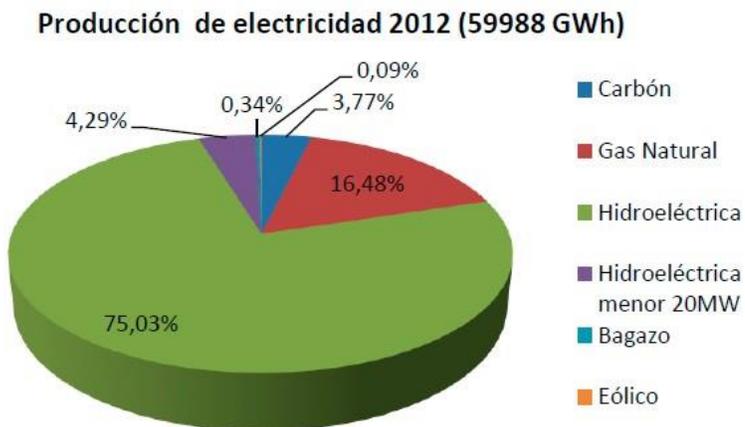


Figura 1 Producción de electricidad en Colombia 2012 Fuente La ruta del clima

1.1 IDENTIFICACIÓN

Debido al problema eléctrico en el proyecto se busca subsanar la energía eléctrica a través de un dispositivo que capte la potencia del océano y la transforme en energía eléctrica. En este proyecto se utilizará como herramienta de diagnóstico una matriz DOFA creada por Albert S. Humphrey que nos permitirá identificar, comprender y sintetizar los aspectos positivos y negativos para realizar un análisis interno de las fortalezas y debilidades así como un estudio externo de las oportunidades y amenazas del estudio de prefactibilidad de un parque undimotriz en la ciudad de Cartagena ubicada en el caribe colombiano de tal manera que al evaluar los resultados se desarrollaran las estrategias pertinentes a corto o largo plazo y cumplir las metas propuestas.(PRABOOK 2005)

	POSITIVOS	NEGATIVOS
FACTORES INTERNOS	<p>FORTALEZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Es un recurso que siempre estará disponible (inagotable). ➤ Puede amortiguar el oleaje en zonas portuarias. ➤ Recurso predecible. 	<p>DEBILIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Límite de información. ➤ Dependencia a las corrientes de aire. ➤ Demanda de recursos y tecnologías.

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Energía limpia no genera gases contaminantes. 	
FACTORES EXTERNOS	<p>OPORTUNIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Dar oportunidad de trabajo. ➤ Mejorar la calidad de vida. ➤ Valorar los recursos limitados. ➤ Da desarrollo. 	<p>AMENAZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Costos elevados. ➤ Aumento de energía a partir de cambios climáticos bruscos, huracanes, tormentas eléctricas.

Tabla 1 Análisis DOFA Fuente: Albert S. Humphrey

FACTORES POSITIVOS

Para reafirmar los factores positivos del proyecto se utilizó una matriz DOFA en donde se resaltaron las fortalezas y oportunidades que brindara el proyecto. De tal forma, se buscó plantear como la energía undimotriz permite la utilización de un recurso renovable que gracias a su poder de propagación durante largas distancias sin perder la energía, es un recurso inagotable que tiene una amplia disponibilidad, esta forma de producción de electricidad dará seguridad energética casi de la misma forma que ocurre con las energías convencionales para lo cual es pertinente resaltar que es considerada como una energía limpia que no emite ninguna clase de gases contaminantes.

De la misma forma a partir de esta iniciativa se pueden observar las grandes oportunidades que dará el proyecto, entre los cuales se encuentra un impacto positivo en la economía de Cartagena no solo ya que es una energía que permitirá abastecer la demanda, sino que a su vez podrá dar empleo a miles de personas durante la etapa constructiva del proyecto mejorando la calidad de vida de una gran población.

FACTORES NEGATIVOS

Como se puede observar en el cuadro la segunda columna es pertinente evidenciar los aspectos negativos del proyecto ya que pueden frenar o amenazar la continuación del mismo entre estos se plantean los siguientes, puede que el dispositivo que transforma la energía tenga fallas en condiciones adversas ya que una ampliación a las olas puede generar una energía muy alta que colisionaría con el artefacto de transformación, por otro lado es importante tener en cuenta la ubicación de una central undimotriz haciendo la verificación respectiva de las rutas de navegación ya que pueden causar un gran problema si frenan el transporte de carga de la ciudad ya que esto elevaría los costos de instalación y operación, finalmente uno de los más importantes retos está en cuenta los problemas que puede causar al artefacto al estar sumergido en agua de mar ya que estará expuesto a un ambiente altamente corrosivo, la inversión del proyecto inicial es la más alta ya que al ponerlo en práctica la materia que generara la electricidad tiene un coste nulo.

1.2 DESCRIPCIÓN

Desde hace algunos años Colombia ha sufrido de varios problemas energéticos y basándose principalmente en el área de estudio que es la ciudad de Cartagena la cual se eligió debido a las diferentes quejas de los usuarios, y hoy en día los problemas siguen persistiendo, ya sea por negligencia en donde principalmente se abarcan temas de corrupción, por ejemplo, otros estudios de la presente década indicaron que “En Bolívar se presentaron 19.700 peticiones, quejas y reclamos sobre problemas energéticos durante el cuarto trimestre de 2015 y el 68% provino de Cartagena. En este departamento las mayores inversiones se encuentran concentradas en el norte y centro del departamento, pero se evidencia que las poblaciones que registran más horas y frecuencia de interrupciones están en la zona sur. Entre los sectores que pasaron más horas sin el servicio en Bolívar durante ese año estuvieron los municipios de Barranco de Ioba, Guamal, Mompo, y Arjona, entre otros y en Cartagena” (Vence and Kammerer 2016)

Esta región ha estado en el foco nacional debido a que la prestación de servicio eléctrico no ha sido de calidad poniendo a los ciudadanos de la región sin el servicio en diferentes ocasiones y por tal motivo como se trabajara a lo largo de este proyecto es de gran importancia destacar que esta región tiene un potencial admirable para la Generación eléctrica basada en la energía de las Olas. La principal idea es Investigar y aportar estudios que dictaminen y establezcan si la implementación de una Central undimotriz ubicada en los mares de la región caribe es factible y si es posible aprovechar la energía que nos ofrece la naturaleza evitando una contaminación irreparable, lo que permitiría explorar más el potencial ambiental que Colombia siempre ha puesto a nuestra disposición y pocas veces se ha aprovechado, de tal forma que a partir de este proyecto se busca que el país se encamine hacia estándares más altos con energías limpias a partir de recursos que no se verán limitados en un futuro como lo es el Oleaje del mar, el cual es un recurso continuo y con un alto potencial de explotación sin afectación ambiental y que nunca se interrumpe, buscando así solventar cualquier afectación energética a mediano o largo plazo en la región caribe. “Durante la vigencia 2017 se recibieron y gestionaron 1.861 quejas, 1.205 recursos, 132 derechos de petición y se tramitaron 881 oficios enviados a las diferentes empresas de servicios públicos para coadyuvar las PQR recibidas y a los usuarios en desarrollo de las asesorías impartidas. Donde se evidenció que el proveedor de energía eléctrica, Electricaribe, obtuvo el primer lugar con 1387 quejas, 1014 recursos y 96 derechos de petición; le sigue en la lista, la empresa Acuacar, que por su parte, recibió 306 quejas, 38 recursos y 7 derechos de petición.”(CARACOL CARTAGENA 2017)

Por tal razón y con el fin de proyectar todos los beneficios que trae una central undimotriz como el mejoramiento de la problemática ambiental y ayudar de esta forma a la generación de energías amigables con el medio ambiente se establece la implementación de una central Undimotriz en una de las zonas más afectadas regionalmente en Colombia por temas eléctricos, como lo es la Región Caribe lugar que ha venido presentando desde hace ya varios años atrás situaciones en las

cuales se ha podido observar la mala ejecución por mala administración y el alto grado de corrupción.

1.3 PLANTEAMIENTO

¿Es recomendable implementar una central undimotriz en la ciudad Cartagena para suplir su demanda energética?

2. DELIMITACIÓN

La intención del proyecto es evaluar la viabilidad de la central undimotriz teniendo en cuenta diferentes factores como una ubicación óptima para la implementación de la misma, con el fin de aprovechar cada uno de los recursos y generar una energía limpia para la zona del caribe colombiano, sin embargo, solo se enfocará en el abastecimiento de la población futura de Cartagena. Aunque el proyecto tiene un gran potencial respecto a ser implementado en el país, este tipo de captación de energía actualmente se encuentra en investigación lo que lleva a que los costos de los equipos y todo lo que puede con llevar a su instalación sean importados.

Por otra parte, se espera conseguir información sobre el comportamiento del océano caribe en las cercanías de Cartagena, pero es posible que no se encuentre información actualizada que permita evidenciar los datos necesarios para una evaluación más certera ya que hay una gran falta de información debido a que las investigaciones del país se han centrado en otro tipo de energías renovables.

2.1 CONCEPTUAL

Es necesario concientizar al lector a cerca del contexto energético no solo nacional sino de la gran acogida que está teniendo este método que brinda una alta seguridad e independencia energética que promete al país una competitividad económica basado en una sostenibilidad ambiental que no generara la incertidumbre que han tenido los métodos convencionales concentrándonos exclusivamente en las energías marinas cuyo coste de potencia energética es cero,

por lo que es necesario recopilar una gran cantidad de información desde los dispositivos que se encuentran en estudio hasta los que no identificando cual es el que más se adapta a las condiciones de la región, esto con el fin de reducirla hasta el punto de evaluar si es una posibilidad económica y operacionalmente factible en el caribe Colombiano.

2.2 GEOGRÁFICA

Cartagena se encuentra localizada en la costa norte de Colombia en el departamento de Bolívar cuyas coordenadas son 10° 25' 30" latitud norte y 75° 32' 25" de longitud oeste, cuenta con una población de más de un millón de habitantes lo que equivale a una densidad 1811.91 hab/km², el instituto geográfico Agustín Codazzi Cartagena identifica la climatología del caribe colombiano con tres épocas, época seca que inicia desde el mes de diciembre hasta el mes de marzo, predomina el flujo de los vientos alisios del noreste, que se producen por el descenso del sistema de altas presiones de las azores, época húmeda que inicia cada año desde el mes de agosto, extendiéndose hasta el mes de noviembre y primeros días del mes de diciembre, durante este lapso de tiempo las condiciones atmosféricas se ven influenciadas por la disminución de los vientos de manera considerable y época de transición Durante este periodo que inicia a finales del mes de abril hasta el mes de julio, se presenta una variabilidad en la dirección del viento que comienza siendo de dirección norte y luego a finales de esta época mantiene un predominio del sur.(Cartagena 2020)



Figura 2 Ubicación del proyecto Fuente: Wikipedia

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio de prefactibilidad para evaluar la viabilidad de implementar una central undimotriz con el fin de abastecer a partir de energía renovable la ciudad de Cartagena.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar como solución alternativa una central undimotriz a los problemas de electricidad que se presentan actualmente en la costa de Cartagena.
2. Determinar la demanda de consumo energético que tiene actualmente Cartagena y proyectar su demanda futura en un rango de 20 años.
3. Establecer la viabilidad económica del proyecto comparando los costos y beneficios de este, tanto en el área de inversión inicial como en el área operativa y de mantenimiento del proyecto. (CAPEX-OPEX).

4. Contribuir al proyecto de investigación INP-ING-3121.

4. ANTECEDENTES

En los últimos años es evidente como los recursos se han ido acabando debido a un mal aprovechamiento de los mismos, sin embargo uno de los servicios que más requerimos las personas es la electricidad y anteriormente este recurso se tomaba a partir de minerales que se han ido acabando, lo cual ha resultado en uno de los problemas más grandes en el mundo que es la generación de la misma ya que como se menciona anteriormente ha sido generada a través de ciertos minerales ilimitados que ya no dan abasto y es la consecuencia al planteamiento por parte de muchos países de la utilización de recursos renovables o amigables con el ambiente.

Esta energía undimotriz empezó a salir a flote hace algo menos de 100 años y esta básicamente basado en aprovechar la oscilación del agua dentro de una cámara semi sumergida y abierta en el fondo del mar como lo hacen las centrales hidroeléctricas, esto explicado de la siguiente forma "Las oscilaciones producen cambios de presión en el aire del interior de la cámara, de manera que existe un flujo de un fluido de trabajo que se puede aprovechar si se le hace pasar a través de la turbina, que convierta la diferencia de presiones de la cámara en energía

mecánica en un eje. Finalmente, una máquina de inducción acoplada a la turbina y conectada a la red, proporciona la salida eléctrica” (Fernández 2008). La energía undimotriz ha sido estudiada en los últimos años en diferentes lugares y ha sido parcialmente implementada en Europa muy cerca a Italia lo que ha concebido a las olas un gran potencial para el aprovechamiento de la energía, también es importante partir por evaluar porque no ha sido implementado completamente cuya razón es que tiene un alto grado de dificultad el extraerla, convertirla y transportar, sin embargo el avance de estudios ha permitido la recopilación de información para esta prometedora alternativa de energía limpia.

