

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD PARA GENERACIÓN  
DE ENERGÍA MAREOMOTRIZ EN EL SALVADOR**

PRESENTADO POR:

**MARVIN EFRAIN CRUZ MEJIA  
EDWIN ROBERTO RODRIGUEZ FRANCO**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO DE 2024

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR:

**MSC. JUAN ROSA QUINTANILLA**

SECRETARIO GENERAL:

**LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO:

**ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA**

SECRETARIO:

**ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

DIRECTOR INTERINO:

**ING. WERNER DAVID MELÉNDEZ VALLE**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de graduación previo a la opción al grado de:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

Titulo:

**ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD PARA GENERACIÓN DE  
ENERGÍA MAREOMOTRIZ EN EL SALVADOR**

Presentado por:

**MARVIN EFRAIN CRUZ MEJIA  
EDWIN ROBERTO RODRIGUEZ FRANCO**

Trabajo de graduación aprobado por:

Docente asesor:

**ING. JOSÉ MIGUEL HERNÁNDEZ**

San Salvador, marzo de 2024

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**ING. JOSÉ MIGUEL HERNÁNDEZ**

## NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, sábado 17 de febrero de 2024, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 8:00 a.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Werner David Meléndez Valle  
Director Interino

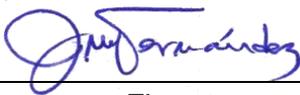
  
Firma 

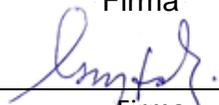
2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia  
Secretario

  
Firma

Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

- ING. JOSÉ MIGUEL HERNÁNDEZ  
(Docente Asesor)
- ING. GERARDO MARVIN JORGE HERNÁNDEZ
- MSC. LUIS ROBERTO CHÉVEZ PAZ

  
Firma

  
Firma

  
Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA MAREOMOTRIZ  
EN EL SALVADOR

A cargo de los Bachilleres:

- CRUZ MEJIA MARVIN EFRAIN
- RODRIGUEZ FRANCO EDWIN ROBERTO

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 9.2  
( NUEVE PUNTO DOS )

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, le doy gracias a Dios por darme la oportunidad de culminar esta meta de mi vida profesional, su apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad.

Gracias a mis padres Gladys Marlene Franco Sánchez de Rodriguez y Jose Roberto Rodriguez Mejia, por ser los principales promotores de mis sueños, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo, valentía, confianza y creer en mis expectativas, por los consejos, regaños, valores etc. que me han dado gracias por todo.

A mis hermanos Elías Rodriguez y Katya Rodriguez por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, gracias por estar conmigo en todo momento.

A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento me han acompañado en todos mis sueños y metas.

A mis amigos/as que Dios me brindo conocer y tener a lo largo de toda la carrera, por sus locuras, apoyo, consejos etc. Simplemente gracias por sus valiosas amistades por extender sus manos en momentos difíciles y llenarme de palabras de motivación para que todo esto pudiera ser posible.

Así mismo a mi asesor de tesis el Ingeniero Miguel Hernández quien con su experiencia, conocimientos y motivación nos guio en esta investigación y formo parte de este objetivo alcanzado.

Para concluir agradecer a todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Eléctrica por sus enseñanzas, consejos y motivaciones en este largo viaje, Pero en especial muchísimas gracias a la señorita Reina Isabel Vides por ser una pieza fundamental a lo largo de todo este proceso desde mis inicios en la carrera hasta culminarla, por sus consejos, paciencia, cariño, apoyo y una gran amistad de todo corazón muchísimas gracias por todo Dios me la bendiga siempre.

Edwin Roberto Rodriguez Franco.

Quiero agradecer primeramente a Dios por permitirme lograr el sueño de ser ingeniero, por la sabiduría y por darme fuerzas cuando me sentía a punto de tirar la toalla.

Agradecer especialmente a mi familia, quienes han sido mi mayor motivación. Mi padre Bibiano Cruz, quien siempre me decía que sería ingeniero, sé que ese siempre fue su sueño y se volvió mi sueño también, sin duda una de las razones que me impulsaron a terminar es poder cumplir ese sueño de ambos, sé que desde el cielo estás viendo a tu hijo triunfar y prometo seguir tu buen ejemplo.

Gracias a mi madre Flor Mejía por todo su apoyo desde que era un niño, por enseñarme con paciencia y apoyarme con sus oraciones cuando sabía que estaba pasando momentos difíciles, estoy feliz que me pueda ver como profesional y estaré más feliz verla con ese título que es más suyo que mío.

Quiero agradecer a mi hermano Walter Cruz, por todo su apoyo incondicional siempre, sé que me apoyaste de corazón y tengo claro que tú también serás un gran ingeniero.

Me siento extremadamente agradecido con todos mis amigos/compañeros de universidad por ese apoyo que en conjunto nos brindamos, es muy satisfactorio verlos a todos ahora convertidos en ingenieros exitosos y deseo de corazón que sigan cultivando muchos éxitos más.

Quiero agradecer a mi novia Patricia Castro, por todo su apoyo desde que la conocí, hasta la fecha de hoy, gracias por tu comprensión y apoyo.

Gracias a mi asesor de tesis, ingeniero Miguel Hernández por toda la paciencia, por ayudarnos en esos momentos que no sabíamos cómo avanzar, por acceder a esas reuniones de último momento donde solventaba nuestras dudas y por su ayuda en este trabajo de graduación.

Para finalizar quiero agradecer a una persona muy especial en este camino universitario a mi estimada Reina Vides, por todos esos consejos durante los años de estudio y por estar pendiente de como avanzada este trabajo de graduación, por orientarnos como seguir los procesos y por preocuparse si todo nos estaba saliendo bien.

Marvin Efrain Cruz Mejía.

# CONTENIDO

ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	11
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	12
ÍNDICE DE TABLAS.....	13
GLOSARIO.....	14
OBJETIVOS.....	16
ALCANCES.....	17
ANTECEDENTES.....	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
JUSTIFICACIÓN.....	18
CAPÍTULO I: FUNDAMENTO TEÓRICO.....	19
1.1 Teoría básica.....	19
1.1.1 Generación Eléctrica.....	19
1.1.2 Energías Renovables.....	20
1.1.3 Energía Mareomotriz.....	21
1.2 Métodos de generación mareomotriz.....	22
1.2.1 Generación por presas de marea.....	22
1.2.2 Generadores por corrientes de mar.....	23
1.2.3 Generación mareomotriz dinámica.....	24
1.3 Tipos de generadores mareomotrices.....	25
1.3.1 Generador por eje vertical.....	25
1.3.2 Generador de rotor abierto:.....	25
1.3.3 Generador tipo turbina.....	26
1.3.4 Generador de eje horizontal.....	26
1.3.5 Generador de palas oscilantes.....	27
CAPÍTULO II. POTENCIAL MAREOMOTRIZ EN LA COSTA SALVADOREÑA.....	28
2.1 Zona Costero Marina de El Salvador.....	28
2.1.1 Secciones de la costa salvadoreña.....	29
2.2 Fenómenos marinos de las costas salvadoreñas.....	34
2.2.1 Ondas oceánicas largas y cortas en El Salvador.....	34
2.2.2 Las principales características oceanográficas.....	36
2.2.3 Vientos y oleajes.....	38

2.2.4 Tipo de olas.....	41
2.2.5 Requisitos a tener en cuenta.....	43
2.2.6 Generador con mejor relación.....	47
2.3 Seleccionar el mejor método de generación.....	48
2.3.1 Zonas con potencial de generación.....	48
CAPÍTULO III. DELIMITACIÓN DE ZONA DE IMPLEMENTACIÓN.....	51
3.1 Zona elegida para implementar la generación.....	51
3.2 Datos de la zona:.....	51
3.2.1. Clima.....	52
3.2.2 Fisiografía.....	53
3.2.3 Hidrología.....	56
3.2.4 Uso actual de la tierra.....	56
3.2.5 Estructura agraria.....	57
3.2.6 Infraestructura.....	57
3.2.7 Comercialización.....	59
3.2.8 Líneas generales de desarrollo.....	59
3.3 Métodos de generación para la implementación de energía mareomotriz.....	62
3.4 Análisis técnico de los tipos de generación aplicables.....	64
3.4.1 Presa de marea.....	64
3.4.2 Marine Current Turbines (MCT).....	65
3.4.3 Verdant Power.....	67
3.4.4 Rotech Tidal Turbine (RTT).....	68
3.4.5 Open Hydro.....	70
CAPÍTULO IV. ESTUDIO DEL IMPACTO SOCIAL Y AMBIENTAL.....	72
4.1 Impacto social.....	72
4.1.1 Análisis de resultados.....	73
4.1.2 Conclusión de resultados.....	80
4.2 Impacto Ambiental.....	81
4.2.1 Negativo:.....	81
4.2.2 Positivo:.....	82
4.2.3 Flora y Fauna:.....	83
4.2.4 Paisaje:.....	87
CAPÍTULO V. ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD.....	88
5.1 Análisis técnico.....	88

5.1.1 Presa de marea.....	88
5.1.2 Marine Current Turbines (MCT) .....	89
5.1.3 Verdant power .....	92
5.1.4 Lunar Ernergy RTT .....	95
5.1.4 Open Hydro .....	98
5.2 Análisis Económico .....	100
CONCLUSIONES.....	107
BIBLIOGRAFIA.....	110

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráficas 1 ¿Sabe usted que es la energía mareomotriz?	73
Gráficas 2 ¿Estaría de acuerdo con la implementación de una planta de energía mareomotriz en la zona?	73
Gráficas 3 ¿Cuál cree que serían los beneficios de una planta de energía mareomotriz en la zona?	74
Gráficas 4 ¿Le genera alguna preocupación si se implementara una planta de energía mareomotriz en la zona?	74
Gráficas 5 ¿Consideras que la implementación de una planta de energía mareomotriz podría afectar negativamente el medio ambiente o los ecosistemas marinos?	75
Gráficas 6 ¿Crees que la implementación de una planta de energía mareomotriz podría tener un impacto positivo en el turismo y la economía local?	75
Gráficas 7 ¿Estarías dispuesto a apoyar la implementación de una planta de energía mareomotriz en la zona mediante acciones como la promoción, participación en debates comunitarios o contribuciones económicas?	76
Gráficas 8 ¿Crees que la energía mareomotriz es una forma efectiva de generar electricidad en comparación con otras fuentes de energía renovable?	77
Gráficas 9 ¿Crees que la energía mareomotriz es una alternativa viable a las fuentes de energía convencionales?	78
Gráficas 10 ¿cómo describirías la energía mareomotriz?	78
Gráficas 11 curva de potencia turbina lunar energy RTT de 2000KW (DAGA, 2008)	91
Gráficas 12 Curva de potencia de Generador Sea Gen de 2MW (Marine Current Turbines, 2013)	92
Gráficas 13 Curva de Potencia turbina Verdant de 35.9 kW (Daga, 2008)	94
Gráficas 14 Curva de Potencia turbina Lunar Energy RTT de 2000 kW (Daga, 2008)	95
Gráficas 15 Curva de Potencia turbina Open Hydro (Daga, 2008)	96

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1	Generadora por presas de marea	22
Ilustración 2	Generadores de Corriente de Marea	23
Ilustración 3	Generación Mareomotriz Dinámica	23
Ilustración 4	Generador de Eje Vertical	24
Ilustración 5	Generador de rotor abierto	25
Ilustración 6	Generador de tipo Turbina	25
Ilustración 7	Generador de eje Horizontal	26
Ilustración 8	Generador por palas oscilantes	26
Ilustración 9	Garita palmera	43
Ilustración 10	Garita palmera y barra de Santiago	44
Ilustración 11	Metalío	44
Ilustración 12	Barra de Santiago	45
Ilustración 13	Garita palmera y barra de Santiago	46
Ilustración 14	Turbina Kaplan	64
Ilustración 15	Generador Sea Gen 2 MW (Marine Current Turbines, 2013)	64
Ilustración 16	Generador Sea Gen 2 MW (Marine Current Turbines, 2013)	65
Ilustración 17	Turbinas de marea (Verdant Power, 2016)	67
Ilustración 18	Turbinas de marea (Verdant Power, 2016)	67
Ilustración 19	Turbinas de marea (Lunar Energy Tidal Power, 2016)	68
Ilustración 20	Turbinas de marea (Lunar Energy Tidal Power, 2016)	68
Ilustración 21	Turbinas de marea (Open Hydro, 2014)	69
Ilustración 22	Sistema de Generación de 4 Turbinas y 1 Convertidor. (Open Hydro, 2014)	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Escala de Douglas	39
Tabla 2 Clasificación de oleajes	40
Tabla 3 Características de los ríos de la zona del golfo	55
Tabla 4 Cargas promedio en hogares (Fuente propia)	62
Tabla 5 Especies de flora y fauna en la zona	86
Tabla 6 Potencia disponible y la potencia generada por la turbina verdant diseñada para una velocidad de 2.2 m/s. (DAGA 2008)	90
Tabla 7 Potencia disponible y la potencia generada por la turbina Verdant diseñada para una velocidad de 2,2 m/s. (Daga, 2008)	93
Tabla 8 Potencia disponible y la potencia generada por la turbina RTT. (Daga, 2008)	96
Tabla 9 Potencia disponible y la potencia generada por la turbina Open Hydro (Daga, 2008)	98
Tabla 10 Costos Unitarios Máximos de prestación del servicio en ZNI por departamentos con y sin incluir subsidios. CGo: Costo de Generación calculado en \$/kWh, CDGo: Costo de Distribución y comercialización calculado en \$/kWh, CPSo: Costo Máximo de Prestación del	101
Tabla 11 Costos aproximados para la obtención de la tecnología Open Hydra.....	102

## GLOSARIO

**Bajamar:** Movimiento descendente de la marea cuando el agua alcanza su nivel más bajo.

**Batimetría:** Levantamiento topográfico del relieve de superficies del terreno cubierto por el agua.

**Caudal:** Cantidad de agua circulante por un determinado lugar dividido por unidad de tiempo.

**CAESS:** Compañía de Alumbrado Eléctrico de San Salvador, S.A. de C.V

**CEL:** Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa.

**Corriente alterna:** es un tipo de corriente eléctrica, en la que la dirección del flujo de electrones va y viene a intervalos regulares o en ciclos. La corriente que fluye por las líneas eléctricas y la electricidad disponible normalmente en las casas procedente de los enchufes de la pared es corriente alterna.

**Corrientes de marea:** Son corrientes periódicas con ciclo diario que son producidas por la atracción lunar y en menor grado de sol.

**DTP:** Dynamic Tidal Power ( Energía Mareomotriz Dinámica).

**Energía Mareomotriz:** Es la energía que se obtiene aprovechando las mareas; mediante el uso de un alternador para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica.

**Estuario:** Cuerpo de agua parcialmente encerrado que se forma cuando las aguas dulces provenientes de ríos y quebradas fluyen hacia el océano y se mezclan con el agua salada del mar.

**Generador de Corriente de Marea:** Son también llamadas TSG (Tidal Stream Generators), emplean la energía cinética del agua en constante movimiento.

**IRA:** Instituto Regulador de Abastecimientos.

**Marea Meteorológica:** Aumento episódico de la altura del mar en un determinado lugar causado por condiciones meteorológicas extremas.

**Nivel Bajo del Mar:** Altura promedio de la superficie del océano entre la marea alta y la marea baja.

**Presa de Marea:** Son las que utilizan la energía potencial que existe en las subidas y bajadas de marea.

**Rotor:** Es el componente que gira (rota) en una máquina eléctrica, ya sea un motor o un generador eléctrico.

**RPM:** Revoluciones por minuto.

**Turbina:** Dispositivo que aprovecha la energía cinética de algún fluido como el agua, el vapor, el aire o los gases de combustión y la convierte en el movimiento de rotación.

**ZNI:** Zonas no interconectadas.

# OBJETIVOS

## GENERAL:

- Realizar un estudio integral de prefactibilidad para la implementación de generación mareomotriz en la costa salvadoreña.