4.1 INTERNOS

Todos sabemos que actualmente la energía se ha vuelto una necesidad para la humanidad y un servicio básico para vivir, por lo que actualmente en muchos lugares del mundo se puede ver como este servicio hace parte de una desigualdad tanto social como económica como es evidente en nuestro país, por lo que en este proyecto se busca evaluar la ciudad de Cartagena que ha sido blanco en las noticias por la gran problemática de electricidad causado por la empresa Electricaribe y la gran problemática que genera el no tener este recurso que cada día es más demandado y razón por la cual el país está poniendo como prioridad realizar inversiones a energías limpias “Las inversiones renovables en Colombia se siguen consolidando en 2019. Con veintitrés contratos a 15 años adjudicados a Enel-Codensa en la subasta a largo plazo, Colombia busca integrar las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) en el Sistema Interconectado Nacional. A través de estos contratos, la Compañía comprará 873 GWh año a un precio promedio de \$97, que provendrán de granjas solares y plantas eólicas, y que permitirán el cubrimiento parcial de las necesidades de suministro de energía” (Jorge Segura n.d.) ,de tal manera y en favor a la visión del país se quiere plantear la forma de aprovechar el océano para la generación de energía sostenible en la ciudad de Cartagena la cual se encuentra ubicado en una de las zonas costeras de Colombia.

4.2 EXTERNOS

A pesar de que la energía undimotriz no es muy conocida a nivel mundial si es destacable cientos de estudios que se han realizado con base a esta principalmente en países entre los cuales se encuentra Portugal, Escocia, Australia, España y de más que han realizado diferentes prototipos con el fin de evaluar la forma más eficiente de aprovechar la transformación energética y la operación de esta.

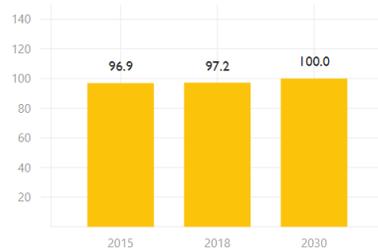
La situación energética mundial ha realizado estudios de como el aumento del petróleo y el gas seguirán aumentando de la misma forma en que lo hará el consumo energético en todo el mundo y como lo ha hecho ver un estudio realizado por el Instituto Español de Oceanografía IEO el uso de energías va a seguir siendo enfocado en el más utilizado, los combustibles fósiles.

5. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto se basa en los lineamientos trazados por el plan de desarrollo en Colombia firmado por el presidente de la república Iván Duque, en donde dentro de sus OBS (Objetivos de Desarrollo sostenible) numeral siete pretende implementar la energía asequible y no contaminante en el país, aumentando así la cobertura eléctrica y beneficiando a más usuarios, por tal motivo el planteamiento de este proyecto estará siempre encaminado a el futuro, energías completamente limpias que contribuyan a la protección del ecosistema sin dejar a un lado la importancia del costo del mismo. Simultáneamente como lo muestra la Figura 3 se proyecta que es posible que en el año 2030 el 100% de la población ubicada en el Caribe Colombiano cuente con acceso a la energía eléctrica, en la cual contar con la implementación de una central undimotriz ayudaría a resolver el alcance de dicho objetivo propuesto. (Fondo de promoción turística de Colombia 2012)

A 2030, el 100% de los colombianos tendrán acceso a energía eléctrica

Cobertura de energía eléctrica (%)



Metas Regionales a 2030

El mapa muestra el cambio para lograr la meta a 2030 en puntos porcentuales



Fuente: Cálculos DNP, Departamento Administrativo de la Función Pública. Ponderación de metas por cierre de brechas y población.

Figura 3 Acceso a energía eléctrica para el 2030 Fuente: DPN

La presencia de un proyecto que permita generar energía con a bajo costo y que promueva la utilización de recursos renovables es un proyecto en el cual todos deberían interesarse no solo porque evalúa las ventajas y desventajas de este, sino que promueve una unificación social y económica que permitirá que todos los ciudadanos ubicados en la región del Caribe tengan la oportunidad de tener un recurso básico.

Cartagena está ubicado en una zona cuyas temperaturas alcanzan hasta los 40°C esto indica que los ciudadanos no pueden realizar labores cotidianas sin un buen servicio de electricidad que permita el funcionamiento del sistema de ventilación o aire acondicionado, también es importante observar que la población más vulnerable en el sur occidente de la ciudad es la que más ha tenido problemas con el servicio con intervalos de hasta 12 horas sin contar con el servicio eléctrico, esto ha afectado desde viviendas, comercios y escuelas frenando completamente las actividades habituales por lo que los ciudadanos exigen una pronta respuesta.

Por tal motivo el periódico el tiempo realizo un artículo donde busca entender el problema principal y las consecuencias de la corrupción en la región del Atlántico ¿Cuál es la mayor consecuencia de la corrupción en Cartagena? La mayor

consecuencia de la corrupción es la pobreza y la desigualdad. Una ciudad tan rica, como es Cartagena, que tiene posiblemente más ingreso per cápita que cualquier ciudad del país, y le entra muchísimo dinero, pero existe tanta pobreza y desigualdad. ¿Cuánto dinero le arrebató la corrupción a Cartagena anualmente? Sostengo que la corrupción se lleva el 70 por ciento de los recursos de la ciudad. Eso es 1,2 billones de pesos al año. Es por ello por lo que nunca se van a solucionar los problemas. Por el contrario, van a ser peores. (John Montaña 2019)

6. MARCO REFERENCIAL

La crisis energética mundial ha estado fuertemente enlazada a todo aquello que está relacionado con los combustibles fósiles y la gran problemática que genera la subida de precios del petróleo

por tal motivo en la tesis energía undimotriz costa caribe colombiana citar se realizó un estudio a partir de diferentes boyas oceanográficas para registrar las diferentes variables atmosféricas que definían variables del océano caribe como la dirección tanto del viento como de las olas, altura, periodo, temperatura entre otros factores que pueden ser relevantes para la optimización de esta energía.

Uno de los proyectos que más ha generado beneficios e información acerca de la energía undimotriz es el realizado en Satoña España donde en el año 2005 se anunció la construcción de la primera planta europea de energía undimotriz cuyo oleaje en esta zona tiene una amplitud entre 1 y 5 m [Barrero, 2008]. La planta es un proyecto piloto de los parques de olas con esta tecnología, de manera que, si las

expectativas se cumplen, se pueden llegar a instalar hasta 100 MW de potencia. La empresa responsable del proyecto es IBERDROLA Energías Marinas de Cantabria S.A., en la que participan IBERENOVA (60%), la empresa francesa Total (10%), OPT (10%), el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía, IDAE, (10%) y la Sociedad para el Desarrollo Regional de Cantabria, Sodercan, (* 410%). La central estará formada por diez boyas que generarán, en conjunto, entre 1,25 y 2 MW de potencia, ocupará una superficie de 2000 m y estará situada a una distancia de la costa de 3,6 km, donde la profundidad es de 50 m. En la misma planta hay dos tipos de boyas, que reciben el nombre de PB40 y PB150, en función de su nombre, en inglés (PowerBuoy), y su potencia nominal. Así, una de ellas, la única instalada en este momento, es de 40 kW, y las nueve restantes, de 150 kW, ampliables a 250 kW, amarradas a una profundidad de 30 y 20 m, respectivamente. Cada boya tiene 6 m de diámetro y está introducida en un compartimento cilíndrico estanco de unos 20 metros de longitud.

Central undimotriz de Motrico Artículo principal: Central undimotriz de Motrico

La central undimotriz de Motrico se ubica en la población guipuzcoana de Motrico en el País Vasco. Se inauguró el 8 de julio de 2011, consta de 16 turbinas con una potencia total de 296 kW capaces de producir 970 MWh al año. Es primera planta comercial de energía undimotriz a nivel mundial.

Esta planta está ubicada en el dique exterior de abrigo del puerto de Motrico y utiliza la tecnología denominada columna de agua oscilante (OWC, oscillating water column) con la cual la corriente de aire que se produce cuando el nivel del agua en unas celdas cerradas asciende y desciende debido al movimiento de las olas mueven sendas turbinas.

El proyecto pertenece al Ente Vasco de la Energía, EVE y tuvo un coste de 6,7 millones de euros de los cuales el gobierno vasco aportó 2,73 siendo el coste de la central de 2,3 millones y el del dique en el que se ubica de 4,4 millones de euros. La instalación la realizó la empresa escocesa Wavegen que pertenece al grupo Voith cuya división Voith Siemens Hydro Power

Generation ha desarrollado la tecnología OWC (columna de agua oscilante). Las turbinas fueron fabricadas en la planta que esta empresa tiene en la localidad guipuzcoana de Tolosa.

6.1 MARCO TEÓRICO

Las olas como sabemos están vinculadas a características ajenas a la tierra como el movimiento del sol y la luna ya que en el momento en que la luna se encuentra más cerca de la tierra es de gran importancia ese recurso debido a que el oleaje actúa como un acumulador de energía que es capaz de recibir energía transportarla y almacenarla hasta que se disipa como punto final en el océano, por esta razón se quiere realizar un aprovechamiento más profundo de esta para generar energía eléctrica que ayude con problemáticas sociales que hay actualmente en el país, sin embargo para considerar esta opción es de gran importancia verificar todos los factores que pueden interferir en el cumplimiento de dicho objetivo, ya que hay que considerar factores ambientales, económicos y aquellos que interfieran en un óptimo desarrollo de la central undimotriz. De tal forma como primera medida es de gran importancia hacer énfasis en la energía potencial del mar que como se puede observar en la Figura 4 ya que las olas son originarias de movimientos del viento y son capaces de viajar durante miles de kilómetros sin disipar su energía

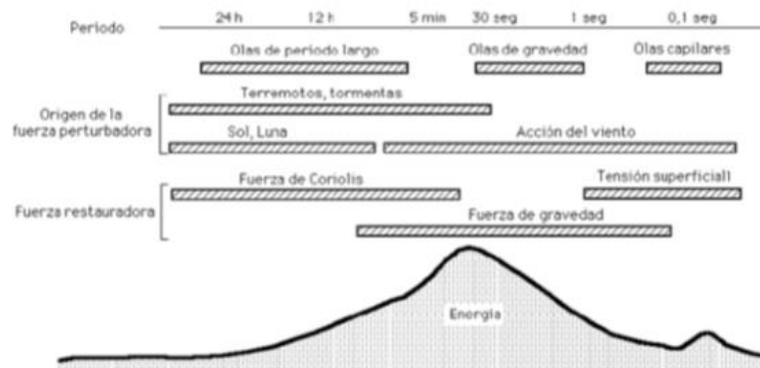


Figura 4 representación esquemática de los tipos de olas que existen respecto a su duración

Fuente: Ed ambiental

El oleaje actúa como un acumulador de energía en el sentido en que es capaz de recibir energía, transportarla de un lugar a otro y almacenarla. Como la densidad del aire es mucho menor que la del agua, en la superficie libre las partículas tienen más libertad para la traslación. A causa de esto, las olas se transmiten a lo largo de miles de kilómetros por la superficie del mar, pero no hacia el fondo. Además, poseen la capacidad de desplazarse durante grandes distancias con pérdidas de energía mínimas y, por esta razón, la energía generada en cualquier parte del océano acaba en el borde continental, de esta manera la energía de las olas se concentra en las costas. (Fernández 2008)

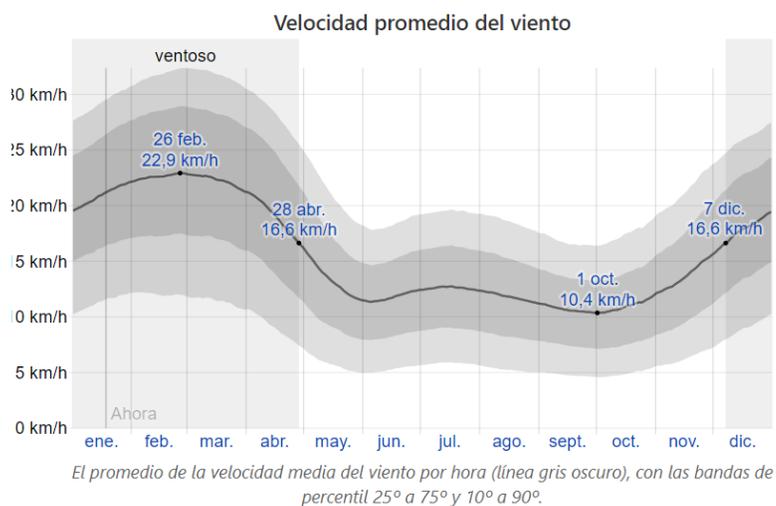


Figura 5 Velocidad promedio del viento en Cartagena Fuente: Weatherspark

De tal forma es de gran importancia evaluar ciertos criterios a la hora de generar el mayor aprovechamiento de esta fuente de energía por lo que el criterio de Caballero santos es una de las teorías que se podrán evaluar en este donde lo mas importante es basarse en la ubicación, tamaño y orientación, extracción de energía, captación y posición del agua

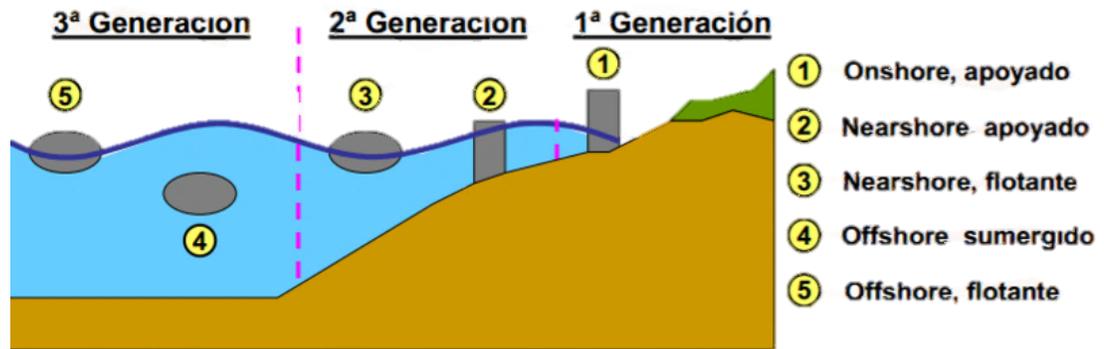


Figura 6 Clasificación de captadores de energía según su ubicación Fuente Caballero Santos 2011