## ESPECÍFICOS:

- Analizar e interpretar los resultados obtenidos mediante el estudio de potencial mareomotriz de la costa salvadoreña por medio de los fenómenos marítimos que impactan en El Salvador.
- Presentar los aspectos técnicos a tomar en cuenta en este tipo de generación de energía.
- Estudio del impacto social en los habitantes de la costa salvadoreña que provocaría la implementación de este tipo de generación.
- Analizar los métodos de generación mareomotriz existentes.

## **ALCANCES**

Se pretende un estudio integrado de prefactibilidad para la generación de energía mareomotriz, dado que el país no cuenta con equipo para la generación de este tipo, este trabajo de graduación se mantiene de manera teórica e investigativa, no obstante, se abarcara el estudio de los fenómenos marítimos, impacto social, tipos de métodos de generación y la prefactibilidad de poder implementar este método de generación en El Salvador, referenciado a los modelos aplicados en otros países.

## **ANTECEDENTES**

Basado en estudios de factibilidad aplicados en Colombia y Chile. Principalmente por la planta generadora instalada en Brasil que se trata de una central de tipo undimotriz movida por la fuerza de las olas situada en el muelle del Puerto de Pecém, el cuál es el único proyecto de referencia en la zona del continente americano y que en ningún otro país a podido ser replicado, debido al poco estudio de oportunidades y al poco apoyo de inversión ante este tipo de generación de energía renovable.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En El Salvador, la matriz energética está distribuida por muchas fuentes de generación, pero las predominantes siguen siendo las derivadas de combustibles fósiles, pese a los esfuerzos por implementar energías limpias se necesitan más propuestas, por lo que un estudio para implementar energía mareomotriz, sería de gran aporte, principalmente por que el actual gobierno pretende explotar las costas salvadoreñas a nivel turístico y tener una forma limpia de generar energía eléctrica a estos sectores costeros sería un buena inversión.

## **JUSTIFICACIÓN**

Los sistemas de generación eléctrica en El Salvador dependen mucho de los precios del combustible, pese a las apuestas por introducir fuentes de energías renovables, se necesitan más opciones que permitan explotar los recursos con los que se cuentan. Por lo que estudiar una posible aplicación de generación mareomotriz es de gran aporte.

# CAPÍTULO I: FUNDAMENTO TEÓRICO.

Este capítulo expone un resumen teórico general de los fenómenos que intervienen en el proceso de la generación mareomotriz, la descripción científica de la terminología utilizada, así como también expone las consideraciones que se deben de tomar en cuenta cuando se hable de este trabajo de graduación, para tener una mejor comprensión por parte del lector y directamente enfocado al área eléctrica, en especial al tema de generación eléctrica.

## **1.1 Teoría básica**

### 1.1.1 Generación Eléctrica

La generación de energía eléctrica debe partir de una fuente de energía primaria, como un combustible o un flujo de energía primaria. Estos combustibles y flujos suelen convertirse en energía eléctrica que se transmite a la red.

Las centrales eléctricas son la tecnología de conversión de energía más utilizada para crear electricidad a partir de la energía primaria. Los tipos más comunes de centrales eléctricas son el carbón, la central nuclear y la hidráulica. Aunque es posible tener generación eléctrica de corriente alterna y generación eléctrica de

corriente continua, casi toda la electricidad que se produce con un generador es de corriente alterna. El movimiento de un fluido (energía cinética) se convierte en energía electromagnética y luego ésta en energía eléctrica que circula mediante cables. Esta electricidad suele viajar a través de la red eléctrica permitiendo que algún dispositivo eléctrico utilice la energía de los electrones y luego envíe los electrones de vuelta. Esto es lo que se entiende por un circuito eléctrico, los electrones deben ser capaces de hacer el viaje de ida y vuelta.

### 1.1.2 Energías Renovables

Son derivadas de fuentes naturales que llegan a reponerse más rápido de lo que pueden consumirse. Un ejemplo de estas fuentes es, por ejemplo, la luz solar y el viento; estas fuentes se renuevan continuamente. Las fuentes de energía renovable abundan y las encontramos en cualquier entorno.

Por el contrario, los combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas, constituyen fuentes de energía no renovables que tardan cientos de millones de años en formarse. Los combustibles fósiles producen la energía al quemarse, lo que provoca emisiones dañinas en forma de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono. La generación de energías renovables produce muchas menos emisiones que la quema de combustibles fósiles. Una transición de los

combustibles fósiles, los cuales representan en la actualidad la mayor parte de las emisiones, a energías renovables resulta fundamental para abordar la crisis producida por el cambio climático.

### 1.1.3 Energía Mareomotriz

La energía mareomotriz es la energía que se obtiene aprovechando las mareas: mediante el uso de un alternador se puede utilizar el sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica, una forma energética más segura y aprovechable. Es un tipo de energía renovable, en tanto que la fuente de energía primaria no se agota por su explotación, y es limpia ya que en la transformación energética no se producen subproductos contaminantes gaseosos, líquidos o sólidos. Sin embargo, la relación entre la cantidad de energía que se puede obtener con los medios actuales y el coste económico y ambiental de instalar los dispositivos para su proceso han impedido una implementación notable de este tipo de energía.

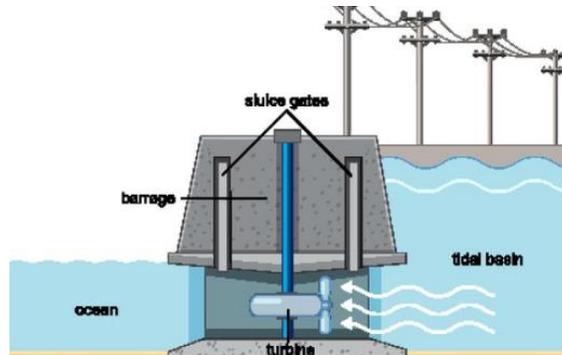
El proceso de generación mareomotriz consiste en almacenar niveles de agua en un embalse, el cual se forma en el proceso de construcción de un dique con compuertas que permiten la entrada del caudal para la generación. En pleamar, se abren las compuertas y se deja pasar el agua hasta que llega a su máximo

nivel, después de estar al tope se cierra el dique para retenerla y se espera a que se presente bajamar al otro lado de los diques, lo que produce un gran desnivel. Esta altura se aprovecha para hacer pasar el agua por las turbinas lo que causa que estas giren por efecto de la energía cinética y posteriormente generen electricidad.

## **1.2 Métodos de generación mareomotriz**

### 1.2.1 Generación por presas de marea

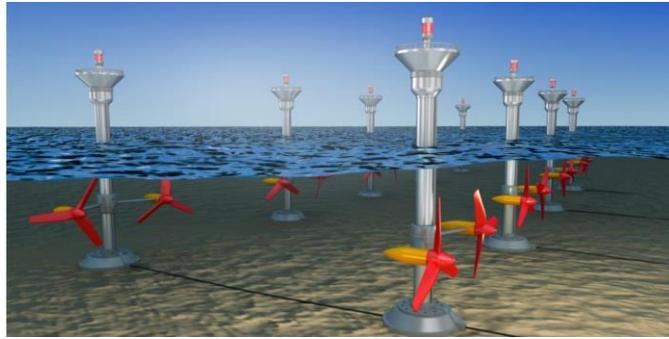
Las presas de marea cuya característica es hacer uso de la energía potencial gravitatoria que se encuentra cuando existen diferencias de altura entre la pleamar y la bajamar. Las presas son básicamente diques en todo lo ancho de un estuario, los estuarios se crean al entrar las aguas marinas durante la marea alta, retiene agua de los ríos, en las mareas bajas el agua empieza a entrar de forma rápida en el mar, esto ayuda a tener un profundo cauce y una limpieza, ayudando así de tener grandes zonas de ecosistemas húmedos con plantas que se dan en la zona.



*Ilustración 1 Generadora por presas de marea*

### 1.2.2 Generadores por corrientes de mar

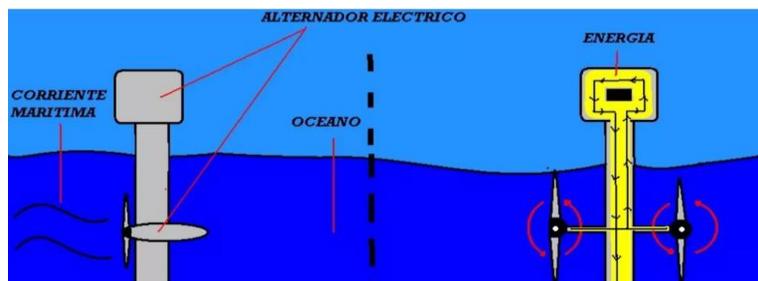
Los generadores de corriente de marea aprovechan la energía cinética que se produce en el agua debido a las corrientes en los océanos, similar a lo que se aplica en los generadores eólicos donde se aprovecha las corrientes de viento en las paletas del rotor para la generación, aprovechando de buena manera los recursos naturales circundantes, transformando la energía cinética que genera en energía eléctrica. Este tipo de generador es de los más preferidos ya que tiene un menor impacto ecológico, comparado con otras tecnologías.



*Ilustración 2 Generadores de Corriente de Marea*

### 1.2.3 Generación mareomotriz dinámica

Tecnología de generación basada en la interacción entre energías cinéticas y potencial, presente en corrientes de marea. Se plantea que la ubicación de las presas es a 50 km de longitud desde la costa hacia dentro del mar, evitando encerrar un área. Al inyectar por la presa diferencias de fase de mareas, lo que llevaría a una diferencia de nivel de agua importante estimada de por lo menos 2.3 metros en aguas marinas poco profundas con corrientes de mareas que oscilan paralelas a la costa.

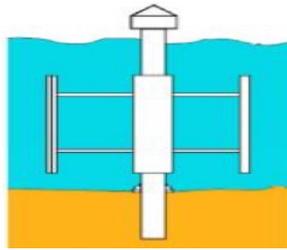


*Ilustración 3 Generación Mareomotriz Dinámica*

## 1.3 Tipos de generadores mareomotrices

### 1.3.1 Generador por eje vertical

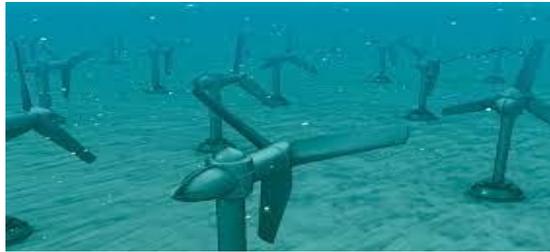
Este tipo de generador como lo indica su nombre están de forma perpendicular a la corriente en la que los equipos de conversión de energía estén situados fuera del agua, además están compuestos por un juego de palas helicoidales conocidas como Darreious pero también estas pueden ser de ejes oscilantes



*Ilustración 4 Generador de Eje Vertical*

### 1.3.2 Generador de rotor abierto:

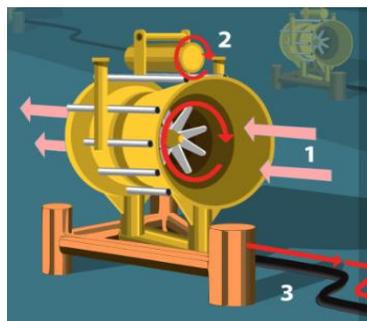
Estos tienen un núcleo del cual se conectan una serie de paletas de paso fijo o controlable, estos generadores cuentan con un eje de giro horizontal que está ubicado paralelamente a la corriente del océano, este es muy parecido a las turbinas de los generadores eólicos, ya que usan el mismo principio de aprovechamiento de energía cinética.



*Ilustración 5 Generador de rotor abierto*

### 1.3.3 Generador tipo turbina

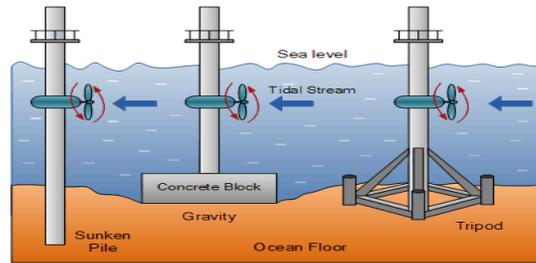
Diseñado por álabes los cuales están sujetos al anillo exterior al rotor tipo fijo y simétrico, para tener un funcionamiento bidimensional y tener una mayor velocidad de flujo en el estator, este usualmente tiene forma de tobera.



*Ilustración 6 Generador de tipo Turbina*

### 1.3.4 Generador de eje horizontal

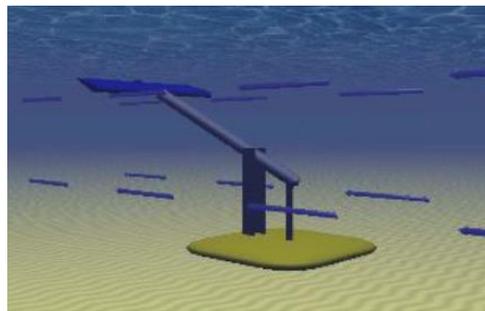
Estos generadores son ideales para zonas con escasa profundidad, es básicamente una variante de los generadores de eje vertical, además sus ejes están perpendiculares a las corrientes marinas.



*Ilustración 7 Generador de eje Horizontal*

### 1.3.5 Generador de palas oscilantes

Generador capaz de ser instalados en áreas de poca profundidad, ubicando el eje de forma horizontal, para que las palas también tengan una disposición horizontal, es por eso que se usa el principio fundamental similar a la aleta de un pez.



*Ilustración 8 Generador por palas oscilantes*

# **CAPÍTULO II. POTENCIAL MAREOMOTRIZ EN LA COSTA SALVADOREÑA**

## **2.1 Zona Costero Marina de El Salvador**

La Constitución de la República de El Salvador en su Artículo 84 establece que el territorio de la República sobre el cual El Salvador ejerce jurisdicción y soberanía es irreductible y además de la parte continental, comprende entre otros: “el mar, el subsuelo y el lecho marino hasta una distancia de 200 millas marinas contadas desde la línea de la más baja marea, todo de conformidad a las regulaciones del derecho internacional.”

Lo anterior corresponde a un área de alrededor de 80,000 km<sup>2</sup> de una franja marina frente a la línea de costa del país. Además, la Ley de Medio Ambiente de El Salvador en su Artículo 5, Conceptos y Definiciones Básicas, define a la Zona Costero- Marina como: “La franja costera comprendida dentro de los primeros 20 kilómetros que va desde la línea costera tierra adentro y la zona marina en el área que comprende al mar abierto, desde cero a 100 metros de profundidad, y en donde se distribuyen las especies de organismos del fondo marino.” La anterior definición corresponde a un área aproximada de 21,000 km<sup>2</sup> de los

cuales una tercera parte corresponde a la franja costera (7,000 km<sup>2</sup>) y dos terceras partes a la franja marina (14,000 km<sup>2</sup>), y está comprendida dentro del área que establece la Constitución de El Salvador.

La línea de costa de El Salvador tiene una longitud de 321 km desde el río Paz frontera con Guatemala hasta el golfo de Fonseca compartido con Honduras y Nicaragua. La cordillera del Bálsamo, la sierra de Jucuarán, y el volcán de Conchagua, dividen el paisaje costero en seis secciones de Oeste a Este:

#### 2.1.1 Secciones de la costa salvadoreña

1. La planicie costera de Occidental se extiende entre el estuario del río Paz y punta Remedios y se caracteriza por playas extendidas intercaladas por pequeñas lagunas costeras como los esteros de Bola de Monte y Barra de Santiago con influencia de las descargas de ríos y del aporte de agua marina por la marea. Estas lagunas costeras presentan grandes extensiones de bosques salados en su frontera con la tierra dulce. Dentro de la franja costera de 20 km se distingue la sección occidental de la cordillera montañosa de Occidente. Un rasgo distintivo de la línea de costa en esta primera sección es punta Remedios al Sureste del Puerto de Acajutla siendo una terraza extendida dentro del mar, constituyéndose en un arrecife rocoso con parches

de coral a profundidades mayores a 20 metros donde temperaturas alrededor de 28° C y lecturas de transparencia de más de 10 metros en la época seca, ha permitido su adaptación.

2. La cordillera del Bálsamo se extiende entre Acajutla y La Libertad y se caracteriza por farallones y terrazas formadas por las estrías de la sierra, con alturas mayor que 30 metros de altitud sobre el nivel medio del mar. La batimetría de la zona se caracteriza por un cambio abrupto de profundidad en los primeros 100 metros de fondo marino donde es común encontrar paredes verticales de sustrato rocoso de 25 metros o más de profundidad.
  
3. La planicie costera Central se extiende entre la Libertad y playa El Espino y se caracteriza por playas extendidas, estuarios de ríos de gran caudal, y lagunas costeras de grandes extensiones principalmente moldeadas por la marea. Fuera de la franja costera de 20 km pero en sus inmediaciones (alrededor de 30 km de la línea de costa) se localizan varios volcanes de recientes formación y activos. Las lagunas costeras, cuerpos de aguas salobres, de gran importancia socioeconómica y ambiental como el estero de Jaltepeque y la bahía de jiquilisco, poseen barras de arena en su frontera con

el mar entre 25 y 50 km de longitud, espejos de agua entre 100 y 200 km<sup>2</sup>, y grandes extensiones de bosques salados y humedales en su radio de influencia.

4. La sierra de Jucuarán se extiende entre playa El Espino y playa el Cuco y se caracteriza por farallones y terrazas con alturas mayor que 10 m de altitud sobre el nivel medio del mar. Las terrazas rocosas penetran al mar formando un sustrato rocoso que es aprovechado por especies de importancia comercial como las ostras. Además, suele ser refugio de variedad de peces de forma similar a lo observado en las terrazas marinas de punta Remedios.
  
5. La planicie costera Oriental entre playa el Cuco y punta Amapala se caracteriza por playas extendidas, estuarios de ríos de caudal medio y pequeñas ensenadas en su sector oriental. Dentro de la franja costera de 20 km se localizan volcanes de reciente formación y activos.
  
6. La costa del golfo de Fonseca entre punta Amapala y el estuario del río Goascorán se caracteriza por una ensenada, el Volcán Conchagua, la bahía de La Unión, el estuario del río Goascorán e islas de origen volcánico. En los

20 km de la franja costera el paisaje es dominado por el volcán Conchagua y las extensiones de bosques salados del estuario del río Goascorán.

Las costas acantiladas se han venido formando por el levantamiento del sistema de montañas terrestres, que al ir quedando expuestas han presentado erosión en las pendientes, sedimentación de material arrastrado por los cauces fluviales y erosión por las corrientes costeras generadas por la marea, el oleaje y el viento.

El nivel del mar por efecto del calentamiento global se está incrementando alrededor de 2 mm/año, mientras que la tasa de subducción de la placa de Cocos por debajo de la placa del Caribe es del orden de 7 mm/año. La pendiente promedio de las planicies costeras es alrededor de 10 m por kilómetro (1%) y terminan en la curva de nivel de 100 m al pie de los sistemas de montañas y cadena de volcanes, formadas por el depósito de sedimentos que han experimentado una tasa de elevación de 2 mm por año en los últimos 10,000 años (pleistoceno reciente).

Los estuarios presentes sobre la línea de costa de El Salvador están rodeados de bosques salados en el borde con las tierras dulces. El resto de las planicies costeras presentan un escalón formado por la acumulación de sedimento fino (limo), dando lugar a los terrenos de aluvión.

Existen básicamente dos formas de estuarios dependiendo del balance de fuerzas entre la descarga de agua dulce del río y el volumen de agua salada transportado por la onda de marea. En los ríos de gran caudal (Paz, Grande de Sonsonate, Jiboa, Lempa, Grande de San Miguel, Goascorán), se logra formar un delta rodeado de canales de sedimento fino en donde ambas fuerzas están en equilibrio. Por otra parte, la gran cantidad de cauces de menor caudal forman lagunas costeras conocidas como esteros o bahías que se caracterizan por barras de arena, formación de islotes o islas en su interior o en la conexión con el mar y canales principales con fuertes corrientes de mareas. En la conexión con el mar las corrientes de marea, de deriva generada por el viento, y asociadas al oleaje (paralelas y perpendiculares a la línea de costa) modifican constantemente las dimensiones (ubicación, ancho, profundidad) de las entradas de las lagunas costeras.

Las playas, depósitos de arena, están constantemente en modificación por procesos de erosión y sedimentación. El transporte perpendicular a la línea de costa deja al descubierto una lámina de cantos rodados principalmente en la época lluviosa cuando las componentes del oleaje proveniente del hemisferio Sur (mar de leva) transportan un mayor volumen, intensificando las corrientes de retorno que erosionan la lámina superior de arena. El transporte paralelo mueve

grandes volúmenes de arena entre las playas contribuyendo al retroceso de algunas, El Espino y al avance de otras, isla San Sebastián.

La precipitación como origen del transporte de sedimentos terrígenos por los ríos hacia el mar tiene un régimen estacional concentrándose alrededor del 95% de los 2,000 mm anuales en la época lluviosa (mayo – octubre). Períodos cortos (días) con fuertes precipitaciones (100 mm o más) inyectan grandes cantidades de sedimentos en la franja marina en forma de plumas cuyas dimensiones, otra vez, dependen del balance de fuerzas del caudal de los ríos, de la onda de marea y esfuerzo del viento.

## **2.2 Fenómenos marinos de las costas salvadoreñas**

### **2.2.1 Ondas oceánicas largas y cortas en El Salvador**

Las ondas oceánicas que se observan en la Zona Costero-Marina de El Salvador pueden clasificarse como a continuación se detalla. La onda de marea es de carácter semidiurno (2 pleamares y bajamares por día) con un rango de marea promedio de 2.5 metros variando a lo largo de la línea de costa. Tsunamis se han observado tanto por aquellos producidos por los constantes sismos en la zona de subducción conocida como trinchera de Mesoamérica localizada

alrededor de 100 km mar adentro o por sismos frente a la costa de Suramérica o el cordón de las islas Aleutianas frente al estrecho de Bering.

El oleaje tiene componentes generados por ciclones extra tropicales (mar de leva) que se caracteriza por alturas menores a los 2 metros, períodos mayores a 10 segundos y direcciones SW o NW dependiendo del hemisferio en donde son generados. Sobrepuesto a estos componentes se observa el oleaje generado por los vientos alisios y ciclones tropicales (mar local), principalmente los que se desprende de la Zona de Convergencia Intertropical. Además, los frentes asociados a los centros de alta presión propician vientos de componente Norte que atraviesan las discontinuidades de los sistemas de montañas de Mesoamérica, propiciando chorros de viento al Sur de México (istmo de Tehuantepec), Sur de Nicaragua y Norte de Costa Rica (sistema lagunar de Managua y Nicaragua), centro de Panamá (istmo de Panamá), que generan oleaje de alturas mayores a los 3 metros, períodos menores a 10 segundos y direcciones N y NE.

Por debajo del nivel medio del mar se extiende la plataforma continental que para el caso de El Salvador posee un ancho promedio de 50 kilómetros desde la línea de costa hasta profundidades de hasta 200 metros. Luego el talud continental

presenta pendientes de 3° a 5°, lo cual corresponde a que a 75 km de la línea de costa se registran profundidades alrededor de 2 km. A una distancia aproximada de 100 km de la línea de costa se localiza la zona de subducción con profundidades de hasta 4 kilómetros. Mientras la línea de costa de El Salvador se extiende desde los 13° N y 88° W, hasta los 14° N y 90° W, el borde exterior de su Zona Económica Exclusiva se localiza entre los 10° N y 90° W y 11° N y 92° W, delimitando un área aproximada de 80,000 km<sup>2</sup> de aguas oceánicas.

#### 2.2.2 Las principales características oceanográficas

1. Termoclina bien definida y poco profunda (entre 40 y 60 m);
2. Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) de los vientos alisios desplazándose hasta los 10° N entre julio y septiembre (estación lluviosa);
3. Chorros de vientos costeros al Noroeste en el Sur de México y al Sueste en el Sur de Nicaragua, que generan remolinos ciclónicos y anticiclónicos que transportan propiedades de las aguas poco profundas bien mezcladas, a aguas profundas bien estratificadas;
4. Zona de surgencia a lo largo de los 10° N generada por la divergencia de los alisios del Sur y del Norte, aprovechada como ruta de paso por especies

altamente migratorias como los grandes pelágicos (tiburones, mamíferos marinos);

5. Zonas de surgencias no costera como el domo de Costa Rica y la cuña en el nivel del mar a lo largo de los 10° N, asociadas a la ZCI, los chorros de vientos costeros, y al balance geostrófico de la Contra Corriente Ecuatorial en su extremo oriental;
6. El sistema de corrientes de la frontera oriental responde a la variabilidad estacional atmosférica (vientos alisios, ZCI, y chorros de vientos costeros) y entre enero y junio la Corriente Costera de Centroamérica se debilita (con dirección Noroeste) y la Corriente de California se intensifica (con dirección Sureste);
7. La variabilidad temporal de las condiciones oceanográficas de las aguas oceánicas de El Salvador está controlada por las fases del fenómeno de El Niño / Oscilación del Sur. Cuando la anomalía de la temperatura superficial del mar es positiva y la profundidad de la termoclina se incrementa, afecta de forma negativa la productividad primaria. Como consecuencia directa los organismos de niveles tróficos superiores también se ven afectados en su supervivencia, reproducción y distribución. En las zonas de surgencia costeras y no costeras, la fase del fenómeno que se caracteriza por una

anomalía positiva de la temperatura superficial del mar y un incremento en la profundidad de la termoclina, disminuyen los volúmenes de zooplancton ocasionando que aves y mamíferos marinos mueren o no se reproducen por la falta de alimento. Se ha observado que el descenso de la termoclina y de la capa de oxígeno mínimo puede favorecer a las especies bentónicas y cambiar la composición de comunidades planctónicas.

### 2.2.3 Vientos y oleajes

El viento es generado por la diferencia de presión atmosférica que a su vez se origina por las diferencias de temperatura y humedad del aire y está organizada en centros de alta y baja presión. En un centro de alta presión atmosférica el centro tiene mayor presión que la periferia, el aire seco y frío desciende de niveles superiores hacia los niveles inferiores por el centro del sistema. En un centro de baja presión atmosférica el comportamiento es inverso, la presión es menor en el centro que en la periferia, el aire húmedo y caliente asciende de niveles inferiores hacia los superiores por el centro del sistema.

Los vientos se mueven hacia donde la presión es menor y por efecto de la rotación de la tierra hacia la derecha en el hemisferio norte. Por esta razón la circulación resultante es anticiclónica (a favor de las manecillas de un reloj),

cuando son alrededor de los centros de alta presión atmosférica; y ciclónica (contra las manecillas de un reloj), en el caso de los centros de baja presión atmosférica.

En primavera (de abril a junio) y verano (de julio a septiembre) del hemisferio norte, centros de baja presión se localizan en el Océano Pacífico Oriental Tropical al Oeste de El Salvador, por lo que vientos del Sur soplan sobre nuestro país transportando aire húmedo y caliente. En el otoño (de octubre a diciembre) e invierno (de enero a marzo) del hemisferio norte, centros de alta presión atmosférica se localizan sobre América del Norte al Oeste de El Salvador, por lo que vientos del Norte soplan sobre nuestro país transportando aire seco y frío.

La velocidad de los vientos es mayor cuanto mayor es la diferencia de presión atmosférica. Las tormentas asociadas a los centros de alta y baja presión atmosférica generan oleaje cuando los vientos asociados a estos sistemas atmosféricos soplan en una cierta distancia por un período dado. La distancia se conoce como fetch y es la longitud característica del sistema donde el viento sopla sin obstáculos. El período se conoce como duración y es el tiempo durante el cual el viento sopla sin una disminución significativa. El oleaje se clasifica de acuerdo a la distancia de la tormenta con respecto al punto de observación.

Cuando el oleaje proviene de tormentas cercanas a este se le conoce como mar local, y cuando proviene de tormentas lejanas se le conoce como mar de leva.

La escala Beaufort describe el viento relacionando su velocidad con la altura del oleaje y las condiciones en mar y tierra. La escala Douglas describe el oleaje relacionado su altura con su origen, es decir mar local o mar de leva. Esta última es la aceptada por la Organización Meteorológica Mundial para caracterizar el estado del mar

#### ESCALA DOUGLAS

Escala	Altura del oleaje (metros)	Descripción del mar local	Descripción del mar de leva
0	0	Llana	Sin olas
1	0-0.10	Rizada	Olas cortas y pequeñas
2	0.10-0.50	Marejadilla	Olas largas y pequeñas
3	0.50-1.25	Marejada	Olas cortas y moderadas
4	1.25-2.50	Fuerte marejada	Olas medianas y moderadas
5	2.50-4.0	Gruesa	Olas largas y moderadas
6	4.0-6.0	Muy gruesa	Olas cortas y grandes
7	6.0-9.0	Arbolada	Olas medianas y grandes
8	9.0-14.0	Montañosa	Olas largas y grandes
9	14	Enorme	Olas de longitud y altura variable

*Tabla 1 Escala de Douglas*

## CLASIFICACIÓN DEL OLAJE

Altura	Metros	Longitud	Metros	Período	Segundos
Pequeña	<2	Corta	<100	Mar local	$T_p < 10$
Moderada	2-4	Mediana	100-200	Mar de leva	$T_p > 10$
Grande	>4	Larga	>200		

Tabla 2 Clasificación de oleajes

### 2.2.4 Tipo de olas

Para la generación de energía mareomotriz, no se utilizan directamente las olas superficiales, sino más bien el movimiento de las mareas. Aunque ambas son formas de energía oceánica, se diferencian en su origen y características.

La energía mareomotriz se basa en la diferencia de altura entre las mareas alta y baja, lo que genera un flujo de agua bidireccional. Durante la marea alta, el agua se acumula en una zona y, durante la marea baja, el agua se retira nuevamente. Es este flujo y reflujos de las mareas lo que se utiliza para generar electricidad.

Por lo tanto, las características favorables para la generación de energía mareomotriz son:

1. Amplitud de marea: Una mayor diferencia de altura entre las mareas alta y baja proporciona un mayor potencial para generar energía. Lugares con grandes amplitudes de marea, como las zonas costeras con mareas de altura considerable, son favorables para la energía mareomotriz.
2. Corrientes de marea: La velocidad y fuerza de las corrientes de marea también son factores importantes. Corrientes más fuertes permiten generar mayor cantidad de energía. Lugares con corrientes de marea significativas son ideales para la implementación de proyectos de energía mareomotriz.

Es importante tener en cuenta que la generación de energía mareomotriz requiere estudios detallados para identificar ubicaciones específicas que cumplan con los requisitos necesarios. La topografía submarina, la geomorfología costera y otros factores también pueden influir en la viabilidad de un proyecto de energía mareomotriz.

Es posible que la energía de las olas (energía undimotriz) se confunda con la energía mareomotriz. La energía undimotriz aprovecha el movimiento de las olas superficiales, que es impulsado principalmente por el viento, para generar electricidad. Sin embargo, las olas superficiales son más impredecibles y menos

constantes que el flujo de las mareas, lo que hace que la energía mareomotriz sea una opción más estable y predecible para la generación de energía.

#### 2.2.5 Requisitos a tener en cuenta

##### **Zonas con riesgo de Tsunami**

El Salvador posee 29 municipios costeros expuestos a la amenaza por tsunamis, el MARN es el responsable de emitir la alarma de tsunamis lejanos en El Salvador emitidas por el Sistema de Alerta de Tsunamis del Pacífico (PTWC). Sin embargo, es importante fortalecer las capacidades para la emisión de alertas de tsunamis generados por fuentes cercanas frente a la costa de El Salvador, los cuales tienen potencialmente una gran capacidad de destrucción.