- 1) Según la ubicación como se observa en la Figura 6
 - a) Dispositivos en costa (on-shore) Se trata de dispositivos apoyados o sujetos en la costa: en acantilados rocosos, integrados en estructuras fijas como diques rompeolas o sobre el fondo en aguas poco profundas. Estos dispositivos también se conocen como Dispositivos de Primera Generación. Los dispositivos on-shore o de costa presentan ciertas ventajas importantes en términos de facilidad de instalación, inexistencia de amarres, bajos costes de mantenimiento, mayor supervivencia y menor distancia a costa para el transporte e integración de la energía producida.
 - b) Dispositivos cerca de la costa (near-shore en inglés): Son dispositivos localizados en aguas poco profundas (10-40m) y distanciados de la costa unos cientos de metros. Estas profundidades moderadas son apropiadas para dispositivos de gran tamaño apoyados por gravedad sobre el fondo o flotantes. Estos dispositivos también se conocen como Dispositivos de Segunda Generación. La elección de una ubicación near-shore o cerca de costa se realiza para superar los problemas asociados a los dispositivos en costa y evitar la necesidad de sistemas de excavación costosos.
 - c) Dispositivos fuera de la costa u off-shore: Se trata de dispositivos flotantes o sumergidos ubicados en aguas profundas (50-100m). Son el tipo de convertidores más prometedor ya que explotan el mayor potencial energético

existente en alta mar. Estos dispositivos también se conocen como Dispositivos de Tercera Generación. Hasta el momento, su desarrollo se ha visto perjudicado y retrasado porque deben hacer uso de tecnologías muy fiables y costosas que garanticen su supervivencia ya que ésta representa un aspecto clave para este tipo de dispositivos. Por lo tanto, la explotación de la energía del oleaje offshore de modo rentable requiere de plantas con potencias instaladas de decenas de 55 megavatios formadas por conjuntos de unidades. Estas plantas multidispositivo pueden llegar a ocupar superficies extensas y en consecuencia pueden llegar a interferir con la navegación, este tipo de tecnologías así como prometen un mayor potencial en la captación de energía también generan una lista similar en sus desventajas y costos ya que están más propensas a recibir los impactos de tormentas tropicales y huracanes, fenómenos que alteran las olas considerablemente, aumentando así el flujo energético promedio de la ola, lo que dañaría a los generadores que son calculados para cierta capacidad.

2) Según el principio de captación

- a) Columna de agua oscilante (OWC: OscillatingWaterColumn): Mediante una cámara semi sumergida abierta por la parte inferior, el movimiento alternativo de las olas hace subir y bajar el nivel de agua en la misma, desplazando el volumen de aire interno. Este flujo de aire acciona una turbina que con un diseño especial gira siempre en el mismo sentido a pesar del flujo de aire bidireccional.
- b) Cuerpos activados por olas: se trata de dispositivos que se mueven por la acción de las olas, de manera relativa entre dos cuerpos, o absoluta entre un cuerpo y una referencia fija.
- c) Sistemas de rebosamiento: consiste en la existencia de un depósito por encima de la cota de la superficie del agua del mar, que se llena por la acción

de las olas, de tal manera que al vaciarse mueve una turbina que es la encargada de la generación de energía eléctrica.



Figura 7 Instalación de columna oscilante de agua Fuente: Caballero Santos, 2011



Figura 8 Ubicación de prototipos de energía Undimotriz Fuente: Mareas y energía

6.2 MARCO INSTITUCIONAL

La Universidad Militar Nueva Granada en sus políticas de fomentar funciones de investigación y extensión ha apoyado e incentivado a los estudiantes a convertirse en personas curiosas que a partir de las herramientas y áreas de conocimiento prestadas adquirirán un pensamiento de resolución que le permitan

innovar y crear, la universidad se ha caracterizado en no solo proporcionar las herramientas académicas sino también el apoyo y el aporte de herramientas tecnológicas junto con el fuerte sentido de formar académicos con un alto sentido humanístico y social que aporten en diferentes áreas de la ciencia, lo que encamina a que los estudiantes tengan un pensamiento crítico y una alta capacidad para resolver problemas anticipando, proponiendo y desarrollando soluciones que respondan a las necesidades de la sociedad.

Por lo que a partir de este proyecto de prefactibilidad para el desarrollo de una planta undimotriz se cumple con uno de los objetivos mas importantes para la institución poniendo como pilar principal promover el liderazgo, la creatividad y la innovación por parte de los profesionales que permitan a futuro un avance colectivo para el país sin dejar de lado la importancia de manejar una tecnología amigable con el medio ambiente ya que el consumo de energía aunque es un recurso que toda la población debería tener a sufrido carencias en algunas partes del país y es labor de nosotros como futuros profesionales buscar y proponer soluciones que permitan un manejo adecuado de los recursos.

Por lo que debido a la anterior y con base a los lineamientos adquiridos por la universidad en este proyecto se busca el aprovechamiento de todos los recursos amigables con el ambiente que permitan la generación de energía limpia aprovechando la ubicación geográfica en la que se encuentra el proyecto colindante con el mar Caribe.

6.3 MARCO LEGAL

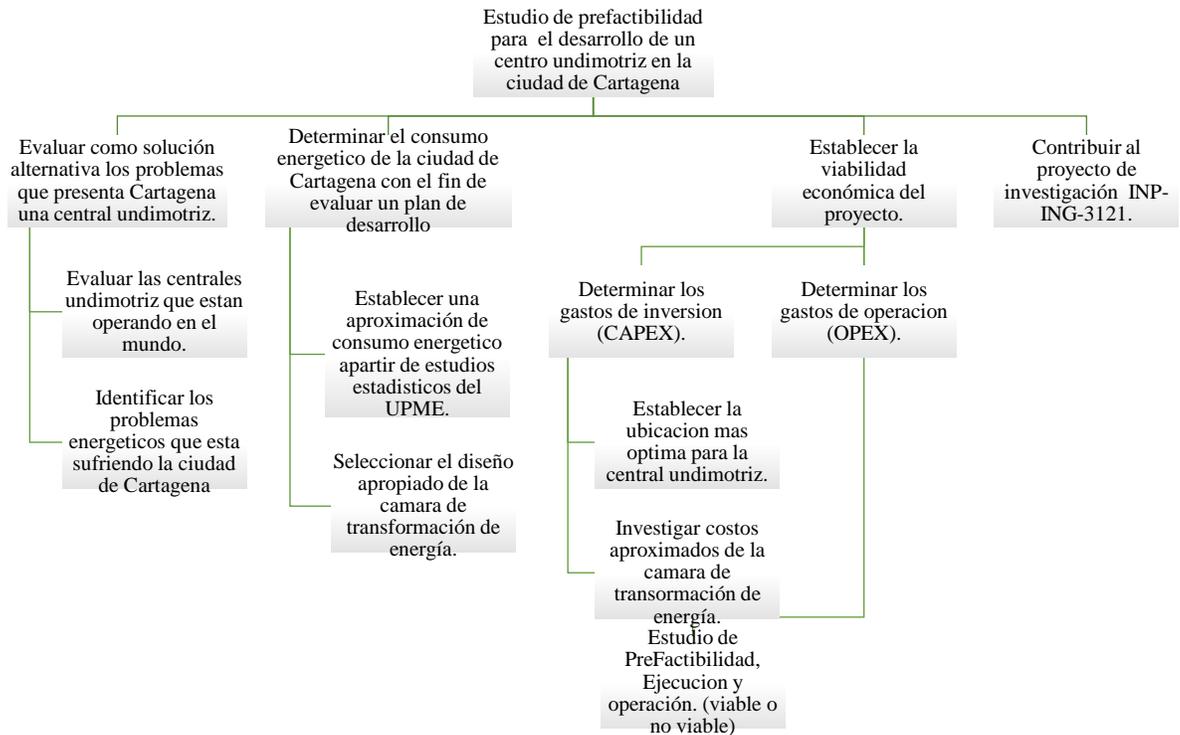
En Colombia actualmente la normativa que hace referencia a la generación de energía eléctrica renovables se presenta a continuación:

1. Ley 143 de 1994; por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, trasmisión, distribución y comercialización de electricidad en el

- territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética. (CONGRESO DE LA REPUBLICA, 1994).
2. Ley 697 de 2001; Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. Este documento es de tipo Leyes y pertenece a Normatividad del Marco Legal de la Entidad. (CONGRESO DE LA REPUBLICA, 2001).
 3. Decreto 570 de 2018; Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con los lineamientos de política pública para la contratación a largo plazo de proyectos de generación de energía eléctrica y se dictan otras disposiciones. (Ministerio de Minas y Energía, 2018).
 4. Ley 1715 de 2014; Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. (CONGRESO DE LA REPUBLICA, Secretaria Senado, 2014)
 5. Ley 1665 de 2013; Por medio de la cual se aprueba el "ESTATUTO DE LA AGENCIA INTERNACIONAL DE Energías RENOVABLES (IRENA)", hecho en Bonn, Alemania, el 26 de enero de 2009. (CONGRESO DE LA REPUBLICA, Secretaria Senado, 2013)
 6. Resolución 40095 de 2016; Por medio el cual el Ministerio de minas y energía. adopta el plan de expansión de referencia transmisión 2015-2029, elaborado por la unidad de planeación minero-energética, UPME. (Ministerio de minas y energía, 2016)
 8. Norma Técnica Colombiana 5120 (NTC-5120); Clases de molinos, y soportes flotantes o insitu a usar. (ICONTEC, 2013)
 7. Decreto número 1543 de 2017, por el cual se reglamenta el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía, Fenoge, adicionando una Sección 5 al Capítulo 3 del Título III de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía 1073 de 2015.

7. METODOLOGÍA

La metodología de este proyecto se orientará a cumplir con los objetivos planteados, de tal forma que estará enfocada a describir cada una de las etapas que se desarrollarán a lo largo del trabajo para cumplir con el objetivo principal del mismo que es: Realizar un estudio de prefactibilidad para evaluar la viabilidad de implementar una central undimotriz con el fin de abastecer a partir de energía renovable la ciudad de Cartagena.



Por medio de un mapa conceptual se quiere exponer la metodología que se planteara en el proyecto con el fin de cumplir cada uno de los objetivos del estudio de prefactibilidad para la implementación de una central undimotriz, evaluando de tal forma la viabilidad del proyecto de investigación en la ciudad de Cartagena, planteando el equipo que más se acomode a las condiciones de la ubicación de la central junto con la evaluación de cada uno de los costos del proyecto, esto por medio de una proyección del consumo energético y basado en estudios anteriores dar una aproximación de los gastos destinados a la operación y mantenimiento definiendo de esta forma la viabilidad del proyecto que permitiera de igual forma contribuir a el proyecto realizado en la Universidad Militar INP-ING-3121.

8. RESULTADOS

Como se ha mencionado a lo largo del trabajo de grado Cartagena es una ciudad que ha sufrido constantemente del servicio eléctrico debido a diferentes factores, por esto el objetivo del proyecto es dar solución a esta problemática, a través de las diferentes entrevistas realizadas y transmitidas por los medios de comunicación se ha evidenciado que la temporada en que los ciudadanos más utilizan el servicio es durante los fenómenos en donde las temperaturas del año son muy altas cómo es

posible observar en la Figura 9 , a la misma vez las quejas no cesan por el mal servicio de la compañía prestadora del servicio la cual en repetidas ocasiones ha expresado que los ciudadanos no están pagando la cuota de electricidad a pesar de que se les está suministrando un servicio.(Caballero Santos 2011)

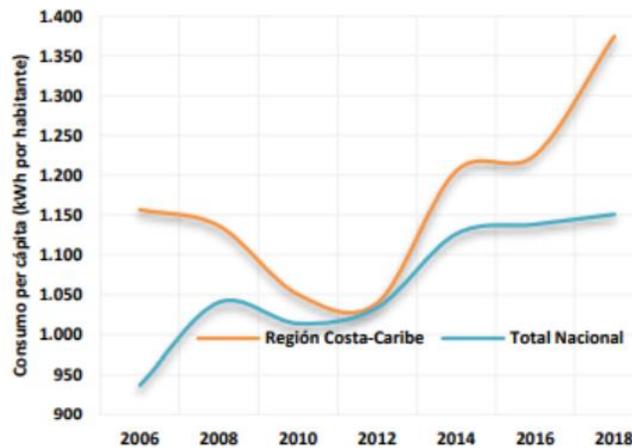


Figura 9 Consumo per cápita Región Caribe Fuente: UPME

Por otro lado ya se tiene proyectado el aumento inevitable de consumo energético en donde las reservas de combustibles no darán abasto, lo que ha puesto a que todos los países estén enfocados y encaminados a un planeta sostenible abriendo paso a diferentes formas de energía sostenible, renovable y limpia como es de gran ejemplo la energía eólica que ha tenido un alto crecimiento durante la última década de un 39% (CALGAR M., 2006), por ende se ha podido evidenciar en nuestro día a día el impacto que ha traído el cambio climático ha puesto en alerta a todos los países por esto este proyecto tiene la finalidad de reducir de forma considerable las emisiones de gases de efecto invernadero a partir de un cambio en la generación de energía eléctrica en el caribe Colombiano cumpliendo con una de las proyecciones de Flanney, quien ha estimado que en el año 2050 las emisiones de CO2 se debe reducir en un 70% a pesar de que el consumo energético se verá altamente incrementado en todo el mundo (MITECO 2011)

8.1 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA ENERGETICA

Para realizar una estimación de la cantidad de energía eléctrica utilizada en la región caribe durante los próximos 25 años se revisarán documentos y estudios realizados por el UPME (Unidad de planeación Minero-Energética) junto con datos suministrados por entidades también nacionales como el DANE, esto con el fin de evaluar la cantidad de población y viviendas a nivel nacional registradas a través del SENS0 obteniendo, así como resultado final la demanda energética.(Ortega Arango 2010)

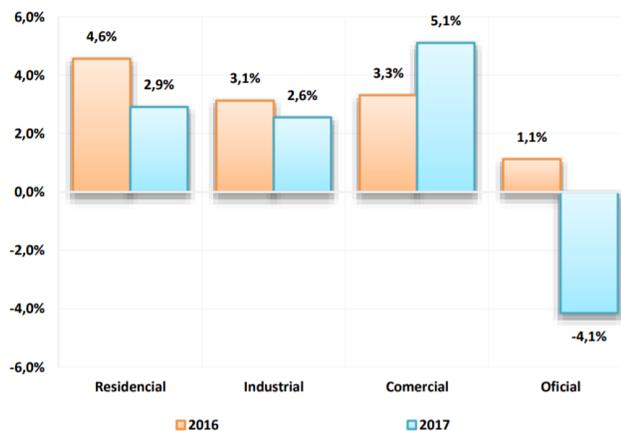


Figura 10 Crecimiento promedio en el consumo de energía eléctrica Costa Caribe Fuente: SUI

Como se puede observar en la Figura 10 desde hace unos años el consumo energético en Cartagena se ha venido concentrando en la parte comercial he industrial de la ciudad a lo que se puede deber lo que se puede explicar a través del igual crecimiento de la región, para determinar la proyeccion se tomaron las bases de datos del UCP las cuales como se puede evidenciar en la Tabla durante los años 2017 al actual ha venido creciendo en consumo de manera típica por lo que se evidencia a su vez una correlación hasta el año 2031 y de igual forma definir y proyectar el aumento hasta el año 2045 y; de tal forma que se puede realizar una proyección de la magnitud de la obra, el UPME empleo la modelación a largo plazo a partir de un modelo VAR endógeno, un VAR exógeno y un VEC con variables exógenas que permitieron una correlación positiva y significativa a lo largo del tiempo entre la demanda eléctrica, el PIB total y la Temperatura Media Áreas Geográficas Figura 11. (UPME, 2019)

	Esc. Alto	Esc. Medio	Esc. Bajo
2017	3.390	3.311	3.234
2018	3.585	3.447	3.371
2018	3.694	3.584	3.475
2020	3.802	3.689	3.577
2021	3.915	3.799	3.684
2022	4.030	3.911	3.793
2023	4.145	4.023	3.903
2024	4.226	4.104	4.016
2025	4.391	4.262	4.135
2026	4.519	4.387	4.256
2027	4.656	4.517	4.383
2028	4.791	4.651	4.514
2029	4.931	4.788	4.647
2030	5.079	4.932	4.787
2031	5.234	5.083	4.934

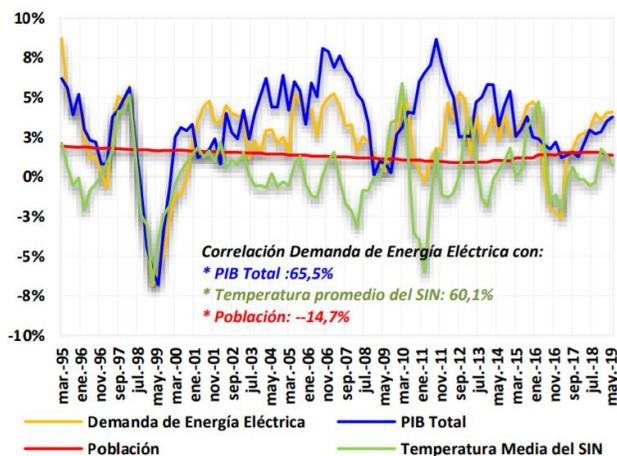


Figura 11 Crecimiento anual de las variables empleadas en las proyecciones Fuente: UPME

Tabla 2 Proyección de la demanda de energía eléctrica Mwh/año Fuente: UCP Cartagena

A partir de la correlación se obtuvo la estimación del consumo eléctrico para el año 2045 como se observa en la Tabla 2 por lo que se espera que la demanda de electricidad se comporte de la siguiente forma

CARTAGENA

AÑO	MWh/año
2019	3.666,0

2020	3.804,0
2025	4.639,0
2030	5.635,0
2035	6.947,5
2040	8.657,8
2045	10.789,2

Tabla 2 Comportamiento futuro de consumo energético en Cartagena Fuente: Propia

8.2 CUANTIFICACIÓN DEL POTENCIAL ENERGETICO EN CARTAGENA

Con el fin de realizar una cuantificación del potencial energético en el Caribe colombiano el cual se afirma que el promedio anual de niveles de energía undimotriz oscila entre 10 y 20 Kw/m (Brooke, 2003) como se observa en la Figura 12 Potenciales de energía Undimotriz en el Mundo kW/m Fuente: Wave Energy Conversion.(Perez Zapata 2018)

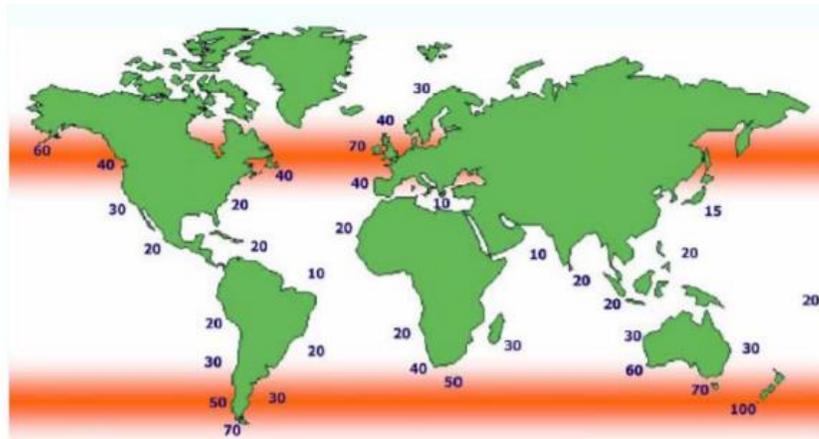


Figura 12 Potenciales de energía Undimotriz en el Mundo kW/m Fuente: Wave Energy Conversion

La cantidad de energía potencial con la que cuenta el mar caribe se tomó a partir de la información suministrada por CIOH, esto con el fin de determinar la potencia real de la zona de estudio para así elegir el método de captación más acertado. Esta información fue captada a través del pronóstico de las condiciones meteorológicas y oceanográficas el cual tiene como propósito registrar las diferentes variables que tiene este zona del océano dentro de estas se encuentran la altura y dirección de

las olas, periodo, dirección y fuerza del viento, temperatura del agua y aire y varios.(Kurnia 2017)

A partir de toda la información suministrada en el año 2015 y 2016 sobre el oleaje significativo de la zona de estudio fue posible realizar una extracción de información para obtener la altura significativa H_s a partir de ecuaciones de conversión en donde se puede observar que existe un alta variación durante cada mes del año y por lo tanto se debe considerar ya que de esta es que depende el suministro de energía constante e influirá en la central undimotriz. (PreCaAltamar, 2018)

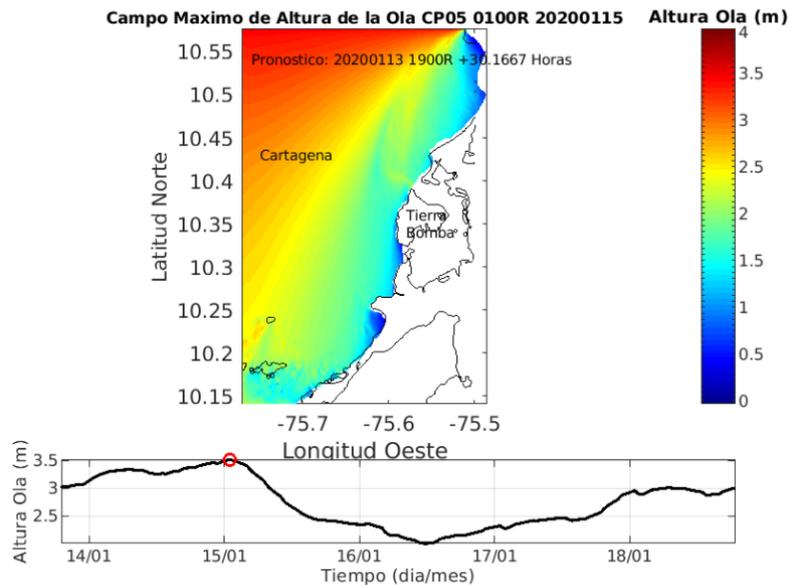


Figura 13 Oleaje significativo en (m) año 2020 Fuente: CIOH

MES	ALTURA SIGNIFICATIVA (m)
Enero	2.20
Febrero	1.2
Marzo	2.2
Abril	1.8
Mayo	1

<i>Junio</i>	1.2
<i>Julio</i>	1.2
<i>Agosto</i>	1
<i>Septiembre</i>	0.4
<i>Octubre</i>	0.4
<i>Noviembre</i>	0.45
<i>Diciembre</i>	0.7
<i>Enero</i>	2.50

Tabla 3 Altura Significativa de olas en (m) Fuente: CIOH

De la misma forma para buscar una correlación del comportamiento de las olas del mar en la zona delimitada del Caribe se utilizaron las variables más importantes como la altura significativa de la ola y el periodo de está poniendo un escenario en el que estas variables son constantes se utilizaría la ecuación (1) pero debido a que el mar contiene posee diferentes alturas, periodos y direcciones se utiliza un factor de corrección dado en la ecuación (2) (Thomas et al. 2011)

$$P = \frac{\rho g^2 H^2 T}{32\pi} \quad (1)$$

En el que:

P = Potencia es medida en W

ρ = Densidad del agua salada (1025kg/m³)

g = 9.8m/s²

H = Altura significativa de la ola en m

T = Periodo de las olas

$$P = k H_s^2 T e \quad (2)$$

Donde

$$k = \frac{\rho g^2}{64\pi}$$

$$k = 3.1416$$

Por lo que el potencial undimotriz

$$P = 0.49Hs^2T$$

$$P = 0.49 * (2.20m)^2 6s$$

$$P = 14.23kW$$

MES	ALTURA SIGNIFICATIVA (m)	POTENCIA (Kw/m)
Enero	2,20	14,23
Febrero	1,20	4,23
Marzo	2,20	14,23
Abril	1,80	9,53
Mayo	1,00	2,94
Junio	1,20	4,23
Julio	1,20	4,23
Agosto	1,00	2,94
Septiembre	0,40	0,47
Octubre	0,40	0,47
Noviembre	0,45	0,60
Diciembre	0,70	1,44
Enero	2,50	18,38

Tabla 4 Conversión de altura significativa a Potencia Fuente: Propia

8.3 SELECCIÓN DE UBICACIÓN DEL DISPOSITIVO

Para determinar la ubicación más acertada para la operación e instalación de la central undimotriz se tuvieron en cuenta los siguientes cuatro criterios: la batimetría, el tráfico marítimo, el que no se considere una zona protegida y por último la energía que puede aportar según la altura significativa de la ola.(Caballero Santos 2011)

Como primer criterio se evalúa la energía, debido a que se busca aprovechar los sitios donde haya la mayor disponibilidad del recurso

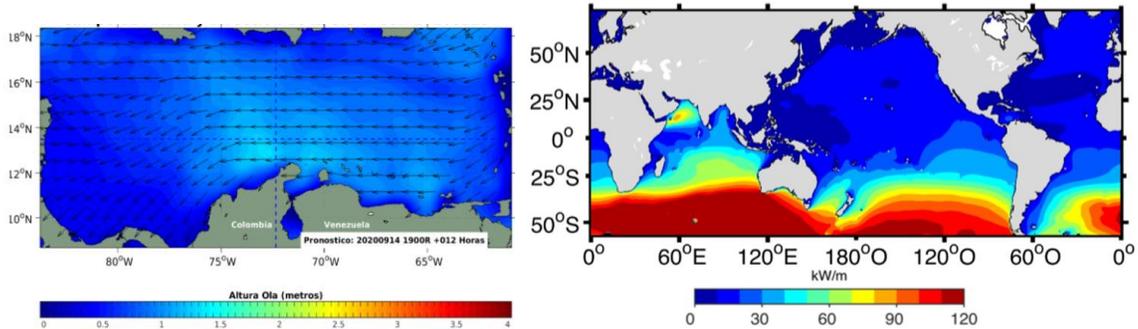


Figura 14 Potencia de oleaje global Fuente: CEMIE 2009

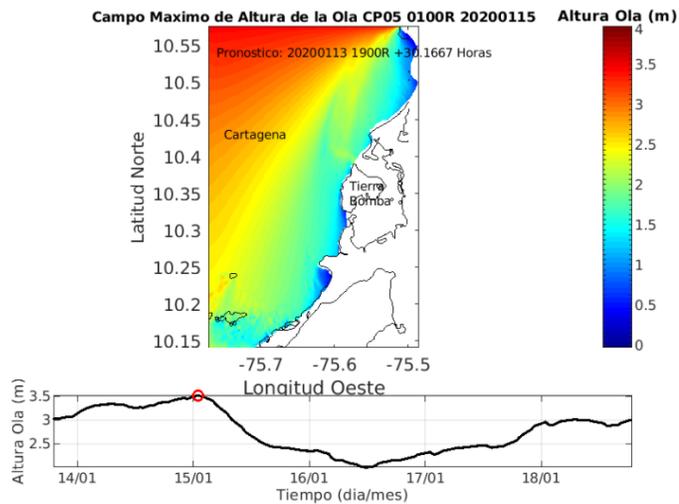


Figura 15 Potencial del oleaje en la zona de estudio

Como segundo criterio se evalúa la profundidad entre los 40 y 60m ya que los dispositivos elegidos pueden trabajar en profundidades intermedias o altas, sin embargo, las altas profundidades implican altos costos.