El MARN en conjunto con el Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria y financiado por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID). Define las siguientes zonas como de alto riesgo de tsunami en la costa estas son:

Las zonas de los esteros Garita Palmera, San Juan y El Limón son los puntos más afectados con una profundidad de inundación de entre 3 y 6 metros. La zona de Metalío es la más amenazada, pues es la que mayor área tiene sujeta a profundidades mayores a 4 metros. San Francisco Menéndez, aunque tiene

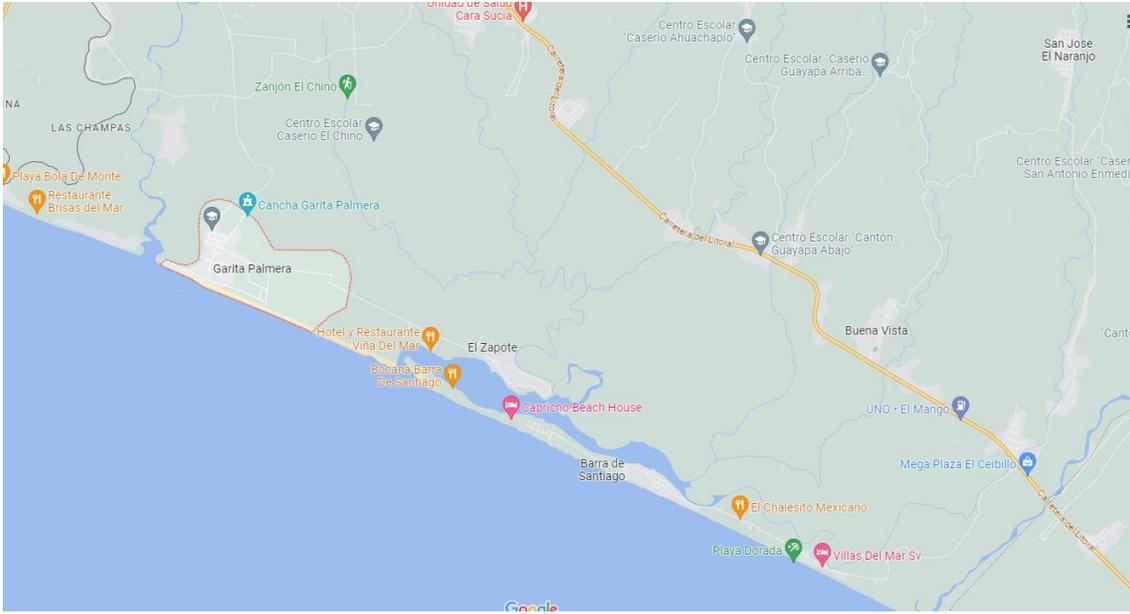
mayor área inundada, la mayor parte de ésta tiene profundidades muy pequeñas, menores a 1 metro.

Los puntos más críticos debido a un mayor riesgo humano son las zonas de Metalío, Barra de Santiago, Garita Palmera y gran parte de San Francisco Menéndez, lo que supone un 35% de los habitantes de la zona (7,083 personas). Un 40% de la población (8,227 personas) están sujetas a un riesgo Alto, el 25% de la población (5,119 personas) se encuentra entre riesgo Muy Bajo y riesgo Medio.

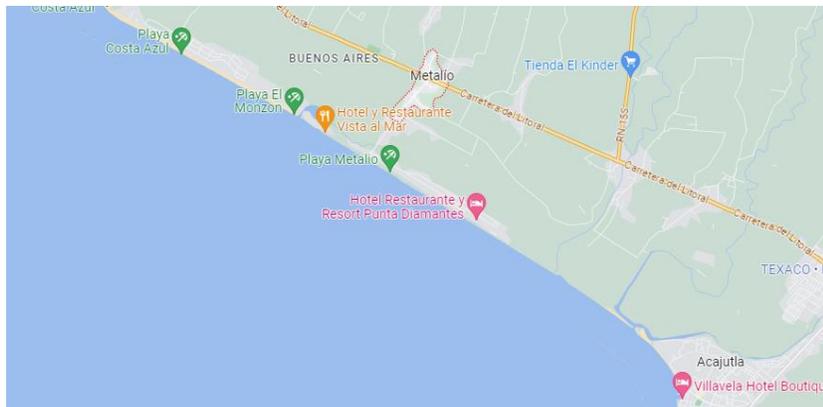
Del total de ecosistemas expuestos en la Planicie costera occidental, San Francisco Menéndez es el municipio más afectado con 38 km<sup>2</sup> de área de ecosistema expuesta. Jujutla y Acajutla aunque tienen menor área expuesta (cerca de 10 km<sup>2</sup> cada uno), ésta supone la totalidad de sus ecosistemas.



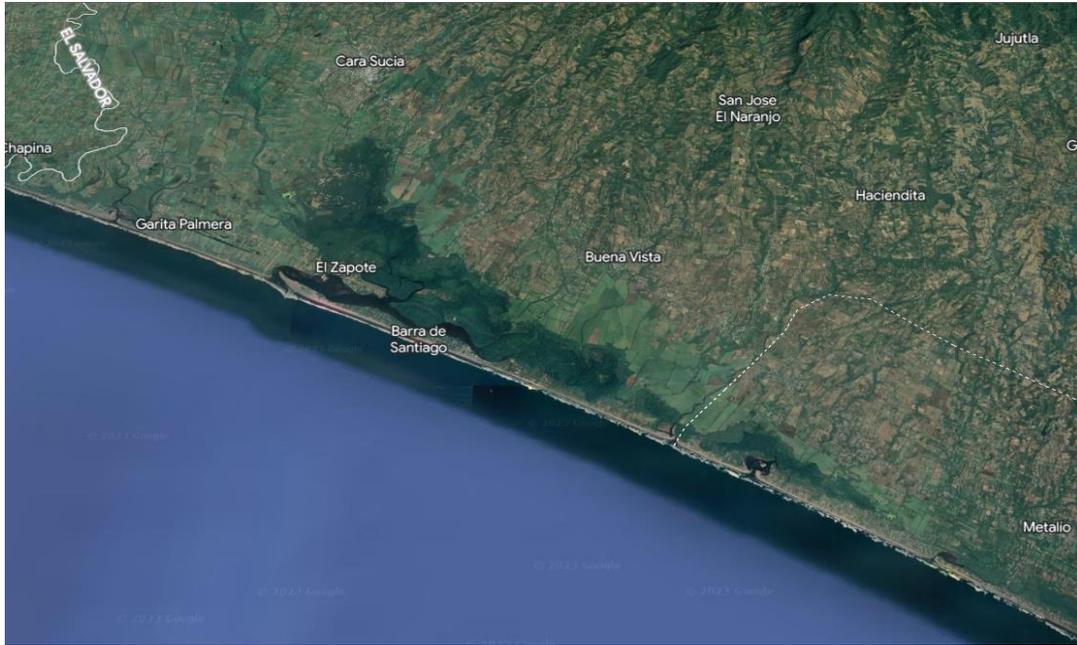
*Ilustración 9 Garita palmera*



*Ilustración 10 Garita palmera y barra de Santiago*



*Ilustración 11 Metalío*



*Ilustración 12 Barra de Santiago*



*Ilustración 13 Garita palmera y barra de Santiago*

### 2.2.6 Generador con mejor relación

En términos generales, los generadores mareomotrices que utilizan turbinas de flujo axial son considerados como una de las opciones más económicas para la generación de energía mareomotriz. Estas turbinas son similares a las utilizadas en la energía eólica, lo que permite aprovechar la experiencia existente en esa industria y reducir los costos de fabricación y mantenimiento.

Además, la utilización de generadores mareomotrices de menor escala, especialmente aquellos que se instalan en aguas poco profundas cerca de la costa, tiende a ser más económica que las grandes instalaciones de presas mareomotrices. Los generadores más pequeños pueden ser más fáciles de construir, instalar y mantener, y generalmente tienen menor impacto ambiental.

Es importante tener en cuenta que el costo de implementación de la generación mareomotriz puede variar considerablemente según la ubicación, el tamaño del proyecto, la infraestructura requerida y otros factores específicos. Los costos también pueden estar influenciados por la disponibilidad de materiales, la tecnología utilizada y la escala de producción.

En cualquier caso, la reducción de costos en la generación mareomotriz está relacionada con la madurez de la tecnología y el aumento de la escala de

producción, así como con los avances en la eficiencia de los diseños y los procesos de fabricación. Con el tiempo, se espera que los costos de la generación mareomotriz disminuyan a medida que se desarrolle y se implementen tecnologías más eficientes y se adquiera más experiencia en la construcción y operación de proyectos a gran escala.

## **2.3 Seleccionar el mejor método de generación**

### 2.3.1 Zonas con potencial de generación

El Salvador debido a su ubicación geográfica, cuenta con acceso al océano Pacífico. Aunque no tiene mareas extremadamente grandes como en otros lugares del mundo, existen algunas zonas en las que se podría considerar la implementación de la generación mareomotriz. A continuación, se menciona algunas áreas que podrían ser consideradas:

1. Golfo de Fonseca: Es una extensión de agua compartida por El Salvador, Honduras y Nicaragua. Se caracteriza por tener un flujo y reflujo de mareas moderadas, lo que lo convierte en un lugar potencial para la generación de energía mareomotriz.

2. Playa El Cuco: Ubicada en la costa oriental de El Salvador, cerca de la frontera con Honduras, también podría ser considerada como una zona para la implementación de la energía mareomotriz.
3. Bahía de Jiquilisco: Se encuentra en la costa oriental de El Salvador y es una zona de gran importancia ecológica debido a sus manglares y biodiversidad marina. Aunque la generación mareomotriz en esta área podría presentar desafíos ambientales, es importante considerar su potencial energético.
4. Costa del departamento de La Libertad: Específicamente en la costa del océano Pacífico, podría tener algunas áreas donde las condiciones marinas sean favorables para la generación de energía mareomotriz. Es necesario realizar estudios de factibilidad detallados para determinar su viabilidad en esta región.

Es importante tener en cuenta que la viabilidad de la generación mareomotriz en estas áreas específicas requeriría un estudio detallado y específico del potencial energético de las mareas, así como de las condiciones geográficas, ambientales y económicas locales. Es posible que se requiera la colaboración de expertos y

estudios de factibilidad para evaluar adecuadamente el potencial de generación de energía mareomotriz en estas zonas.

Es importante destacar que la implementación de proyectos de energía mareomotriz requiere un análisis exhaustivo de factibilidad técnica, económica y ambiental. Se deben considerar aspectos como las características del oleaje, la profundidad del agua, los impactos ambientales y la infraestructura necesaria.

Además, es fundamental involucrar a expertos en energías renovables, autoridades locales y comunidades para evaluar el potencial y los posibles impactos de dichos proyectos. Esto asegurará una toma de decisiones informada y una consideración adecuada de los aspectos sociales, económicos y ambientales involucrados.

## **CAPÍTULO III. DELIMITACIÓN DE ZONA DE IMPLEMENTACIÓN**

### **3.1 Zona elegida para implementar la generación**

Golfo de Fonseca:

Para poder aprovechar la energía proveniente del mar se han desarrollado diversos tipos de tecnologías que permiten ya sea el almacenamiento de sus aguas representada por las presas de marea o el movimiento generado por las corrientes las cuales reciben el nombre de “TECs”.

### **3.2 Datos de la zona:**

Esta zona está situada en la parte sudoriental del país, en las tierras bajas que forman la Llanura Costera y que bordean el Golfo de Fonseca.

La topografía no es uniforme en esta zona, y la llanura es interrumpida por dos porciones montañosas que constituyen los extremos terminales de la Cordillera Central y de la Cadena Costera. El volcán Conchagua es un exponente de la Cordillera Central y constituye la única porción de la cordillera que bordea el mar. (1,243 metros).

De las zonas agrícolas que están situadas en la Llanura Costera, ésta es la que ofrece más dificultades para el desarrollo desde el punto estrictamente agrícola, pero por otra parte ofrece ventajas para un desarrollo integrado donde el turismo juega un papel importante.

La zona tiene una extensión de 28,251 hectáreas incluyendo las áreas montañosas situadas dentro de la parte llana. Cubre parte de los municipios de Pasaquina, San Alejo, La Unión, Conchagua e Intipuca, del departamento de La Unión; parte del municipio de Chirilagua del departamento de San Miguel, y una parte muy pequeña del municipio de Jucuarán del departamento de Usulután.

Dentro de esta zona se encuentra ubicada la ciudad de La Unión y el puerto Cutuco, sobre el golfo.

### 3.2.1. Clima

Esta zona está comprendida dentro de la clasificación climática de Sabana Tropical Caliente, excepción hecha del área del volcán de Conchagua, que por efectos de su altura y los cambios meteorológicos que esto produce se encuentra ubicada en la Sabana Tropical Calurosa.

Con respecto a la distribución de la precipitación, se pueden diferenciar tres áreas; dos áreas con precipitación media anual menor de 1,800 milímetros

situadas al sur y al norte de la zona, y otra con precipitación mayor de 1,800 milímetros en la parte central, probablemente hasta un máximo de 2,000 milímetros en las alturas del volcán Conchagua. Las lluvias están irregularmente distribuidas, como sucede en todo el país; en la zona se presentan seis meses de precipitación media mensual superior a 240 milímetros, y seis meses con precipitación inferior a 28 milímetros, produciéndose registros de 1 milímetro en el mes de enero. Sin embargo, se diferencia del resto del país, al igual que todo el oriente, por presentar un desfase climático de 15 días. En efecto, más del 40 por ciento de la lluvia anual (1,876 milímetros para Cutuco) cae en septiembre y octubre (760 milímetros), lo que prolonga la temporada lluviosa. En la misma forma, las temperaturas son mucho más elevadas en esta zona, al igual que en la parte occidental del país, donde se han registrado hasta 45°C como máxima absoluta y una media de 27°C.

### 3.2.2 Fisiografía

La zona presenta caracteres geológicos variados, aunque predomina el aluvión.

La forma predominante de llanura con intrusiones de colinas y cerros pertenecientes a la Cordillera Central y a la Cadena Costera hace que la zona

presente caracteres geológicos variados. Geomorfológicamente muestra principalmente llanuras antiguas, llanuras aluviales y planicies de inundación.

#### a. Llanuras antiguas

Son áreas actualmente disectadas. La topografía es ligeramente ondulada o muy ondulada. Las pendientes varían del 6 por ciento al 12 por ciento, pero en las cercanías de las quebradas y faldas de los cerros son más fuertes. Estas llanuras han sido modificadas por movimientos tectónicos y disectadas por efectos de la denudación geológica, y están formadas en la actualidad por pequeños valles casi a nivel y cerrados; entre estos se encuentran algunas cubiertas de agua que forman las pequeñas lagunas que existen en la zona; la otra forma fisiográfica está compuesta por los remanentes de la llanura antigua, que ocupa la cima de los cerros.

Estas llanuras varían en elevación desde el nivel del mar hasta unos 100 metros de altura. Los estratos inferiores están compuestos de lavas y conglomerados de materiales basálticos y andesíticos muy intemperizados hasta varios metros. Se encuentran bolsones dispersos de aluvión pedregoso de origen basáltico y andesítico.

## b. Llanuras aluviales

Comprenden los valles sin disección que varían de amplios a estrechos; estos últimos por lo general constituyen el área de drenaje de los macizos montañosos.

Los valles amplios son llanos a ligeramente ondulados; los valles estrechos son longitudinales entre montañas o áreas locales en forma de abanicos aluviales; son ligeramente disectados, con pendientes predominantes que varían de 1 a 5 por ciento. Los estratos inferiores están compuestos por materiales coluviales y aluviales arrastrados principalmente de suelos latosólicos con mayores elevaciones.

## c. Planicies de inundación

Son áreas sin disección, con pendientes que varían de 0 hasta 2 por ciento; rodean las orillas del Golfo de Fonseca y se hallan adyacentes a los manglares, esteros y ríos. Están constituidas por capas inferiores de aluvión; en las planicies interiores las capas inferiores son talpetates, tobas o basaltos no fracturados y de poca permeabilidad.

### 3.2.3 Hidrología

Los ríos principales de la zona son dos: el Sirama y el Goascorán, que forma el límite oriental con Honduras. Ambos desaguan en el Golfo de Fonseca. Las características registradas de estos dos ríos son las que muestra el Cuadro 4.8.

Aunque en comparación con las otras zonas de la Llanura Costera, no cuenta con grandes áreas susceptibles de riego, la zona tiene limitadas áreas a lo largo del Goascorán, en su porción inferior entre La Unión y Sirama, en las proximidades de la laguneta de Los Negritos y en la parte costera del océano. Estas áreas potenciales para riego están dispersas y son limitadas en su extensión, aunque pueden ser de importancia local.