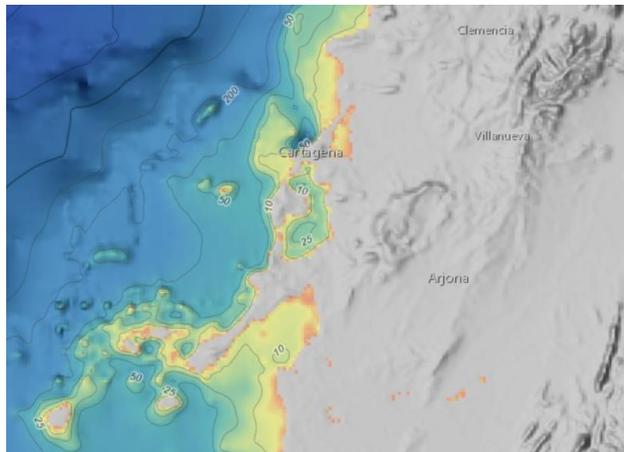


Figura 11 batimetría de la zona de estudio Fuente: National Centers for environmental information, 2020

El tercer criterio se basa en revisar las rutas marítimas ya que Cartagena tiene diferentes puertos que es una de sus principales fuentes económicas, lo cual genera un alto tráfico marítimo, también se realizó una evaluación de los sectores en donde se ubicada la salida y llegada de los buques para evitar cualquier tipo de congestión por la obra y algún mantenimiento de esta en caso de llevarse a cabo.

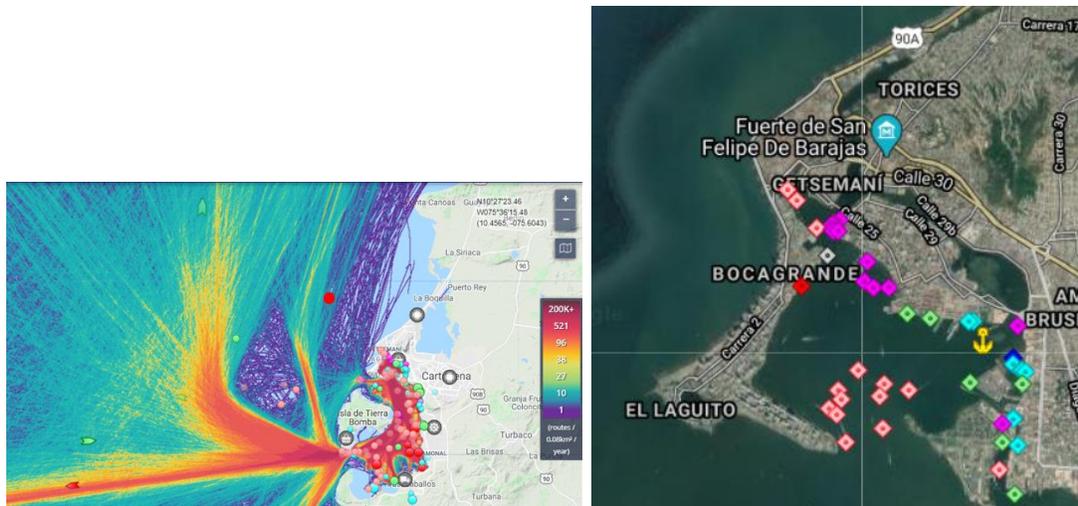


Figura 161 Trafico Maritimo Fuente: Marine Traffic 2020

Debido a que la isla tiene diferentes corales el cual es considerado como un ecosistema frágil que debe ser protegido y conservado se realizó la búsqueda de las AMPs (Areas Marinas Protegidas) los cuales se designan como espacios

naturales designados para la protección de ecosistemas, comunidades o elementos biológicos o geológicos del medio marino, que en razón de su rareza, fragilidad, importancia o singularidad, merecen una protección especial (MITECO, 2016) así que con el fin de evitar daños ambientales debido a la construcción de la central junto con la ubicación de que el cable submarino no tenga ninguna obstrucción se tuvo en cuenta las zonas mencionadas según el SIAM.

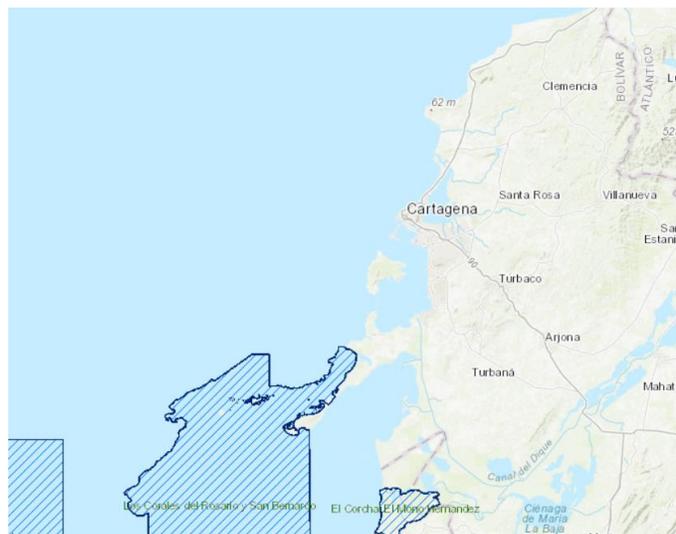


Figura 17 Áreas ambientales protegidas Fuente: Sistema de información ambiental marina

En base a los lineamientos sobre lo que se considera los cuatro criterios más importantes y leyes tomadas por la Dirección General Marítima se determinó la ubicación más óptima para la central undimotriz es en 10.463° , -75.551° a 4,57km de la estación más cercana (Subestación Electricaribe Bocagrande) todo esto ya que en temas de profundidad el lecho marino es de 50m siendo ideal para la cimentación de cualquier dispositivo a estudiar, por otra parte el tráfico marino no se viera interrumpido también se realizó la verificación de que no se ubicara en una zona protegida para el paso de biodiversidad ni ecosistemas y finalmente se evaluó si la zona era lugar de uno de los más altos puntos para el aprovechamiento respecto a la potencia del oleaje.(Hurtado 2017)

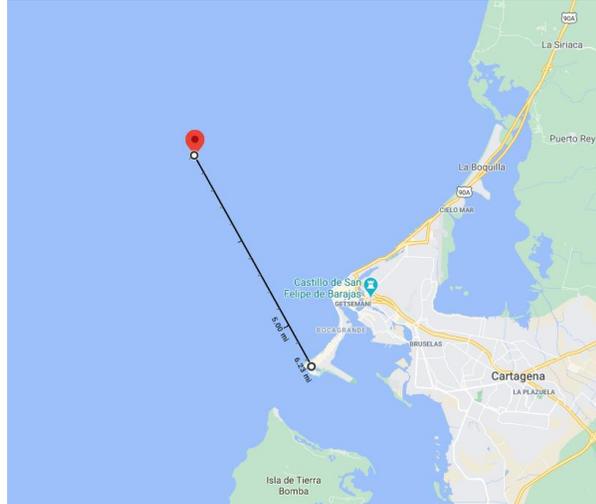


Figura 18 Localización de la central undimotriz

8.4 SELECCION DEL TIPO DE CAPTADOR

Para realizar la elección del tipo de captador de energía se realizó como primera medida un estudio del oleaje en la zona costera de Cartagena esto con el fin de seleccionar el modelo de captación que más se adapta a la acción del oleaje como se define en el punto anterior. Como siguiente paso se realizó una evaluación de los tres sistemas más conocidos poniendo en consideración cual es el que mejor se adapta a la situación del océano del caribe colombiano.

Debido a que la energía undimotriz es un sistema de captación a través de las olas del mar generadas por el viento, se ha estado estudiando que tanto potencial tendría el aprovechar las mismas, sin embargo, para esta captación es necesario revisar algunas de los más importantes parámetros como lo son el peso, velocidad, longitud de la ola o la densidad del agua, entre otros.(Cavia del Olmo 2009)

8.4.1 BOYAS

El sistema de operación de Boyas básicamente se basa en un pistón anclado que genera una energía electromecánica, este dispositivo debe ubicarse en aguas próximas a la costa y cuenta básicamente con una boya circular de un diámetro aproximado entre los 6 y 8 metros anclado al fondo del mar, el cual a través de una estructura que permita el movimiento hace que sea posible la captación de manera óptima del movimiento de las olas, es un equipo que requiere un mantenimiento cada aproximadamente tres años el cual consiste en la extracción de la boya y una limpieza de repintado que le da una protección al equipo y al cabo de 7 u 8 años una sustitución de elementos como el generador o la bomba hidráulica. (ARIJA 2011) En este caso los dos equipos que más se han desarrollado son el POWERBUOY y el AQUABUOY los cuales tienen como diferencia principal el líquido que se comprime en el interior de la misma siendo aceite y agua respectivamente otra gran diferencia es que el dispositivo POWERBOUY tiene una potencia de las olas de 20kW/m para que sea considerado un dispositivo rentable lo cual es necesario descartarlo de nuestro proyecto de investigación ya que la potencia calculada varía según los registros suministrados por el UPME entre los 13kW/m en las cercanías a Cartagena. (Finevera, 2020)



Figura 19 Dispositivo AQUABUOY De Finavera Fuente FINEVERA

Para evaluar las características principales del dispositivo AQUABUOY desarrollado por la compañía Finavera Renewables se muestra la siguiente información

Diámetro de la boya	6m
Longitud	30m
Profundidad	>50m
Sistema de extracción de energía	hidráulico con agua como fluido
Potencia pico	250kW

En la siguiente grafica es posible observar el comportamiento del dispositivo el cual empieza a funcionar con una altura significativa de 1m y que alcanza su mayor potencial de 250kW/m a una altura de 5m.

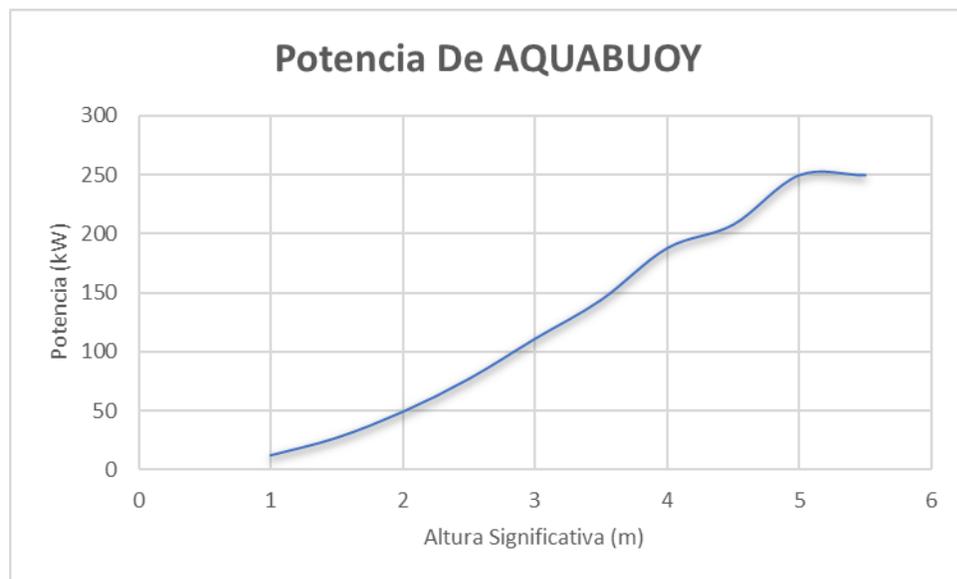


Figura 20 Energía del absorbedor puntual AQUABUOY Fuente: Propia

8.4.2 PELAMIS

PELAMIS o serpiente marina es el nombre de uno de los dispositivos semisumergidos más conocidos en el mundo de captación de energía undimotriz

desarrollado por la empresa británica Pelamis Wave Power Ltd. Ya que se encuentra encabezando la lista de estudios y tecnología que se han invertido en el mismo, este equipo se basa en la unión de cuatro estructuras cilíndricas que siguen las oscilaciones de las ondas en donde el movimiento de cada articulación tanto de forma horizontal como de manera vertical activando el bombeo de aceite de alta presión hacia los motores hidráulicos lo que permite la acción de una bomba hidráulica interna que alimenta el dispositivo a partir de la presión, la energía que se genera es enviada a un solo cable el cual evacua la energía eléctrica producida, este dispositivo requiere de unas condiciones para producir dicha energía el cual es de aproximadamente 15kW/m y es un dispositivo que se puede instalar en lugares donde las condiciones del océano sean extremas lo cual permite el funcionamiento del mismo en las peores condiciones climáticas ya que soporta olas de aproximadamente cuatro veces la longitud de PELAMIS, el anclaje de este dispositivo puede ser de entre 50 o 60 metros pero en caso de ser necesario puede llegar a tener un anclaje de 100m este dispositivo tiene un peso aproximado de 700 toneladas y esta pintado de color rojo lo cual permite que sea posible distinguirlo a largas distancias (Cavia del Olmo 2009)



Figura 21 Dispositivo PELAMIS Fuente: www.pelamiswave.com

Diámetro	3.5m
Longitud total	150m
Peso	700T
Profundidad	>50m
Sistema de extracción de energía	hidráulico con fluidos biodegradables
Potencia pico	750kW

En la siguiente grafica es posible observar el comportamiento del dispositivo en la zona puntual de Cartagena de donde se obtuvieron los datos de la altura significativa el cual empieza a funcionar con una altura significativa de 1m y que nunca alcanza su mayor eficiencia debido a que requiere un periodo mayor a los 6s.

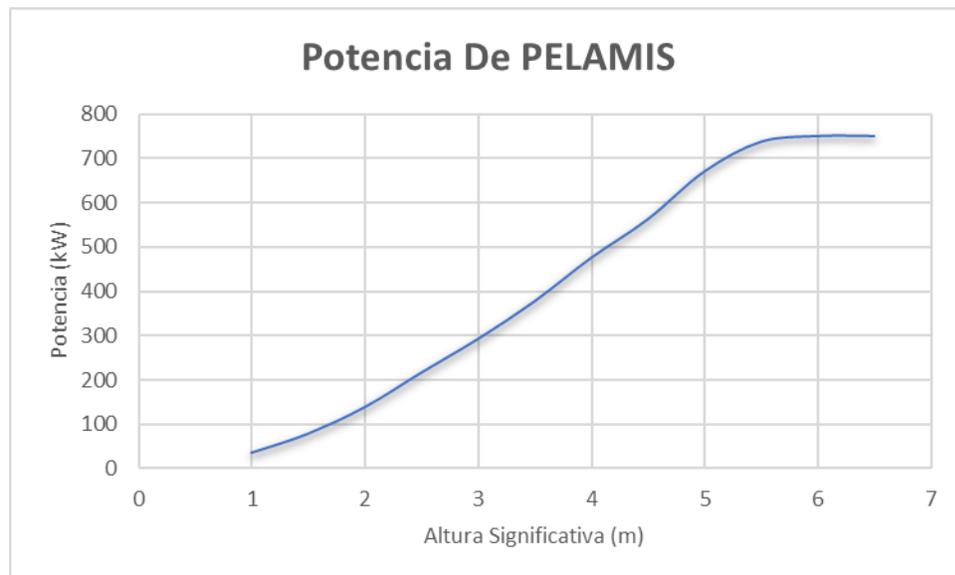


Figura 22 Energía del absorbedor puntual PELAMIS Fuente: Propia

8.4.3 WAVE DRAGON

WAVE DRAGON es una tecnología desarrollada por la compañía Wave Dragon ApS, y es un dispositivo el cual se debe instalar en aguas a profundidades no muy altas entre los 30 y 40m, este se considera semisumergido ya que flota y básicamente su tecnología se basa en convertir la energía potencial del agua en

energía eléctrica en tres procesos, la absorción, el almacenamiento y finalmente la conversión, este dispositivo captura la energía de un frente de olas mediante un colector de olas.(Energy and Assessment 2006)



Figura 23 Funcionamiento Wave Dragon Fuente www.wavedragon.net

Ancho	260 – 300m
Capacidad de la reserva	5000 a 8000m ³
Peso	22000 – 33000 T
Profundidad	>25m
Sistema de extracción de energía	Turbinas Kaplan (250 -400kW por turbina) con generadores magnéticos
Potencia pico	7MW

En la siguiente grafica es posible observar el comportamiento del dispositivo en la zona puntual de Cartagena en donde empieza a funcionar con una altura significativa de 1m y que alcanza su mayor potencial de 7000kW/m a una altura de 3m.

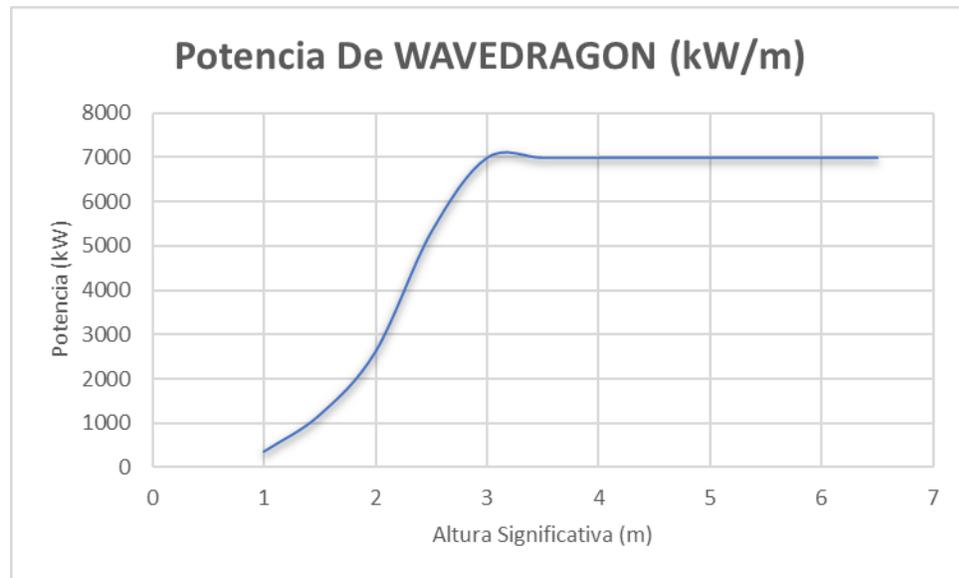


Figura 24 Energía del absorbedor puntual WAVEDRAGON Fuente: Propia

Finalmente se realizó un pequeño resumen para tener una simplificación de los tres dispositivos en la siguiente tabla, cabe aclarar que todos estos dispositivos han sido probados en una escala pre comercial:

DISPOSITIVO	POTENCIA PICO (kW)	SUPERFICIE (m2)	FLUIDO DE TRABAJO	INSTALACIÓN
AQUABUOY	250	157	Agua de mar	Aguas profundas
PELAMIS	750	490	Aceite a presión	Aguas profundas
WAVE DRAGON	7000	51000	Agua de mar	Aguas profundas

Tabla 5 Principales características de los convertidores Fuente García Santana, 2007

Después de evaluar cuanta energía generan los dispositivos por las condiciones dadas en Cartagena y con base a los datos obtenidos en la Tabla 2 sobre el consumo energético para el año 2046 en la ciudad de Cartagena el cual será de aproximadamente 8Gwh al año, se calculara la cantidad de dispositivos necesarios para cada uno de los tres dispositivos elegidos con el fin de saber cuántos se necesitan para cumplir con el objetivo del proyecto que es suministrar de energía eléctrica a la población de Cartagena, de tal forma que se utilizó el siguiente método:

DISPOSITIVO	POTENCIA (kW)	ENERGIA GENERADA (Gwh/año)	CANTIDAD DE DISPOSITIVOS REQUERIDOS	COSTO TOTAL DE TODOS LOS DISPOSITIVOS NECESARIOS (MILLONES DE DOLARES)
AQUABUOY	250	7.62	29	21
PELAMIS	450	7.88	10	30
WAVE DRAGON	7000	15.7	1	10

Tabla 6 Comportamiento de los dispositivos con las condiciones climáticas en Cartagena Fuente: Propia

PROYECCION DEL SISTEMA PARA LA CIUDAD DE CARTAGENA

A partir de la información obtenida anteriormente y con el fin de dar una respuesta optima al proyecto, se observó que la potencia de oleaje de la zona del caribe no es muy alta ya que durante dos temporadas del año las alturas significativas no superan los 2m de altura, lo que dificulta la potencia de energía en esta zona, por lo que basándose en la potencia de cada uno de los dispositivos, los cuales están regidos por las condiciones de oleaje en la zona del caribe junto con una evaluación superficial del costo de cada uno de estos, se descartó trabajar con dos tecnologías para poder con el de centrarnos en solo una y evaluarla a profundidad, las energías descartadas son PELAMIS y AQUABUOY debido a las condiciones del océano pues no es rentable la inversión de aproximadamente 21 y 30 millones de USD ya que representa costos muy elevados frente a la baja eficiencia energética que proporcionan, a la vez el artefacto PELAMIS no se estaría aprovechando el potencial ya que es un dispositivo que trabaja en condiciones climáticas más fuertes

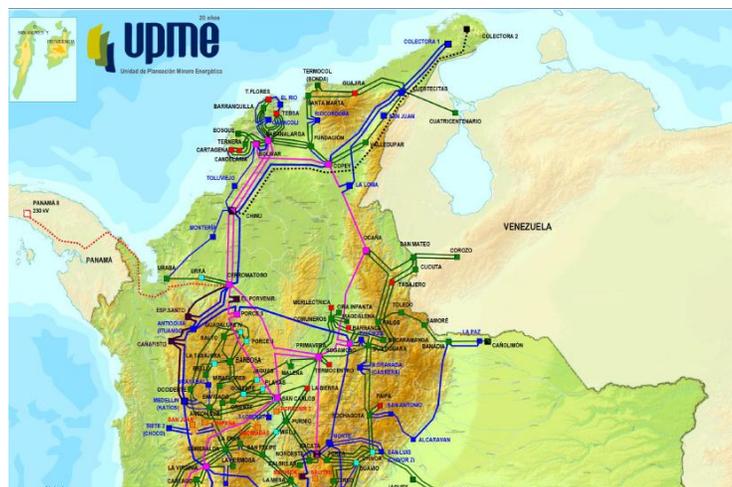
y está diseñado para una mayor energía del océano lo que no permite que sea aprovechado el potencial del dispositivo, ya que no alcanza a llegar a su rendimiento máximo debido al periodo de las olas y se estaría desperdiciando la inversión del mismo, por otro lado AQUABUOY es un dispositivo que aunque se podría visualizar como uno de los más acordes a las condiciones dadas es un dispositivo que podría llegar a duplicar la inversión al WAVE DRAGON. (Romeo 2015)

8.5 DISEÑO DEL CAMPO UNDIMOTRIS

Para obtener el mayor aprovechamiento tanto del dispositivo como del comportamiento de las olas en el mar caribe se decidió que el mejor dispositivo para evaluar es el WAVE DRAGON para el cual se necesitara solo uno. (Cortés, 2018)

8.5.1 SISTEMA DE CONEXIÓN Y TRANSPORTE A LA PLANTA DE DISTRIBUCIÓN

Para el proyecto es necesario diferenciar en primera instancia la conexión de la red de los tramos por los cuales se realiza la distribución desde el campo undimotriz hasta el objetivo destino que sería una planta de distribución. (UPME 2018)



- Baja tensión: Los aerogeneradores producen electricidad a una media de 950 V, la cual es insuficiente para una mediana distancia de transporte de la electricidad. Razón por la cual cada aerogenerador tiene conectado un transformador que se encarga de aumentar la tensión.
- Media tensión: se refiere al transporte eléctrico desde los aerogeneradores hasta la subestación.
- Alta tensión: es el tramo donde se aumenta de nuevo la tensión para transportar la energía hasta los puntos de distribución de la red.

Una vez determinado los tres tamos del sistema de conexión se debe determinar la línea submarina de conexión, En primer lugar, destacar que los cables submarinos para tratar de evitar posibles daños causados por la pesca en la zona, impactos al ecosistema marino, y entre otros factores, se recomienda enterrar el cableado a profundidades de 1 a 4 m en el fondo marino. Posteriormente se hace un análisis para seleccionar el sistema de interconexión. Una vez llegue a la costa la energía eléctrica producida a través del parque, se deberá implementar un transformador para que la tensión con la que llega la energía pueda ser incorporada a la red de distribución de alta tensión de la ciudad de Cartagena.(Cavia del Olmo 2009)

8.6 ANÁLISIS ECONÓMICO

En esta parte se analizarán los costos de un parque undimotriz y de tal manera será posible determinar la viabilidad económica de la central ubicada en Cartagena, este paso es de gran importancia ya que, es el punto clave que permitirá evaluar si es posible implementar este tipo de energía en la zona de estudio y servirá para futuros estudios en otras partes del país que cuentan con una gran cantidad de este recurso renovable.

Este tipo de dispositivos aunque necesitan una alta inversión inicial es considerado un estudio que está teniendo un alto grado de acogida, ya que permitirá que se gane experiencia en el campo y que con base a esta al pasar el tiempo seguramente se crearan nuevas y mejoras tecnologías, sin embargo la inmadurez técnica de la central obligara a que se requerirían varios años para poder recaudar esta inversión inicial y con el tiempo también se deben hacer labores de mantenimiento que pueden aumentar el costo del proyecto debido a la dificultad de este. La finalidad de esta parte del proyecto es ver si una vez hecho el análisis de oleaje disponible en la costa de Cartagena es si este realmente un recurso aprovechable desde el punto de vista económico.