#### Características de los ríos de la zona del Golfo de Fonseca

Río	Estación	Cuenca en km <sup>2</sup>	Registros desde	CAUDALES EN METROS CUBICOS POR SEGUNDO				
				Medio	Máximo instantáneo	Fecha	Mínimo diario	Fecha
Sirama	-	329	-		720.5	-	0.05	-
Goascorán	-	1750	-		113	-	1.83	-

*Tabla 3 Características de los ríos de la zona del golfo*

### 3.2.4 Uso actual de la tierra

En las tierras de las llanuras antiguas se cultiva principalmente maíz y maicillo; las áreas menos disectadas se usan para algodón y ajonjolí. Hay pequeñas

áreas cubiertas por malezas y pastos, principalmente jaragua. Las llanuras aluviales se dedican a cultivos anuales como maíz, maicillo, algodón y ajonjolí.

Hay pequeñas áreas de pastos, árboles frutales y arboledas.

Las planicies de inundación están dedicadas especialmente a cultivos de maíz y maicillo; en los grumosos se encuentra agricultura de subsistencia y en menor proporción ganadería.

### 3.2.5 Estructura agraria

El sistema que prevalece en casi el 90 por ciento de la zona es el arrendamiento, y sólo un bajo porcentaje es explotado en colonato, localizado al sur de San Alejo y Pasaquina.

### 3.2.6 Infraestructura

#### a. Transportes

Es una zona con dificultades de penetración. Está recorrida en forma horizontal por la carretera CA-2 o del litoral, y en la parte del Golfo de Fonseca por la CA-

1. Los únicos dos caminos de penetración primarios con que cuenta son los que comunican a la del Litoral CA-2 con las playas de El Cuco y El Tamarindo, o sea que son calles con orientación básica al turismo.

La zona cuenta con una estación de ferrocarril en la ciudad de La Unión, pero no le da un servicio al sector agrícola de la zona analizada ya que el transporte de la producción agrícola se hace por carretera.

Esta zona cuenta con el puerto de La Unión o Cutuco, que es el segundo en importancia en el país; por este puerto se exporta el algodón producido en la zona.

#### b. Electrificación rural

Es una zona con reducido servicio de energía eléctrica, que se ve abastecida por el programa de electrificación rural de la CEL en los sitios de Chirilagua, Intipuca, El Amatal, Loma Larga, Los Patos, Hacienda El Mirador, Punto Jagüey, El Cuco y El Tamarindo. En esta zona reciben servicio de energía eléctrica por parte del programa de electrificación rural 626 familias. Por otro lado, la CAESS presta servicio a la parte oriental de la zona.

#### c. Capacidad de almacenamiento

La única forma de abastecimiento que existe en la zona es proporcionada por el IRA, y consiste en almacenamiento de sal; las instalaciones están ubicadas en la cooperativa algodонера de La Unión.

### 3.2.7 Comercialización

El algodón es el cultivo predominante de la zona, pero cuenta con problemas de comercialización. En efecto, debido a que fue cerrado el beneficio que la cooperativa tenía en esa zona, el producto debe ser transportado ahora por carretera hasta el beneficio ubicado en San Miguel, con el consiguiente encarecimiento en el costo.

Con la comercialización del ganado ocurre el mismo problema, ya que la zona, por ser muy pobre, no cuenta con rastros, tiangués ni cooperativas lecheras para facilitar la comercialización. Ello es consecuencia de que el ganado deba transportarse al tiangué ubicado en El Tránsito, y la leche a San Miguel y La Unión.

### 3.2.8 Líneas generales de desarrollo

En la parte de la zona que corresponde a la cuenca baja del Goascorán, las mejores tierras agrícolas se encuentran en una faja próxima a su desembocadura, aproximadamente desde su confluencia con el río Pasaquina hasta 15 km curso abajo. El uso recomendado para estas tierras, de alta a moderada fertilidad y con buen drenaje, es el de cultivos intensivos con riego. Esto podría establecerse mediante el desarrollo de pequeños sistemas de riego,

es decir, utilizando aguas subterráneas, y también mediante derivaciones del río Goascorán. Para una utilización de las aguas del Goascorán debe mediar un convenio con Honduras.

Otra área importante que permite una intensificación del cultivo se encuentra a lo largo de la carretera La Unión hasta el entronque de la carretera que va a Puente Goascorán, y de ahí aproximadamente tres kilómetros en esa dirección, y otros tres kilómetros hacia el oeste en dirección a San Miguel. En esta área hay unidades de terrenos de Clases II y III aptas para riego, intercalados con Clases V y VII con características topográficas adversas para su uso agrícola.

En la costa del Pacífico de la zona, también se encuentra un área importante que va desde las proximidades de la playa El Tamarindo hasta Intipuca y Chirilagua, y también paralela a la línea costera donde se presentan unidades de terrenos con capacidad productiva de Clases II y III, susceptibles de riego, intercalados con tierras llanas de Clases V y VII que corresponden a suelos hidro mórficos de más difícil utilización económica.

Dentro de la zona también se encuentra un área cafetalera susceptible de mejoramiento, y áreas de colinas bajas aparentes para la producción de frutales permanentes como cítricos y mangos, principalmente. Finalmente se encuentran

los terrenos montañosos que enmarcan la zona y que se encuentran también dispersos.

En la zona del Golfo de Fonseca se encuentran playas situadas dentro de un marco espectacular, que ofrece variedad y alcance necesario para el desarrollo turístico. La parte principal es la playa en forma de semicírculo que termina en las faldas del volcán Conchagua, que toca el océano en su porción oriental. Las aguas del Golfo son tranquilas y seguras para navegación en bote y para nadar. Sin embargo, la principal dificultad que confronta actualmente su desarrollo es la gran distancia relativa que la separa del centro más importante de El Salvador. Por esta razón su desarrollo turístico debería tender a su autosuficiencia, más o menos independiente de otros centros turísticos desarrollados en el país. El desarrollo turístico de esta zona requeriría una gama completa de infraestructura, que incluiría aeropuerto, carreteras, servicios de agua potable, electrificación, construcción de hoteles, etc. No hay duda que los costos serían muy altos, pero esto se podría justificar con una planificación para el desarrollo turístico en gran escala. Dentro de las playas que se encuentran en esta zona tienen la más alta prioridad las situadas en el Golfo de Fonseca y una prioridad más baja la playa El Cuco, especialmente por sus condiciones naturales.

En resumen, el desarrollo de la zona del Golfo de Fonseca está condicionado a un desarrollo complejo, en el que el agrícola no es principal sino complementario. Sin embargo, en la secuencia lógica del desarrollo integral, el desarrollo agrícola debería planificarse a más corto plazo para luego abocarse al desarrollo turístico.

### **3.3 Métodos de generación para la implementación de energía**

#### **mareomotriz**

Teniendo en cuenta la ubicación geográfica, las condiciones climatológicas y las marítimas que la región objeto de este estudio presenta, se realiza una selección de los tipos de tecnologías implementadas actualmente alrededor del mundo que se adapten a dichas condiciones además de obtener una eficiencia que pueda satisfacer la demanda eléctrica que se presenta en los habitantes del pacifico los cuales no cuentan con una cobertura suficiente del servicio.

Algunas de las variables a tener en cuenta en este estudio como se mencionaba anteriormente son: la demanda del servicio en cada hogar, para este análisis se tiene en cuenta el tipo de cargas que en promedio se tienen y se muestran a continuación.

APARATO	POTENCIA (W)
<b>Iluminación</b>	
Bombillo	20-60
<b>Conservación y preparación de alimentos</b>	
Nevera	250
Licuadaora	200
Estufa	1,200(por cada parrilla)
<b>Comodidades</b>	
Televisor	100
Equipo de sonido	100
Grabadora	50
VHS o DVD	50
Ventilador	160
Plancha	1,200

*Tabla 4 Cargas promedio en hogares (Fuente propia)*

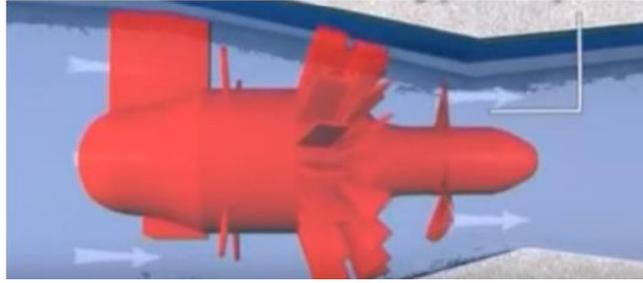
De acuerdo con la tabla 3 la demanda de un hogar al mes sería en promedio de 297 kWh/mes, según sea el tipo de electrodomésticos que cada hogar tenga y el número 22 respectivo de horas que se utilicen, dicho consumo en su mayoría se hace por aparatos de ventilación debido a las condiciones climatológicas que presenta la zona, también se tiene en cuenta que el uso del refrigerador es inherente ya que la mayoría de alimentos provienen de recursos marítimos (pescados, mariscos, etc.) los cuales necesitan de una cadena de frío para que no se echen a perder.

### **3.4 Análisis técnico de los tipos de generación aplicables**

#### **3.4.1 Presa de marea**

Son construcciones que utilizan la energía potencial que existe debido a la diferencia de alturas entre pleamar y bajamar, por medio de diques se logra contener el agua para ser conducida a través de turbinas con forma de tobera para aprovechar el flujo bidireccional de agua según se presente el tipo de marea y generar electricidad. Su ubicación más habitual es en estuarios debido a un mayor aprovechamiento para la canalización de sus aguas.

Este tipo de presas consisten en una serie de túneles por donde ingresa el agua que y hace girar una serie de turbinas tipo Kaplan reversible las cuales giran por el flujo de agua, para tener un flujo de agua constante con una velocidad tal que pueda ser aprovechada, se almacena el agua en un dique y al tener una altura significativa del líquido se abren las compuertas de la presa para que circulen por los túneles.



*Ilustración 14 Turbina kaplan*

Características técnicas turbina Kaplan reversible:

- Diámetro horizontal: 5.35 m
- Amplitud 13.5 m
- Potencia Nominal de salida: 10 MW

### 3.4.2 Marine Current Turbines (MCT)



*Ilustración 15 Generador Sea Gen 2MW (Marine Current Turbines,2013)*



*Ilustración 16 Generador Sea Gen 2MW (Marine Current Turbines,2013)*

Consiste en dos turbinas axiales y de eje horizontal, abiertas y montadas sobre un soporte que, discurriendo a lo largo de un pilote anclado al fondo, puede emerger fuera del agua para su mantenimiento (Núñez, 2005).

En el año 2008 fue instalado el primer generador comercial en Irlanda del Norte con dos rotores cada uno de 16 m de diámetro el cual tiene una potencia de 1.2 MW este proyecto conto con un presupuesto de 8.5 millones de libras esterlinas. (Núñez, 2005).

Este generador es capaz de entregar hasta 20 MW/día en Strangford, que asciende hasta 6,000 MWh/año. Esto es aproximadamente la tasa de captación de energía de una turbina eólica 2.4 MW. (Marine Current Turbines, 2013) 26 Actualmente esta empresa creo una turbina que tiene una potencia de 2 MW la

cual cuenta con 2 rotores cada uno de 20 m de diámetro, el cual, es adecuado para entornos marinos en profundidades de agua de hasta 38 metros y alcanza la potencia nominal en las corrientes de marea de más de 2.4 m / s.

### 3.4.3 Verdant Power

Este diseño está basado en una hélice de tres palas, para aprovechar las velocidades que pueda presentar la corriente y así tener una mayor una eficiencia. El soporte que sostiene la turbina puede girar la turbina de forma tal que esta pueda seguir la dirección de la corriente de marea y de esta forma aprovechar el flujo y el reflujó. La góndola en donde se encuentran la caja de engranajes y el generador están dentro de una carcasa a prueba de aguas, está instalada sobre el soporte. Una gran ventaja que tiene este dispositivo es que se diseñan a escala según el sitio donde se desean montar, disminuyendo sus costos.



*Ilustración 17 Turbinas de marea (Verdant Power, 2016)*

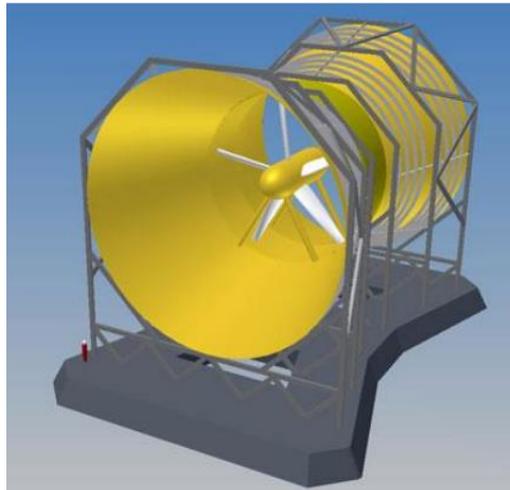


*Ilustración 18 Turbinas de marea (Verdant Power, 2016)*

#### 3.4.4 Rotech Tidal Turbine (RTT)

Este dispositivo consiste en una turbina de eje horizontal ubicada dentro de un tubo el cual está diseñado con la forma de un tubo venturi, con el cual se genera una aceleración del flujo lo que a su vez aumenta la eficiencia de la turbina,

además, cuenta con palas regulables. La turbina es removible sin la necesidad de sacar el tubo. (Lunar Energy, 2016)



*Ilustración 19 Turbinas de marea (Lunar Energy Tidal Power, 2016)*



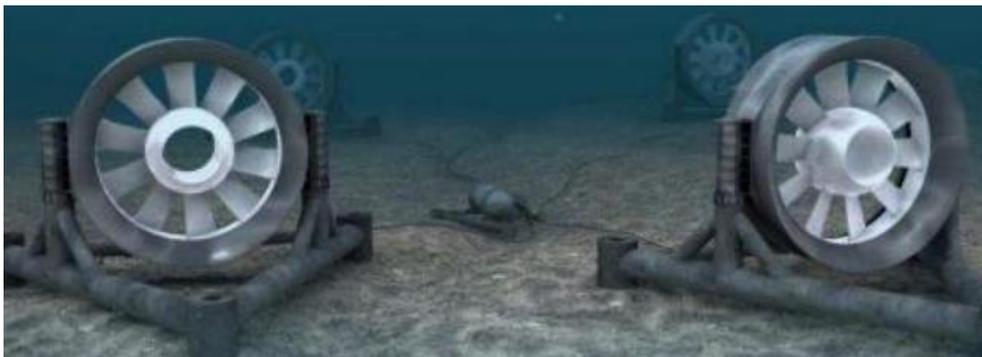
*Ilustración 20 Turbinas de marea (Lunar Energy Tidal Power, 2016)*

### 3.4.5 Open Hydro

Actualmente está en construcción un parque mareomotriz en la Costa al norte de la región de Bretaña en Francia el cual consta de 4 turbinas que abastecerán las necesidades eléctricas de 4,000 hogares, cada turbina posee una potencia unitaria de 500 kW y está apoyada sobre el fondo mediante una estructura de acero de grandes dimensiones. (Núñez, 2005).



*Ilustración 21 Turbinas de marea (Open Hydro, 2014)*



*Ilustración 22 Sistema de Generación de 4 Turbinas y 1 Convertidor. (Open Hydro, 2014)*

Sopesando, las características mencionadas se tienen que las mareas tienen un periodo aproximado de 12 horas y 25 o 50 minutos, con lo cual se puede embalsar el agua del mar en un estuario durante la pleamar y de tal manera aprovechar la diferencia de altura en el proceso de bajamar haciendo pasar agua por unas turbinas por medio de la energía potencial.

$$E_p = mgh \quad (1)$$

$$E_p = Q\rho ght \quad (1.1)$$

Siendo:  $E_p$  Energía potencial (J), Masa (kg), Altura (m), Caudal ( $m^3/s$ ),  $\rho$  Densidad del agua del Mar ( $kg/m^3$ ),  $g$  Aceleración de debida a la gravedad ( $m/s^2$ ),  $t$  Tiempo (s).