8.6.1 VIABILIDAD ECONOMICA

Para evaluar el coste de WAVE DRAGON se disponen de datos correspondientes a tres proyectos ubicados en Escocia, Dinamarca y Portugal en los cuales se han llegado a probar algunos prototipos a en escala pre comercial por lo que se realizara un redondeo de costos para obtener una aproximación real del dispositivo seleccionado.

A continuación, se muestra una lista del costo que traerá el construir el dispositivo WAVE DRAGON en euros.

COSTOS	
Estructura	10.000.000,00 €
Turbinas Y Generadores De Imán	3.400.000,00 €
Instalación De Bajo Voltaje	816.000,00 €
Instalación De Alto Voltaje	850.000,00 €
Sistemas De Apoyo	520.000,00 €
Sistemas De Servicio	170.000,00 €
Sistemas De Protección	160.000,00 €
Sistemas De Navegación	45.000,00 €
Control E Instrumentación	190.000,00 €
Barcaza Flotante	3.200.000,00 €
Amarrado	2.600.000,00 €
Suma	20.651.000,00 €
IMPREVISTOS (13%)	3.292.650,00 €
TOTAL	25.243.650,00 €

Tabla 7 Costos de una centra Wavedragon en euros Fuente Wavedragon

Debido a la inflación, las técnicas de construcción y al avance tecnológico se puede prever que con el tiempo ira reduciendo el precio, por lo que en el futuro el precio del kWh sería más bajo que en las actuales centrales de generación.

8.6.2 COSTOS INVERSIÓN INCIAL

Para realizar una estimación de costos iniciales para poner en funcionamiento la central, fue necesario realizar una búsqueda de precios en proyectos similares que se acercaran un poco a los precios de este

- En primer lugar, los costos del proyecto entre los que están los equipos electromecánicos necesarios para el funcionamiento de la central, entre los cuales se encuentra, el dispositivo en el cual viene incluido lo que es la turbina, el generador eléctrico y lo que viene con el mismo, el cableado submarino, el transporte de la energía y la conexión.
- En segundo lugar, es el coste de la estructura lo que quiere decir todo lo que requiere el dispositivo y el sistema de conversión de energía junto con la instalación del dispositivo.

- En tercer lugar, está la cimentación y amarres el cual se considera un porcentaje importante dentro del coste del proyecto
- Por último, la interconexión a la red local o planta de distribución.

COSTOS	UNID.	CANT.	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
ESTRUCTURA	UND	1	\$ 44.910.000.000	\$ 44.910.000.000
TURBINAS Y GENERADORES DE IMAN	UND	1	\$ 15.269.400.000	\$ 15.269.400.000
INSTALACION DE BAJO VOLTAJE	UND	1	\$ 3.664.656.000	\$ 3.664.656.000
INTALACION DE ALTO VOLTAJE	UND	1	\$ 3.817.350.000	\$ 3.817.350.000
SISTEMAS DE APOYO	UND	1	\$ 2.335.320.000	\$ 2.335.320.000
SISTEMAS DE SERVICIO	UND	1	\$ 763.470.000	\$ 763.470.000
SISTEMAS DE PROTECCIÓN	UND	1	\$ 718.560.000	\$ 718.560.000
SISTEMAS DE NAVEGACIÓN	UND	1	\$ 202.095.000	\$ 202.095.000
CONTROL E INSTRUMENTACIÓN	UND	1	\$ 853.290.000	\$ 853.290.000
BARCAZA FLOTANTE	UND	1	\$ 14.371.200.000	\$ 14.371.200.000
AMARRADO	UND	1	\$ 11.676.600.000	\$ 11.676.600.000
SUMA			\$ 98.581.941.000	\$ 98.581.941.000
IMPREVISTOS (13%)	UND	1	\$ 14.787.291.150	\$ 14.787.291.150
TOTAL			\$ 113.369.232.150	\$ 113.369.232.150

Tabla 8 Costos de una central undimotriz Wavedragon en pesos COP Fuente: Propia

Como se logra observar en la tabla anterior es necesario considerar una inversión de aproximadamente 25 millones de euros para la instalación y puesta en marcha de la central undimotriz en donde se tendrán en cuenta todos los costos para la puesta en marcha y ejecución de esta



Figura 25 Distribución de costos etapa inicial

8.6.3 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Aunque el sector undimotriz es una tecnología nueva que no cuenta con los costes exactos de estimación de operación y mantenimiento se buscó realizar una búsqueda que aproxime estos.

Entre los costos de operación y mantenimiento se encuentran

- Mantenimiento, dentro del plan previsto e inesperados
- Revisiones del funcionamiento
- Recolocación y sustitución de elementos
- Licencias y seguros que permitan mantener los dispositivos y cubrir los posibles riesgos que existan
- Monitoreo de las condiciones de oleaje y el funcionamiento del aparato con estas.

Todos estos ítems se resumen en el 30% de la inversión inicial y gracias a las ingenieras Atkins y Black Veatch se obtiene la siguiente información(Cavia del Olmo 2009)

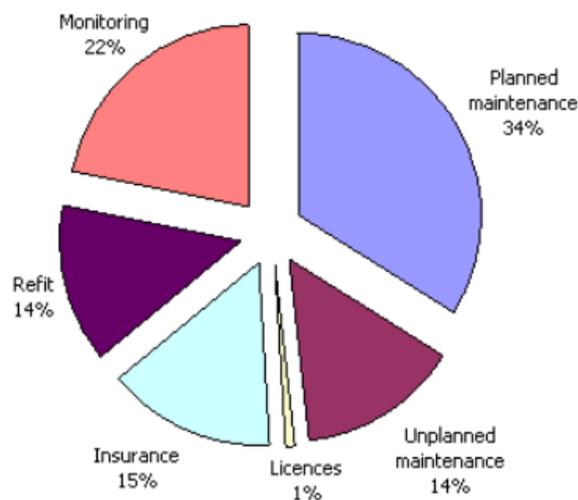


Figura 26 Costos de mantenimiento

8.6.4 CALCULO DE LA TIR SISTEMA WAVE DRAGON

Para este sistema se realizó un estudio de acuerdo con la serviciabilidad del equipo junto con el promedio de inflación que se tiene durante los últimos 20 años para obtener una directriz del comportamiento que tendrá en los próximos 20 años y así obtener una tasa interna de retorno

Vida útil del sistema	25 años
Inversión inicial	\$113.369.232.150 COP
Proyección de inflación	3.73%
TIR	4.03%
VPN	\$ 842.781.139,75COP

Los indicadores del VPN y la TIR muestran un valor alto en el cobro de la energía eléctrica con el de wavedragon; ya que el costo de 1 kW/h es de \$1000 COP, sin embargo, actualmente 1kw/h en la Guajira está en \$475.96 COP. Cabe destacar que la inversión inicial del proyecto es de \$113'369.232 COP y los ingresos y egresos se estiman \$ \$ 4.459.290.589,25COP anuales; con una TIR del 4.03% lo cual representa la utilidad del proyecto como el costo de oportunidad, en referencia al VPN el resultado es positivo mayor a 0, lo cual hace del proyecto viable con un valor de \$842'781.139 COP, para los 24 años de proyección. Por otro lado, la energía eléctrica ofrecida por Electricaribe en la región Caribe y Atlántica es muy deficiente; ya que esta no es constante durante todo el día, y hacen cortes de luz sin previo aviso, sumado a esto, los daños materiales y la poca calidad de vida debido a este inconveniente.(Energy and Assessment 2006)

9. CONCLUSIONES

El concepto de extraer energía de las olas ha sido una idea que ha venido surgiendo y de la cual se busca comprender de forma detallada su funcionamiento a pesar de las limitantes que tiene esto ya que no solo es una energía limpia, sino que el coste de la energía captada a partir de las olas es cero; sin embargo, es evidente que existe un gran potencial energético undimotriz en las costas del caribe colombiano, motivo por el cual en el actual trabajo se desarrolló la implementación de un sistema de energía limpia como este, obteniendo resultados favorables que evidencian un buen desarrollo para la identificación como Colombia potencial Undimotriz.

Por otro lado, la reducción de costes de operación y mantenimiento son de gran importancia y de tener en cuenta, ya que estos factores son los pilares para la toma de decisión del proyecto y abarcan grandes dificultades a la hora de realizar el mismo, lo cual aumenta de manera significativa la economía del proyecto, y aunque estos se acarrean después de una ventana de tiempo la economía inicial debe estar concentrada en la elección de un buen dispositivo inicial que reduzca a toda costa este coste y así balancear el proyecto de forma financiera.

Es de gran importancia reconocer que ahora debido al cambio climático los países que generan más emisiones de CO₂ se han puesto en el ojo del huracán, por lo que este proyecto se ha encaminado a los lineamientos mundiales en reducirlo por medio de una energía renovable y limpia, y de esta forma apuntar siempre a la sostenibilidad, por lo que este proyecto podría atraer grandes inversores que apoyen la investigación y el desarrollo de la energía undimotriz en Colombia principalmente, buscando así un trabajo en conjunto con otros proyectos que partan de primar el medio ambiente y así buscar una futura inversión en proyectos de este tipo.

Se ha considerado que la inversión inicial del proyecto en la costa del caribe colombiano se podrá recuperar en un tiempo de 25 años, en este plazo permite que

los valores financieros de la tasa interna de retorno y el valor presente neto (TIR y VPN) sean favorables, es de tener en cuenta que este plazo puede ser considerado para los inversionistas una ventana de tiempo demasiada larga. Sin embargo, se ha tenido a consideración que el kW de energía tenga un costo de \$ 1.000 COP minimizando el impacto económico para los usuarios, así mismo es posible dejar planteado que sería beneficioso encontrar otra ciudad que requiera de la energía limpia para venderla debido a que el generador seleccionado "WAVE DRAGON" puede llegar a producir más electricidad de la que se requiere según las proyecciones iniciales de consumo, buscando de esta forma recuperar la inversión en menos tiempo, todo esto teniendo en cuenta que el proyecto cuenta con una vida útil de 25 años.

En Colombia es necesario aprovechar nuestra geografía marítima ya que somos uno de los únicos países que limita con dos océanos, aunque bien se sabe que es un tecnología nueva el sistema undimotriz en el mundo es necesario que sea investigada a fondo, ya sea por investigadores juniors que permitan ir mostrando avances y poniendo esta tecnología en consideración para el abastecimiento de energía renovable y haciendo uso de uno de los otros sistemas que tiene como fortaleza Colombia para generar energía de forma limpia dejando a un lado la producción de sistemas contaminantes.

10.RECOMENDACIONES

Se recomienda indagar aún más este tipo de alternativas de energía renovables limpias a la investigación que tienen como único fin cuidar y preservar el medio ambiente usando recursos renovables en conjunto con diferentes aspectos buscando un equilibrio ya sea en lo económico, político, social y cultural en Colombia.

Es recomendable encaminar a Colombia en bajar la dependencia de la captación de energía a partir de los sistemas tradicionales con los que se han venido trabajado en los últimos años como lo son las fuentes hídricas en su mayor parte, y de esta forma fortalecer más el uso de sistemas en los cuales se tiene unas muy buenas proyecciones para trabajar en conjunto buscando un buen aprovechamiento de la geografía marítima y terrestre de la nación.

Bibliografía

- ARIJA, SARA HOYA. 2011. "Diseño Eléctrico de Una Boya Para Energía Olamotriz."
- Caballero Santos, Carlos. 2011. "Estudio de Plantas de Producción de Energía Renovables Con Aprovechamiento de La Energía Del Mar."
- CARACOL CARTAGENA. 2017. "Electricaribe Sigue Liderando Ranking de Quejas de Cartageneros: Personero: Electricaribe Sigue Liderando Ranking de Quejas de Cartageneros: Personero | Cartagena | Caracol Radio." *CARACOL*. Retrieved December 12, 2020 (https://caracol.com.co/emisora/2018/10/26/cartagena/1540543759_606770.html).
- Cartagena, Alcaldía de. 2020. "Información General de Cartagena de Indias." *Alcaldía Distrital de Cartagena de Indias*. Retrieved December 12, 2020 (<https://www.cartagena.gov.co/>).
- Cavia del Olmo, Berta. 2009. "Explotación Del Potencial de Energía Del Oleaje En Función Del Rango de Trabajo de Prototipos Captadores." *Universitat Politècnica de Catalunya*.
- Energy, Renewable, and Technical Assessment. 2006. "Ocean Tidal and Wave Energy." *Renewable Energy* 3(3).
- Fernández, Juliana. 2008. "Una Aproximación Al Aprovechamiento de La Energía de Las Olas Para La Generación de Electricidad." *Universidad Politécnica de Madrid* 147.
- Fondo de promoción turística de Colombia. 2012. "Plan de Desarrollo Turístico de BOLIVAR." *Fondo de Promoción Turística de Colombia* 300.
- Hurtado, Gonzalo Píriz. 2017. "Cálculo y Diseño de Una Central de Energía Undimotriz ." 1–83.
- John Montaña. 2019. "Alcalde de Cartagena, Revela Su Lucha Contra La Corrupción." *ELTIEMPO.COM*. Retrieved December 12, 2020 (<https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/william-dau-alcalde-de-cartagena-revela-su-lucha-contra-la-corrupcion-544395>).
- Jorge Segura. n.d. "Programa de Energía Limpia Para Colombia (CCEP) — SEGURA Consultores SAS." *CCEP*. Retrieved December 12, 2020 (<https://www.seguraconsultores.com/colombia-ccep>).
- Kurnia, Devi. 2017. "Propuesta de Instalación de Una Central Undimotriz En México." *Tesis Instituto Politécnico Nacional Escuela* 4:9–15.
- MITECO. 2011. "Áreas Marinas Protegidas (AMP)." *GOBIERNO DE ESPAÑA*. Retrieved December 12, 2020 (<https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/biodiversidad-marina/espacios-marinos-protegidos/areas-marinas-protegidas/areas-marinas-protegidas.aspx>).
- Ortega Arango, Santiago. 2010. "Estudio de Aprovechamiento de La Energía Del Oleaje En Isla Fuerte (Caribe Colombiano)." *Estudio de Aprovechamiento de La Energía Del Oleaje En Isla Fuerte (Caribe Colombiano)* 86-.