## CAPÍTULO IV. ESTUDIO DEL IMPACTO SOCIAL Y

### AMBIENTAL

#### 4.1 Impacto social

Como primera parte se realiza un análisis del impacto social que provoca el tema entre los habitantes de la zona del Golfo de Fonseca, la superficie de 7,620 km<sup>2</sup> que albergan una población de unos 34,045 habitantes según el último censo de población y vivienda, incluyendo los habitantes de las islas Meanguera y Zacatillo pertenecientes al territorio salvadoreño.

En base a los datos se obtiene la muestra de la población a encuestar:

Dado que la población se encuentra por debajo de 100,000 habitantes se considera finita, ya que podemos contar como base la población en el último censo

Tenemos la fórmula de la siguiente manera:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

n= Tamaño de la muestra

N= Tamaño de la población

Z<sub>α</sub>= Parámetro estadístico que depende el nivel de confianza

e= Error máximo aceptado

p= Probabilidad que ocurra el evento

q= (1-p)= Probabilidad que no ocurra el evento

De lo datos tenemos:

N=34,045

Z= nivel de confianza del 95%

e= error del 5%

p= 50%; q=50%; se define estos valores ya que no se tiene referencia de una encuesta anterior donde podamos tener una probabilidad de éxito

Calculando la muestra:

$$n = \frac{(34045) * 0.95^2 * 0.5 * 0.5}{0.05^2 * (34045 - 1) + 0.95^2 * 0.5 * 0.5}$$

n=381 habitantes

A continuación, se presenta el resultado de la encuesta realizada a un número de 381, las edades circulan entre los 18 a 70 años.

#### 4.1.1 Análisis de resultados

1. ¿Sabe usted que es la energía mareomotriz?



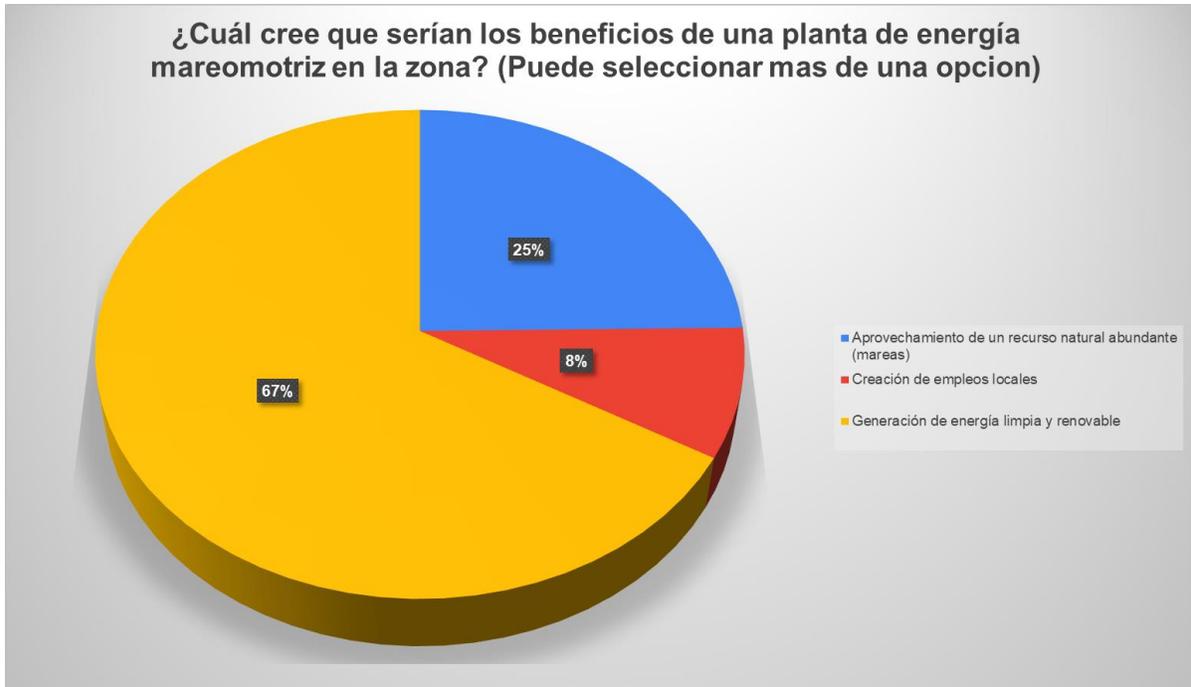
Gráficas 1 ¿Sabe usted que es la energía mareomotriz?

2. ¿Estaría de acuerdo con la implementación de una planta de energía mareomotriz en la zona?



Gráficas 2 ¿Estaría de acuerdo con la implementación de una planta de energía mareomotriz en la zona?

3. ¿Cuál cree que serían los beneficios de una planta de energía mareomotriz en la zona? (Puede seleccionar más de una opción)



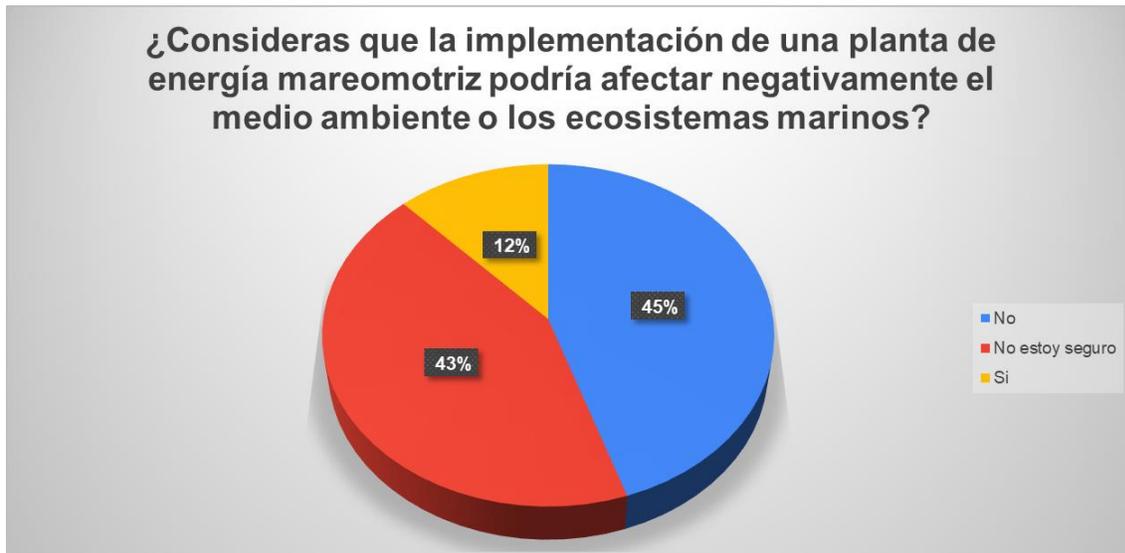
Gráficas 3 ¿Cuál cree que serían los beneficios de una planta de energía mareomotriz en la zona?

4. ¿Le genera alguna preocupación si se implementara una planta de



Gráficas 4 ¿Le genera alguna preocupación si se implementara una planta de energía mareomotriz en la zona?

5. ¿Consideras que la implementación de una planta de energía mareomotriz podría afectar negativamente el medio ambiente o los ecosistemas marinos?



Gráficas 5 *¿Consideras que la implementación de una planta de energía mareomotriz podría afectar negativamente el medio ambiente o los ecosistemas marinos?*

6. ¿Crees que la implementación de una planta de energía mareomotriz podría tener un impacto positivo en el turismo y la economía local?



Gráficas 6 *¿Crees que la implementación de una planta de energía mareomotriz podría tener un impacto positivo en el turismo y la economía local?*

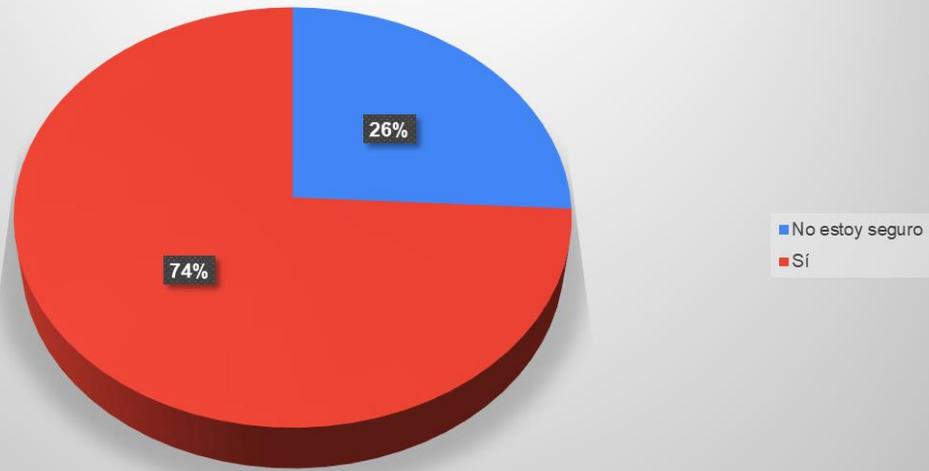
7. ¿Estarías dispuesto a apoyar la implementación de una planta de energía mareomotriz en la zona mediante acciones como la promoción, participación en debates comunitarios o contribuciones económicas?



*Gráficas 7 ¿Estarías dispuesto a apoyar la implementación de una planta de energía mareomotriz en la zona mediante acciones como la promoción, participación en debates comunitarios o contribuciones económicas?*

8. ¿Crees que la energía mareomotriz es una forma efectiva de generar electricidad en comparación con otras fuentes de energía renovable?

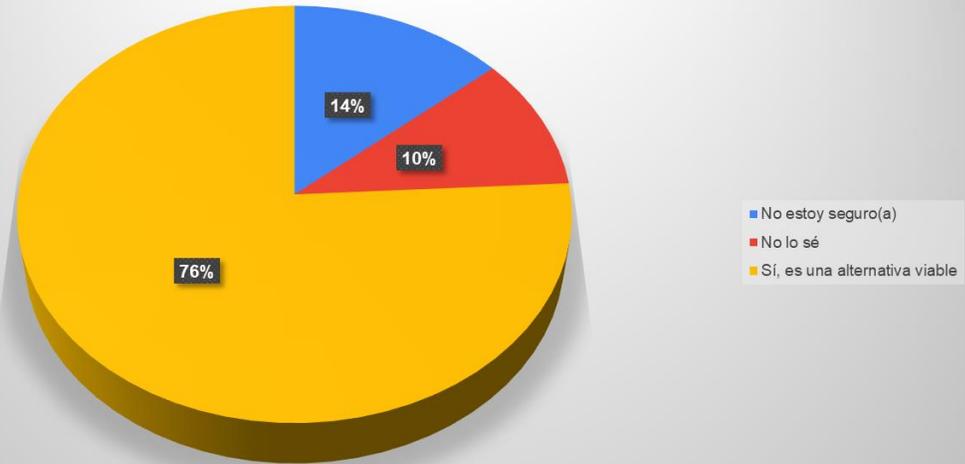
**¿Crees que la energía mareomotriz es una forma efectiva de generar electricidad en comparación con otras fuentes de energía renovable?**



*Gráficas 8 ¿Crees que la energía mareomotriz es una forma efectiva de generar electricidad en comparación con otras fuentes de energía renovable?*

9. ¿Crees que la energía mareomotriz es una alternativa viable a las fuentes de energía convencionales?

¿Crees que la energía mareomotriz es una alternativa viable a las fuentes de energía convencionales?



Gráficas 9 ¿Crees que la energía mareomotriz es una alternativa viable a las fuentes de energía convencionales?

10. En tus propias palabras, ¿cómo describirías la energía mareomotriz?

COMO DESCRIBIRIAS LA ENERGIA MAREOMOTRIZ



Gráficas 10 ¿cómo describirías la energía mareomotriz?

#### 4.1.2 Conclusión de resultados

En base a los resultados obtenidos podemos concluir:

- Mas de la mitad de la población de la zona costera del golfo de Fonseca conoce el tema de la generación de energía limpia y renovable, dos terceras partes de ella, aunque no conocen el cien por ciento de la información de la energía mareomotriz, se muestran expectantes e interesados en tener más información.
- Un ochenta por ciento de los encuestados confían que la aplicación de este tipo de generación puede promover fuentes de empleo en la zona e impulsar el desarrollo de nuevas tecnologías.
- La población encuestada opina que estaría dispuesto a participar en actividades que promuevan mayor información e incluso estarían dispuestos a apoyar la iniciativa siempre que esto no afecte el turismo y las fuentes de trabajo ya existentes en la zona como la pesca.
- Un alto porcentaje de los encuestados considera que es necesaria mayor información principalmente de como esto afectaría el ecosistema ya que de momento es una de sus fuentes de ingresos económicos más importante.

- Tres cuartas parte de la población considera que la generación de energía mareomotriz podría ser una forma efectiva de generar energía y que puede traer beneficios económicos no solo en temas de trabajo y desarrollo en la zona, sino también un impacto positivo en la facturación de energía eléctrica en la zona del golfo de Fonseca.
- La percepción de los encuestados en cuanto a cómo describir este tipo de generación eléctrica, la mayoría opino que es una forma inteligente de provechar recursos renovables y en abundancia.

## **4.2 Impacto Ambiental**

A pesar de que tiene numerosos beneficios, las desventajas de la energía mareomotriz también son notables, sobre todo si hablamos de su impacto ambiental. A continuación, se exponen algunos de los puntos más relevantes a tomar en cuenta.

### **4.2.1 Negativo:**

- Genera un gran impacto visual y estructural sobre el paisaje costero, siendo esta una de las desventajas de la energía mareomotriz más

preocupantes. Para la construcción de una presa de marea es necesaria la instalación de un dique en un estuario, elemento que modifica el estado natural del lugar en el que se encuentre.

- La energía mareomotriz solo es viable en zonas muy concretas del planeta, aspecto que depende de la intensidad de las mareas de un territorio en particular.
- Esta energía produce un efecto negativo en la flora y fauna marina, transformando su hábitat natural al ocupar artificialmente una zona en la que antes no había nada. Por lo tanto, podemos afirmar que la construcción de infraestructuras para generar esta energía produce cambios en los ecosistemas.

#### 4.2.2 Positivo:

- Es una fuente de energía limpia, no produce gases de efecto invernadero ni otros contaminantes producidos por otros tipos de energía.
- No utiliza combustibles adicionales.
- Produce electricidad de manera constante y fiable.
- Las mareas son inagotables y fáciles de predecir.
- Es una fuente de energía renovable.

#### 4.2.3 Flora y Fauna:

El efecto más destacado sobre los diferentes factores ambientales es el causado sobre las poblaciones de seres vivos que ven transformado su hábitat natural.

La modificación de los ecosistemas se produce principalmente por la alteración del lecho marino motivado por la barrera creada. Este tipo de barreras provoca alteraciones en la dinámica litoral que pueden afectar a especies muy sensibles a variaciones del medio, alterando todo el equilibrio ecológico.

Un estudio previo del medio permite diagnosticar la composición exacta del ecosistema y los posibles efectos que puede tener sobre su ecología la construcción de diques. Un efecto indirecto y no desdeñable es la merma económica provocada en las poblaciones que tienen en los recursos naturales del mar una fuente importante de ingresos.

Para el establecimiento de los diques es preciso elaborar estudios biológicos exhaustivos para evitar perjuicios irreversibles derivados de la presencia de endemismos, especies protegidas o especies que pueden resultar vitales a los asentamientos humanos. La diversidad biológica o biodiversidad presente en los ecosistemas que se encuentran en nuestro territorio, constituye un patrimonio nacional y mundial de innegable importancia económica, social y cultural.

Los ecosistemas acuáticos continentales y estuarios representan apenas el 5.4% del territorio, pero son esenciales para muchas comunidades locales y sustentan actividades vinculadas a la recreación, pesca y turismo. También proporcionan servicios de hábitat para una amplia gama de especies de plantas y animales.

Este peculiar ecosistema se caracteriza por presentar agua más salada que el Océano Pacífico, durante la estación seca, y variada intensidad de oleaje, lo que crea condiciones especiales que determinan la presencia de especies adaptadas a estas condiciones ambientales, así como a mayores concentraciones de microalgas, por ello el agua se mantiene turbia y en diferentes tonalidades de azul-verde la mayor parte del tiempo.

El golfo de Fonseca presenta ecosistemas propios del trópico del Pacífico de Mesoamérica:

- Bosque Seco Tropical, en las islas, así como en las partes bajas del volcán de Conchagua, incluyendo las áreas Naturales Protegidas del lugar.
- Manglares del golfo de Fonseca, caracterizados por presentar menor altura en comparación con los de bahía de Jiquilisco o Barra de Santiago, como adaptación a menores precipitaciones y mayor salinidad, situación que los convierte en ecosistemas únicos a nivel mundial.

- Playones (bajos) intermareales extensos, los cuales quedan descubiertos en las mareas bajas, ricos en mariscos, sirven de sustento a muchas personas dedicadas al “marisqueo”, y son fuente de alimento para aves migratorias y peces depredadores.
- Zonas rocosas intermareales y submareales, que caracterizan a las islas de bahía de La Unión, golfo de Fonseca y el litoral costero desde la ciudad del mismo nombre hacia el sur. La flora y fauna se han adaptado a las diversas condiciones oceanográficas imperantes. En esta franja de substrato duro mezclado con sedimentos blandos habita una serie de organismos importantes para la pesca y “marisqueo” del área.

Algunas especies que se verían afectadas ante la implementación de este tipo de tecnología:

<b>Tipo</b>	<b>Organismo</b>	<b>Nombre</b>
Flora	Manglares	Manglar rojo
		Botoncillo
		Sincagüite
		Istatén
Fauna	Invertebrado	Medusa
		Coral blando
		Ruda de mar
		Pluma
	Invertebrado	Coral rosado
		Anémoma gigante
		Zoántido
		Conchas
		Mejillones
		Cuatro ojos
		Pez escorpión
		Robalo
	Peces	Cabrilla
		Pargueta
	Reptiles	Gobio dorado del Golfo
		Culebra de mar
	Mamíferos marinos	Tortuga carey
		Delfin

Tabla 5 Especies de flora y fauna en la zona

#### 4.2.4 Paisaje:

El otro elemento relevante que puede ser afectado es el paisaje. La construcción de este tipo de estructuras en zonas bien conservadas y sin degradación antrópica resulta irreversible y deteriora en muchos casos los valores paisajísticos de las zonas de costa. A la hora de elegir un emplazamiento óptimo debe de tenerse en cuenta este aspecto como primordial para evitar degradar espacios naturales de gran valor.

Otros impactos ambientales pueden ser fácilmente corregidos tomando las necesarias precauciones, especialmente durante la fase de construcción de toda la infraestructura necesaria.

## **CAPÍTULO V. ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD**

### **5.1 Análisis técnico**

Anteriormente se mostraron cuáles podían ser las alternativas tecnológicas a implementar, teniendo en cuenta el desarrollo que han tenido en proyectos alrededor del mundo y su rendimiento para tener una base sobre la cual este estudio encontrará sustento.

#### **5.1.1 Presa de marea**

Para realizar un proyecto de aprovechamiento entre la diferencia de mareas se deben tener en cuenta algunos parámetros fundamentales como: la diferencia de altura entre pleamares y bajamares para la cual aún no hay un consenso debido a que algunos expertos afirman que dicha diferencia debe ser superior a 5 m para tener una mayor eficiencia en el proceso de reflujos del agua, otro aspecto es el área a delimitar para la construcción de diques para la contención de las aguas y por último el impacto medioambiental que pueda llegar a tener.

Si bien la altura mínima en que funcionan las turbinas utilizadas para este tipo de centrales es de 0.5 metros esto no significa que con una amplitud de marea de esa altura sea suficiente para operar una central mareomotriz. Con esta

amplitud sólo se podría generar energía unos pocos minutos en un ciclo de marea (12 horas 25 minutos). Además, debido a la baja velocidad de los equipos hidromecánicos, como las compuertas, no se puede disponer de la amplitud de mareas completa, estimándose que por lo menos hay una pérdida de 20 cm al comienzo y al final de cada ciclo, es decir al llenar y al vaciar la bahía.

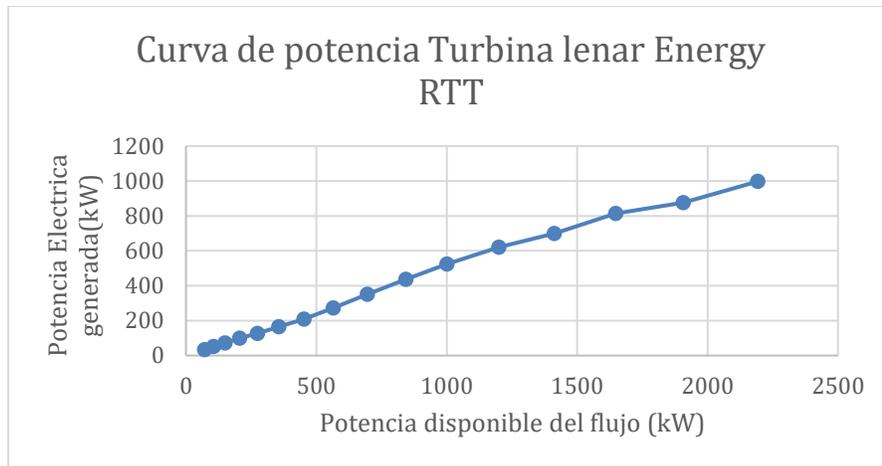
#### 5.1.2 Marine Current Turbines (MCT)

La compañía fabricante menciona que para tener un mejor aprovechamiento costo vs beneficio se deben implementar rotores de entre 20 y 22 m de diámetro al cual se hace referencia en el capítulo anterior. El rendimiento de la turbina del SeaGen instalada en Devon Inglaterra tenía 2 rotores, cada uno con un diámetro de 18 m y un área de barrido de 509 m<sup>2</sup>, del cual se obtuvo una curva de la potencia disponible por la corriente y la potencia efectivamente generada, los valores calculados a partir de la obtención de los datos medidos se muestran en la siguiente tabla y posteriormente la gráfica representativa. Nota: Las fórmulas utilizadas para el cálculo de la Potencia Disponible del flujo y la Potencia eléctrica generada están incluidas en el Anexo 1.

Velocidad de la corriente (m/s)	Potencia Disponible de Flujo (kW)	Potencia Eléctrica Generadora (kW)
0.7	71	34
0.8	105	51
0.9	150	72
1	206	99
1.1	274	126
1.2	356	164
1.3	452	208
1.4	565	273
1.5	695	351
1.6	843	436
1.7	1,001	523
1.8	1,200	621
1.9	1,412	698
2	1,647	814
2.1	1,906	876
2.2	2,192	997
2.3	2,504	1,166
2.4	2,845	1,324
2.5	3,216	1,497
2.6	3,618	1,684
2.7	4,051	1,802
2.8	5,020	2,010
2.9	5,557	2,077
3	6,132	2,299
3.1	6,744	2,537
3.2	6,744	2,537
3.3	7,397	2,537
3.4	8,090	2,537
3.5	8,825	2,537

*Tabla 6 Potencia disponible y la potencia generada por la turbina verdant diseñada para una velocidad de*

*2.2 m/s. (DAGA 2008)*



Gráficas 11 curva de potencia turbina lunar energy RTT de 2000KW (DAGA, 2008)

### **Características técnicas de Turbina Sea Gen 2MW**

Potencia nominal: 500 - 2,000 kW (dependiendo del lugar)

Regulación de la potencia: Velocidad variable

Profundidad de trabajo: 35 - 100 m

**Rotor:** Diámetro: 20 m área de barrido: 628 m<sup>2</sup> por dos motores

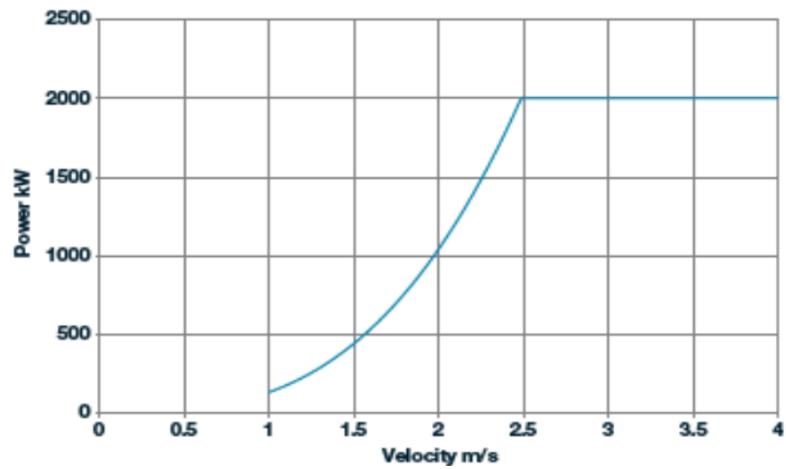
n: aproximadamente 4 – 11.5 rpm

**Generador:** Asíncrono Nominal de salida: 1,000 kW

**Datos operativos:** Corte en la velocidad de las mareas o velocidad de conexión:

1 m/s

**Power Curve for SeaGen -S 2MW**



*Gráficas 12 Curva de potencia de Generador Sea Gen de 2 MW (Marine Current Turbines, 2013)*

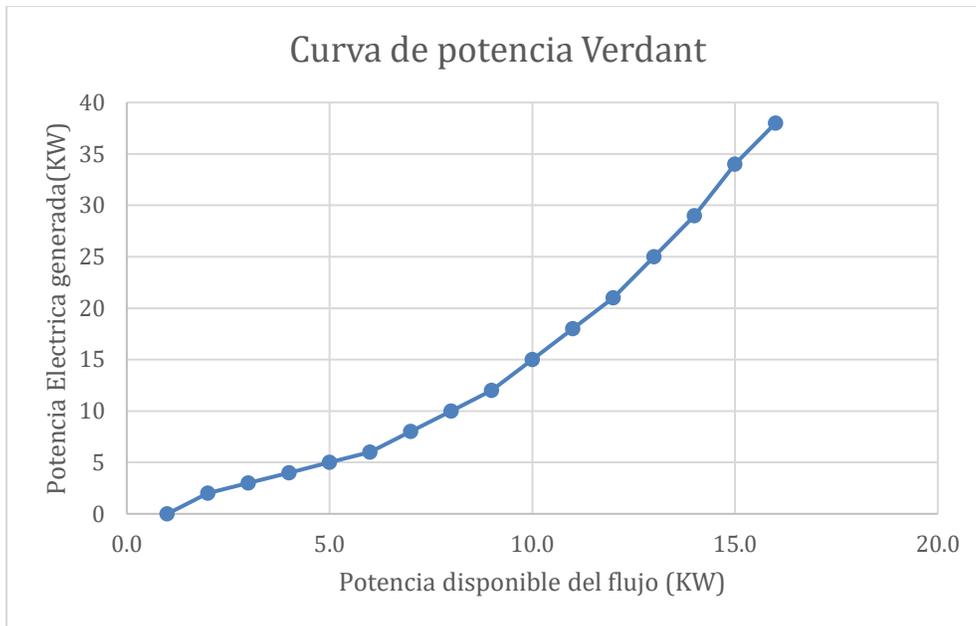
### 5.1.3 Verdant power

El rendimiento de la turbina Verdant se puede apreciar en la tabla 7, en donde se muestra la curva obtenida entre la potencia disponible por la corriente y la potencia efectivamente generada. Esta curva se obtuvo para una turbina Verdant de diámetro de 5 m, el área de barrido del rotor entonces es de 19.6 m<sup>2</sup>.

Velocidad de la corriente (m/s)	Potencia Disponible de Flujo (kW)	Potencia Eléctrica Generada(kW)
0.7	3.4	0
0.8	5.1	2
0.9	7.3	3
1	10.0	4
1.1	13.4	5
1.2	17.3	6
1.3	22.0	8
1.4	27.5	10
1.5	33.9	12
1.6	41.1	15
1.7	49.3	18
1.8	58.5	21
1.9	68.8	25
2	80.3	29
2.1	92.9	34
2.2	106.9	38

*Tabla 7 Potencia disponible y la potencia generada por la turbina Verdant diseñada para una velocidad de*

*2.2 m/s. (Daga, 2008)*



*Gráficas 13 Curva de Potencia turbina Verdant de 35.9 kW (Daga, 2008*

### **Características técnicas de Turbina Verdant de 35.9 kW**

Potencia nominal: 35.9 kW

Velocidad de diseño: 2.2 m/s

Profundidad de trabajo: > 9 m

**Rotor** Diámetro: 5 m

Tiene un buje diseñado para unir las palas fuertemente y que puedan ser intercambiables

Rotor área de barrido: 19.6 m<sup>2</sup>

Velocidad de conexión: 0.7 m/s

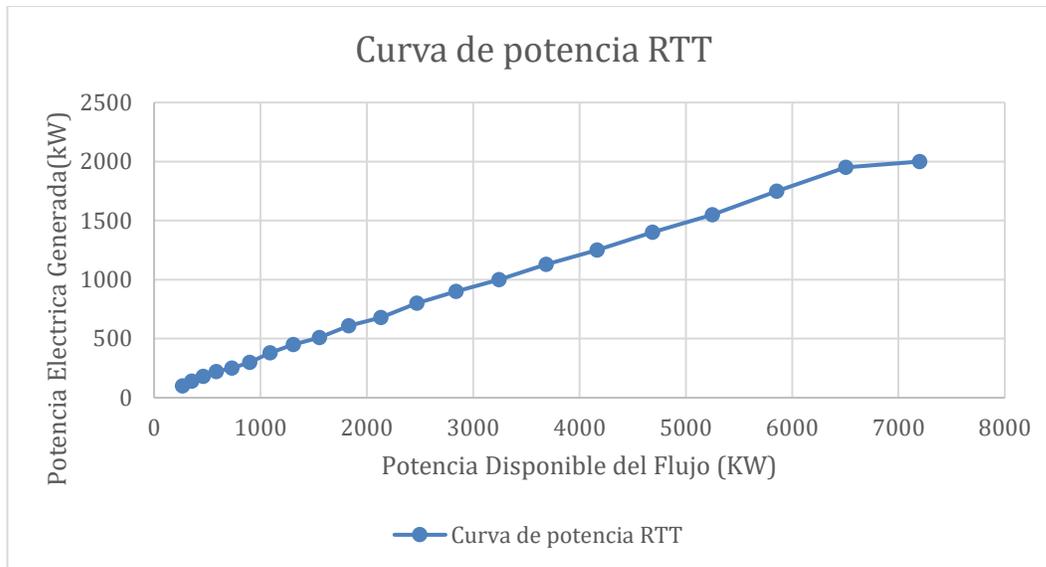
Inspección / Mantenimiento: cada 2 años / cada 10 años

#### 5.1.4 Lunar Ernergy RTT

El rendimiento se puede apreciar en la Imagen N°29 en donde se muestra la curva obtenida entre la potencia disponible por la corriente y la potencia efectivamente generada.