- Perez Zapata, Jaime. 2018. "Cuantificación Del Potencial Energético Undimotriz En Las Costas Del Caribe Colombiano." *Espacios* 39(3). doi: 10.17081/invinno.5.2.2758.
- PRABOOK. 2005. "Albert S. Humphrey (June 2, 1926 — October 31, 2005), American Research and Development Company Executive | World Biographical Encyclopedia." *American Research and Development Company Executive*. Retrieved December 11, 2020 (https://prabook.com/web/albert_s.humphrey/644268).
- Romeo, Pablo Llorente. 2015. "WAVEPOWER GENERADOR." *Zaguan.Unizar.Es* 157.
- Thomas, Yves François ,, Alexandre Nicolae Lerma, Paul Durand, Blanca Posada, Carolina García Valencia, and Carlos Alberto Andrade Amaya. 2011. "Altura Significativa Del Oleaje En La Cuenca Colombiana Del Caribe, Datos de Altimetría Radar." *Boletín Científico CIOH* (29):27–45. doi: 10.26640/22159045.227.
- UPME. 2018. "Plan de Expansión de Referencia Generación -Transmisión 2017 - 2031." *Ministerio de Minas y Energía* 1–343.
- Vence, Jorge, and Melkis Kammerer. 2016. "Crisis En La Costa Ceribe Del Servicio de Energia Electrica Prestando Por La Empresa Electricaribe." UNIVERSIDAD SANTO TOMAS, Valledupar.

Estado de cuenta
 No. Facturas vencidas: 1 Monto: \$7,280 Fecha Último Pago: 15/08/2020 Monto: \$238,310
 No. Financiaciones pendientes: 1 Monto: \$265,363 Tasa por mora vigente: 0,50%

Calidad del Servicio
 Circunscritión / Transformador
TERNERA 8 CODIGO: 65776777 GRUPO: 1
 DTT (duración Trimestral de las Interrupciones por Tráfico): 0,00 CROIS/kWh (Costo de Racionamiento): 0000,50
 CMP (Consumo Promedio Mensual): 1412,84 kWh

Datos de lectura
 Fecha Lectura Anterior: 03/06/2020 Fecha Lectura Actual: 02/07/2020 Días Facturados: 30
 Medidor Tipo Lectura Actual Lectura Anterior Factor Múltiplo Consumo kWh
 1215046428 Activa BT 14153 13722 1 431

Novedad en Lectura: -0- Propiedad del Activo: Cliente MEDICION

Costo unitario \$/kWh		Datos de consumo			
Clas. Entidades	T	Consumo	Tarifa en \$/kWh	Consumo kWh	Valor en \$
	PR				
	R				
Operación Electricaribe	D	Subsidio			
	C				
					Total

Detalle de conceptos facturados

	Valor (\$)
Consumo	223.012,33
Subsidio	-13.428,26
Aproximación a decenas	3,52
Interés por Mora	192,41
Cuota Acuerdo Energía	11.538,00
Aproximación a decenas	2,00
Subtotal Energía	\$ 221.320

NIC: 7803060
Total a pagar mes: \$ 228.470
Total documento por pagar: \$235.750
 Fecha pago apertura: 09/09/2020

Otras Entidades
 Impuesto Alumbrado Público 7.146,35
 Redondeo Facturaciones Ante Aproximación a decenas ,37
Valor Total Alumbrado 7.150,00

Subtotal otras entidades \$ 7.150

Tipo de eficiencia energética y seguridad

- Evita que los niños jueguen con las conexiones eléctricas.
- Renueva tus electrodomésticos por unos más eficientes, ahorra energía, ahorra dinero.
- Mientras tengas luz solar no enciendas los bombillos.
- Pinta tu casa con colores claros favorece la iluminación.

115 035 350 0444 electricaribe.co @ElectricaribeSA /ElectricaribeSA Mi EnergiAPP

Puntos de Pago BOLIVAR

Puntos de Pago Autorizados:
 FSCR (*)
 Cam Colombia Multiservicios (*)

Entidades Financieras:
 Bancolombia S.A. (*)
 Banco Agrario (*)
 Banco AV Villas (*)
 Banco Davivienda S.A. (*)
 Banco Caja Social (*)
 Helim Bank S.A. (*)

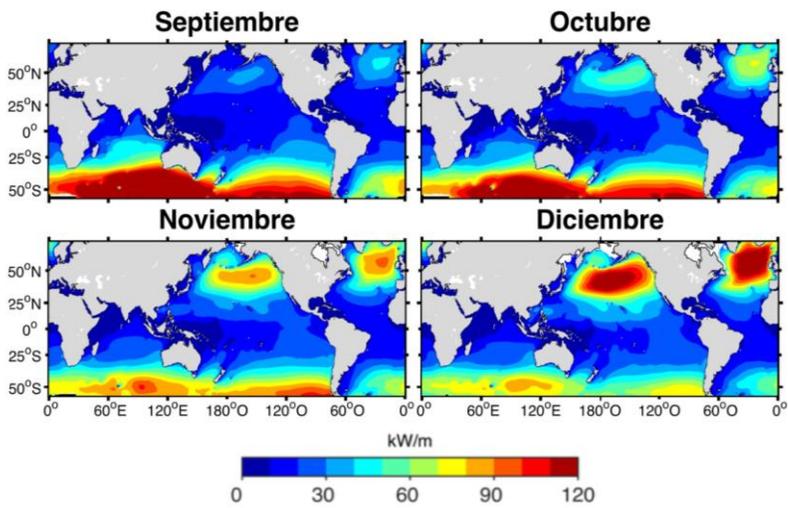
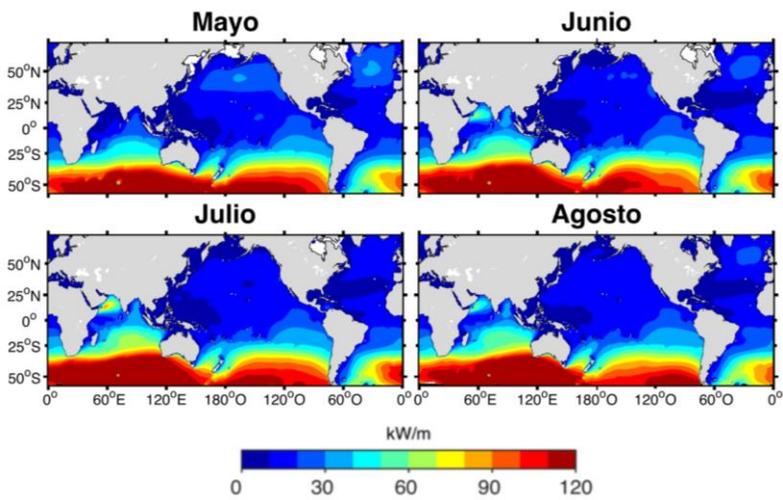
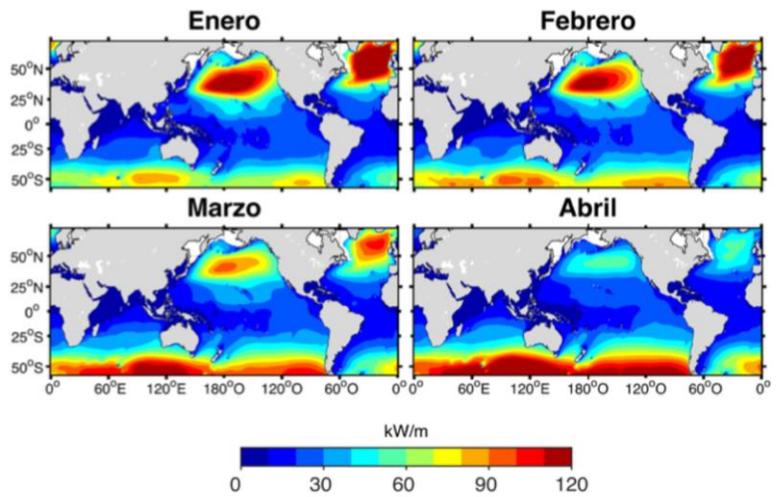
Canales Electrónicos:
 Puntos de Pago Redeban
 Cajero ATH
 Servibanca

Grandes Superficies:
 Superficies y Droguerías Olímpica
 Supermercados Exito
 Supermercados Carulla S.A.
 Jumbo
 Baloto (*)

Pago en línea:
 Brinks (*)
 Electy (*)
 SuperDinas (*)
 Banco Bogota S.A. (*)

(*) Entidades habilitadas para el pago de facturas vencidas
 CONSIGNESE A: FIDEICOMISO ELECTRICARIBE RECAUDOS

Para conocer los mantenimientos programados ingresa a www.electricaribe.co



Tp \ Hs	Hs [m]													
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	17				
1	6	8	11	12	11	10	8	7						
1.5	13	17	25	27	26	23	19	15	12	7				
2	24	30	44	49	47	41	34	28	23	12				
2.5	37	47	69	77	73	64	54	43	36	19				
3	54	68	99	111	106	92	77	63	51	27				
3.5	93	135	152	144	126	105	86	70	38					
4	122	176	198	188	164	137	112	91	49					
4.5	223	250	239	208	173	142	115	62						
5	250	250	250	250	214	175	142	77						
5.5	250	250	250	250	250	211	172	92						

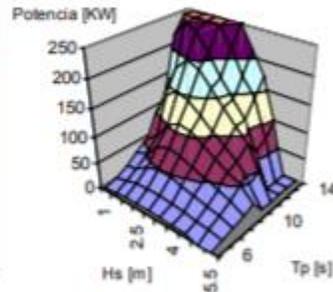


Tabla 6.1.1 y figura 6.1.2: Matriz de energía del absorbedor puntual Aquabuoy. Datos de Weinstein, 2004. Elaboración propia.

Resumen en curso:

Te \ Hs	Hs [m]																
	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13
1		22	29	34	37	38	38	37	35	32	29	26	23	21			
1.5	32	50	65	76	83	86	86	83	78	72	66	59	53	47	42	37	33
2	57	88	115	136	148	153	152	147	138	127	116	104	93	83	74	66	59
2.5	89	138	180	212	231	238	238	230	216	199	181	163	146	130	116	103	92
3	129	198	260	305	332	340	332	315	292	266	240	219	210	188	167	149	132
3.5		270	354	415	438	440	424	404	377	362	326	292	260	230	215	202	180
4			462	502	540	546	530	499	475	429	384	366	339	301	267	237	213
4.5			544	635	642	648	628	590	562	528	473	432	382	356	338	300	266
5				739	726	731	707	687	670	607	557	521	472	417	369	348	328
5.5				750	750	750	750	750	737	667	658	586	530	496	446	395	355
6					750	750	750	750	750	750	711	633	619	558	512	470	415
6.5					750	750	750	750	750	750	750	743	658	621	579	512	481
7						750	750	750	750	750	750	750	750	676	613	584	525
7.5							750	750	750	750	750	750	750	750	686	622	593
8								750	750	750	750	750	750	750	750	690	625

Tabla 6.1.2: Matriz de energía del atenuador Pelamis. Elaboración propia. [www.pelamis.com]

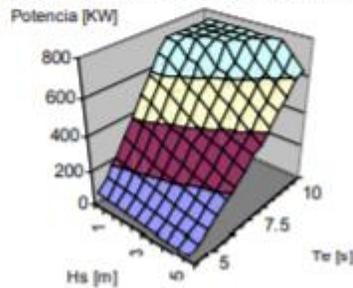


Figura 6.1.4: Matriz de energía del atenuador Pelamis. Elaboración propia. Elaboración propia.

Hs \ Tp	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	160	250	360	360	360	360	360	360	320	280	250	220	180
2	640	700	840	900	1190	1190	1190	1190	1070	950	830	710	590
3	1450	1610	1750	2000	2620	2620	2620	2360	2100	1840	1570	1310	
4	2840	3220	3710	4200	5320	5320	4430	3930	3440	2950	2460		
5	4610	5320	6020	7000	7000	6790	6090	5250	3950	3300			
6	6720	7000	7000	7000	7000	7000	6860	5110	4200				
7	7000	7000	7000	7000	7000	7000	6650	5740					

Tabla 6.1.3: Matriz de energía del terminador Wave Dragon. Datos de Weinstein, 2004. Elaboración propia.

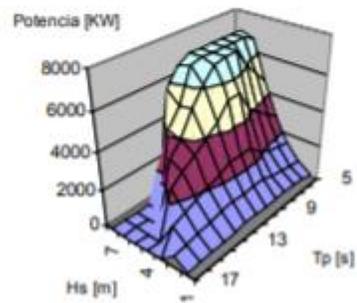


Figura 6.1.6: Matriz de energía del terminador Wave Dragon. Datos de Weinstein, 2004. Elaboración propia.