Velocidad de la corriente (m/s)	Potencia Disponible del Flujo (kW)	Potencia Eléctrica Generada(kW)
1.02	267	100
1.122	355	140
1.224	461	180
1.326	586	220
1.428	732	250
1.53	900	300
1.632	1,092	380
1.734	1,310	450
1.836	1,555	510
1.938	1,829	610
2.04	2,133	680
2.142	2,470	800
2.244	2,840	900
2.346	3,245	1,000
2.448	3,686	1,130
2.55	4,167	1,250
2.652	4,687	1,400
2.754	5,249	1,550
2.856	5,854	1,750
2.958	6,504	1,950
3.06	7,200	2,000

*Tabla 8 Potencia disponible y la potencia generada por la turbina RTT. (Daga, 2008)*



Gráficas 14 Curva de Potencia turbina Lunar Energy RTT de 2000 kW (Daga, 2008)

### **Características técnicas Lunar Energy RTT**

Potencia nominal: 2,000 kW

Profundidad de trabajo: 35 - 100 m

Diámetro del tubo: 25 – 37 m

Diámetro del Buje: 3.9 m

Radio de las palas: 7.8 m

Velocidad de Conexión: 1 m/s

### **Generador**

Nominal de salida: 2,000 kW

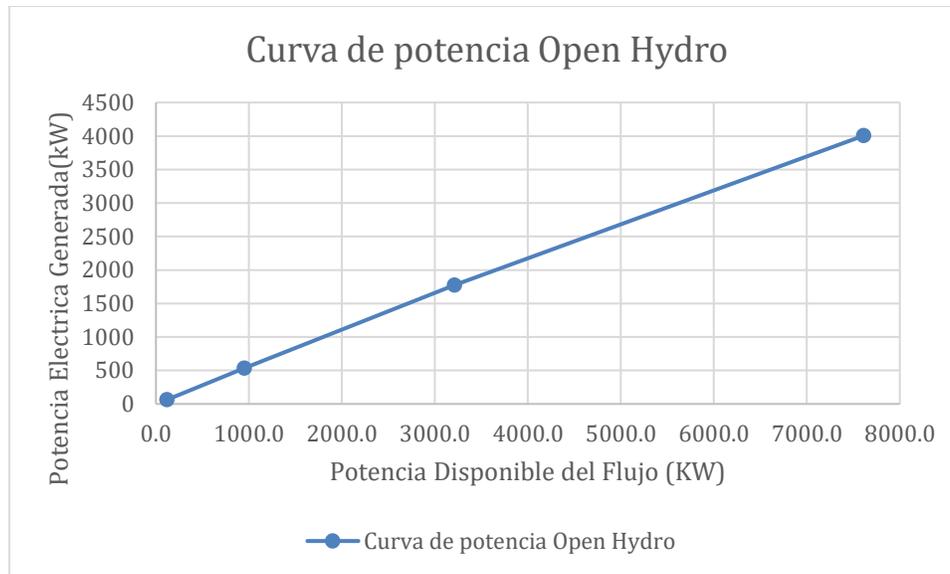
Área de influencia de la turbina: 490.8 m<sup>2</sup>

#### 5.1.4 Open Hydro

El rendimiento se puede apreciar en la tabla 9 en donde se muestra la curva obtenida entre la potencia disponible por la corriente y la potencia efectivamente generada.

Potencia Disponible del Flujo (kW)	Potencia Eléctrica Generada(kW)
119	63
951	533
3210	1,776
7610	4,005

*Tabla 9 Potencia disponible y la potencia generada por la turbina Open Hydro (Daga, 2008)*



Gráficas 15 Curva de Potencia turbina Open Hydro (Daga, 2008)

### **Características técnicas Open Hydro**

Potencia nominal: 1,520 kW

Profundidad de trabajo: 35 m

#### **Turbina**

Álabes: de tipo fijo y simétrico para un movimiento bidireccional, estos se apoyan en un anillo exterior al rotor.

Estator con forma de tobera para aumentar la velocidad del flujo

Diámetro: 16 m

Agujero central de diámetro de la turbina: 3 m como mínimo.

Velocidad nominal: aproximadamente 7 rpm

### **Datos operativos**

Potencia nominal a 2.5 m/s

Velocidad de Conexión: 0.7 m/s

## **5.2 Análisis Económico**

Dado que en el país no contamos con tarifas de generación por departamento este trabajo se basa en valores para la obtención de uno de los tres tipos de generación mareomotriz.

En este tipo de tecnologías por ser aún desconocidas y estar en su gran mayoría en proceso de experimentación se evidencia un alto costo para su producción ya que uno de sus principales factores es la inversión de los equipos ya sea para instalación o conexión, es por esto que en su mayoría los costos se deben estimar ya que no son conocidos.

Se espera que los costos asociados a la implementación de esta tecnología disminuyan conforme haya una mayor demanda y un mayor interés en este tipo de energía ya que actualmente hay un mayor interés en energías de tipo solar y eólica.

	TECs	
	M C T	RTT
Ubicación	llanuras costeras del golfo de Fonseca	llanuras costeras del golfo de Fonseca
Demanda promedio por hogar [kWh/mes]	297	297
Potencia Nominal de dispositivo [kW]	1200	2000
Costo de dispositivo [USD\$/kW]	\$1,946.43	\$1,011.99
Costo dispositivo por unidad [USD\$/und]	\$2,335,356.66	\$2,023,975.77
Costo dispositivo parque [USD\$]	\$4,670,713.32	\$4,047,951.54

*Tabla 10* Costos (USD\$ dólares americanos) tecnología mareomotriz estimada con valores POB. A la

fecha los costos de la tecnología Open Hydro no se dan a conocer públicamente por políticas de la

compañía. Fuente (Medel, 2010)

Teniendo en cuenta los antecedentes alrededor del mundo se evaluaron las condiciones presentes en el golfo de Fonseca tomando los datos que suministran tres estaciones de medición Buenaventura, Juanchaco y Tumaco instaladas por el IDEAM por medio de las cuales se realizan pronósticos de pleamares y

bajamares de cada mes desde 2010 en adelante.

<b>Inversión estimada del sistema</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Valor (USD\$)</b>
Turbina	\$ 23,700.00
Generador Trifásico	\$ 12,855.00
Tablero de accesorios	\$ 5,400.00
Casa de Máquinas	\$ 4,200.00
Tubería con accesorios	\$ 900.00
Mano de obra	\$ 4,530.00
Compuerta reguladora	\$ 8,500.00
Total	\$ 60,085.00

*Tabla 11 costos aproximados para la obtención de la tecnología Open Hydro*

Esta es una de las formas más amigables con el medio ambiente para extraer energía, pero también se debe tener en cuenta que genera impactos ya sean positivos o negativos en el ecosistema y en el paisaje del lugar.

El en ecosistema se podrían presentar perturbaciones en flora y fauna como los crustáceos o peces pequeños que habitan el lugar debido al cambio físico del lecho marino que probablemente causaría un desplazamiento de estas especies traumatizando su desarrollo natural, también existe el ruido y los campos electromagnéticos generados por los cables de transmisión submarinos con una

afectación en estas comunidades que tendrían que evaluarse ya que no existen hasta el momento estudios concisos de este tipo de afectación.

Las colisiones con las hélices de estas turbinas son prácticamente nulas, ya que no tienen una velocidad significativa que pueda poner en riesgo la fauna del lugar además en esta zona como se dijo anteriormente no hay presencia de peces con un tamaño considerable que pudiese llegar a impactar con las estructuras. La velocidad media de las corrientes presentes en el Mar de la Costa Pacífica es de 2 m/s la cual es suficiente para iniciar el proceso de conversión de energía cinética a energía eléctrica según se mostró en las tablas de cada tipo de turbinas que en algunas puede llegar a su capacidad nominal y mantener un flujo estable de energía como en el caso de la tecnología Verdant power la cual podría ser muy eficiente ya que no contamina visualmente el paisaje porque está por debajo del nivel del mar sin embargo su capacidad nominal limita la cantidad de potencia que podría generar y para suplir la demanda de energía se necesitaría instalar un gran parque de bastantes turbinas que generaría no solo un aumento considerable en el costo sino también un mayor impacto en el suelo marino debido a su instalación y los cables que van por este.

El alto costo en las tecnologías de este tipo es debido a su falta de comercialización y/o difusión, esto porque actualmente las energías solares y eólicas tienen un amplio terreno de exploración y sus costos son mucho más bajos en comparación con la mareomotriz, sin embargo, en algunos proyectos que se están implementando con este tipo de energías no se está cubriendo en su totalidad la demanda energética realizando una limitación en el uso de electricidad para los habitantes de estas zonas lo que se podría considerar como una solución parcial al problema mientras que se demostró que dicha necesidad puede ser satisfecha por la implementación de turbinas mareomotrices.

La construcción de una presa de marea en este lugar tendría, muchos inconvenientes y no sería viable ya que el mar en algunas de estas zonas viene con mucho sedimento y dadas las condiciones que presenta este tipo de estructuras presentaría taponamiento en los túneles de las turbinas impidiendo un normal funcionamiento de estas, sin mencionar los problemas en el ecosistema que acarrearía su construcción

Las corrientes marinas son una fuente ilimitada de energía la cual hasta hace muy poco tiempo se ha venido investigando, en Europa hay países que ya están reemplazando el uso de combustibles fósiles por energía obtenida del mar. En

El Salvador no se cuenta con un estudio técnico por parte de alguna entidad o institución gubernamental es por esto que no se tiene un conocimiento completo de las características que ofrece el mar Pacífico pues solamente se cuenta con 3 estaciones ubicadas al sur de la Región que limita con este mar y a partir de los datos obtenidos por estas, se puede observar que las velocidades que ofrece el mar pueden ser aprovechadas para pensar en un proyecto de este tipo ya que cerca de la costa se presentan rangos medios entre 1.5 m/s y 2.5 m/s considerados valores aplicables para generación de energía, por otro lado no se tiene información de toda la Costa ya que no se cuenta con una medición constante y solo se tiene información de velocidades en la zona norte que oscilan entre los 0.7 m/s y 1.5 m/s un rango Bajo para un proyecto mareomotriz.

En algunas épocas del año las velocidades de las corrientes cambian debido a fenómenos naturales como la llegada del Fenómeno del Niño que se presenta en el Pacífico y que tiene gran impacto en los factores climatológicos ya que las corrientes frías submarinas provenientes del sur del continente fluyen con una mayor fuerza hacia el norte encontrándose en la línea ecuatorial con la corriente que proviene del Norte del continente desplazando esta última y cambiando las velocidades de las corrientes superficiales que finalmente son las aprovechables para las turbinas mareomotrices.

De acuerdo a las condiciones presentadas por el mar pacifico en esta subregión se tiene la posibilidad de instalar dos clases de turbinas (Marine Current Turbines (MCT) y Rotech Tidal Turbine (RTT)) las cuales se pueden adaptar a los rangos de las corrientes marinas del lugar no obstante presentan unos elevados costos los cuales se espera que disminuyan conforme se aumente a nivel mundial el interés por el aprovechamiento de las energías del mar por medio de estas turbinas, de momento, se dificultará la realización de un proyecto de este tipo ya que actualmente se cuenta con muy poca inversión por parte del estado Colombiano para este nivel de tecnología, sin embargo se podría pensar en una inversión público-privada y analizar qué posibles consecuencias conlleva una alianza de este tipo en la parte financiera después de realizado el proyecto.

La tecnología que hasta el momento se ha implementado en países de Europa como España, Noruega o Reino Unido está abasteciendo poblados cercanos al mar los cuales tenían problemas de interconexión eléctrica ya que estaban alejados de las grandes ciudades, esta solución aparte de ser ambientalmente amigable trae consigo beneficios a la economía ya que se convierte en una zona turística aumentando los índices de empleo para la población lugareña, teniendo esta referencia se podría decir que pasaría lo mismo en esta subregión de Colombia la cual está en un evidente estado de abandono por parte del gobierno

lo que conlleva a tener altos índices de desempleo y delincuencia , graves problemas para una región que busca salir adelante social y económicamente.

## **CONCLUSIONES**

Se determinó el potencial mareomotriz del golfo de Fonseca mediante los datos recolectados de 3 estaciones ubicadas al sur de la Región de Francia, identificando los rangos de aprovechamiento energético en los cuales se puede observar que las velocidades que ofrece el mar pueden ser aprovechadas para pensar en un proyecto de este tipo ya que cerca de la costa se presentan rangos medios entre 1.5 m/s y 2.5 m/s considerados valores aplicables para generación de energía, por otro lado no se tiene información completa del norte de la Costa ya que no se cuenta con un instrumento de medición constante y solo se tiene información de velocidades en la zona que oscilan entre los 0.7 m/s y 1.5 m/s un rango Bajo para transformación de energía mareomotriz.

Se Identificaron las alternativas de implementación de energía mareomotriz que existen actualmente a nivel mundial, por una lado están los generadores de corriente de marea que están teniendo gran acogida en algunos países de Europa los cuales tienen problemas para abastecer poblados ubicados al lado de la costa que están muy separados de las grandes ciudades para

interconectarlos a la red, este tipo de tecnologías se pueden instalar en el Golfo de Fonseca ya que se tienen las condiciones marítimas necesarias para su funcionamiento pero lamentablemente son tecnologías que apenas están desarrollándose y por ende presentan elevados costos que hacen que un proyecto de este tipo en El Salvador se vea bastante lejano, por otro lado están las presas hidroeléctricas, las cuales no son idóneas para llevar a cabo su construcción en esta zona del país ya que tienen un impacto altamente negativo en el ecosistema debido a que su construcción causa desplazamiento de la fauna marina, contaminación de las aguas además de tener una inversión mucho más alta en su parte civil y eléctrica debido al tamaño de su estructura, también tendrían problemas en su funcionamiento ya que a esta parte del mar llegan las desembocaduras de algunos ríos los cuales traen sedimento que ingresaría a los túneles de las turbinas y causarían obstrucción en el normal funcionamiento de estas

Se determinaron dentro del estudio de pre – factibilidad los aspectos técnicos como el tipo de tecnología idónea para el aprovechamiento del recurso marítimo con el cual se puede decir que solamente dos de las cinco tecnologías expuestas se pueden tener en cuenta a la hora de pensar en un proyecto de este tipo ya que ambas pueden abastecer la demanda que presenta la región aprovechando

los rangos de velocidades de las corrientes marinas los cuales tienen una ligera variación en algunos meses del año, en la parte financiera, se tiene una gran dificultad debido a su alto costo que si bien es por falta de producción de este tipo de tecnología también está altamente ligado al mercado del dólar, así mismo en el componente socioeconómico se pueden tener grandes avances para el desarrollo que tanto necesita esta zona pues en aquellos países que se está aprovechamiento este tipo de energía se ha visto un aumento en el turismo por la expectativa que despierta esto va de la mano con la creación de oportunidades de empleo para los lugareños, es así, como este proyecto ayudaría a las comunidades que habitan estas subregiones y no solo disminuirían los índices de delitos comunes como el robo que en su mayoría van paralelos con la falta de oportunidades laborales sino que también se mejoraría la calidad de vida de los poblados beneficiados otorgando cubrimiento a la demanda presentada por los hogares, escuelas, hospitales, etc., que se tienen allí, por último el potencial ambiental de la región si bien no presenta altos rangos de aprovechamiento, es decir velocidades superiores a 2.6 m/s en sus corrientes si presenta un rango que puede ser aprovechado el cual no se ve altamente influenciado por la presión atmosférica o cambios climatológicos sino por los efectos gravitacionales con la luna de los cuales se obtienen dichos rangos medios de entre 1.5 m/s y 2.5 m/s

de los cuales por medio de las turbinas (Marine Current Turbines (MCT) y Rotech Tidal Turbine (RTT)) se podrían obtener entre 380 Kw y 1,280 Kw según sea la velocidad y el tipo de turbina instalada.

## BIBLIOGRAFIA.

- Cadena, A. (2012). Acciones y Retos Para Energización de las ZNI en el País. Bogotá: Unidad de Planeación Minero Energética.
- Camacho, J.M. (2011). El posible Aprovechamiento de las Corrientes Marinas en Veracruz. Veracruz: Universidad Veracruzana.
- Castells, X.E. (2012). Energías Renovables. Madrid: Ed. Díaz de Santos.
- Cohen, B. (2007). Environmentalism, Science, and Audience: Part III on The Humboldt Current. ScienceBlogs. <http://www.scienceblogs.com>
- Dagá, J.S. (2008). Aprovechamiento Hidroeléctrico de las Mareas Y su Posible Desarrollo en Chile. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Fernández. (2012). Energías Mareomotriz y de Corrientes Marinas. Turbinas Submarinas de 1 MWe. Madrid: AINAVAL.
- IDB (2012), Asia: ¿una oportunidad para la energía de olas y de mareas?, Washington D.C: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Aparicio Enriquez (2012). Generador Mareomotriz Bidireccional. Madrid: Escuela técnica superior de ingenieros navales.
- AAVV (20210). Estudio técnico-financiero sobre la construcción de un parque eólico marino flotante en el litoral español, Tecnalia-CNN-UNINAVE, Bilbao.
- Miguel Ángel Rodríguez Pozueta (2008), Máquinas Asíncronas o de Inducción, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria, Santander.