



FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

CARRERA DE INGENIERÍA MARÍTIMA

TRABAJO DE TITULACIÓN

MODALIDAD PROYECTO TÉCNICO

TÍTULO:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE DISPOSITIVO PARA APROVECHAMIENTO DE
CORRIENTES MARÍNAS EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD”**

AUTORES:

ALCÍVAR CAMPOS MIRNA

ROMERO SALTOS JUAN ANDRÉS

TUTOR:

ING. ALEPH SALVADOR ACEBO ARCENTALES

MANTA – ECUADOR

2025

Certificación del Tutor

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1
		Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto Técnico, bajo la autoría del estudiante ALCÍVAR CAMPOS MIRNA, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Marítima, período académico 2025-2026, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE DISPOSITIVO PARA APROVECHAMIENTO DE CORRIENTES MARINAS EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 15 de agosto de 2025.

Lo certifico,



Aleph Salvador
Acebo Arcentales
Time Stamping
Security Data

Ing. Aleph S. Acebo Arcentales, Mg.
Docente Tutor
Área: Ingeniería, Industria y Arquitectura

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1
		Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto Técnico, bajo la autoría del estudiante ROMERO SALTOS JUAN ANDRÉS, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Marítima, período académico 2025-2026, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE DISPOSITIVO PARA APROVECHAMIENTO DE CORRIENTES MARINAS EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD”.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 15 de agosto de 2025.

Lo certifico,



Aleph Salvador
Acebo Arcentales
Time Stamping
Security Data

Ing. Aleph S. Acebo Arcentales, Mg.
Docente Tutor
Área: Ingeniería, Industria y Arquitectura

Dedicatoria.

Primero dedicar esta tesis a Dios, quien ha sido mi guía en todo este arduo recorrido en poder realizarla, además dedicar este proyecto a mis padres quiénes, con su apoyo incondicional, han sido cimientos inquebrantables y mi mayor inspiración para alcanzar cada meta propuesta. De tal manera extendiendo esta dedicatoria a mis demás familiares y a todas aquellas personas que, de manera significativa, han contribuido a mi desarrollo académico y personal.

Romero Saltos Juan Andrés

Lleno de cariño y esfuerzo, este proyecto es dedicado a mis padres, quienes han luchado siempre para poder sacarnos adelante tanto a mi como a mis hermanos y poder brindarnos una buena educación y valores. A mis hermanos quienes pusieron un granito de su apoyo en mi haciéndolos sentir orgullosos.

A mis hermanos, por caminar a mi lado en cada etapa de la vida, por su compañía constante y por ser parte fundamental de mis alegrías, tristezas y aprendizajes. A mi abuela materna, gracias por tu apoyo, tu amor incondicional y por ser ese pilar de ternura y fortaleza que tanto admiro. Y a mis tíos maternos, que siempre estuvieron dispuestos a tenderme la mano en los momentos en que más lo necesité.

Campos Alcívar Mirna

Dedicación de Auditoría

Se agradece a la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, por darnos la oportunidad de llevar a cabo este proyecto, por ofrecernos un entorno académico y las enseñanzas necesarias para desarrollarlo, además por permitir que los conocimientos impuestos en este proyecto contribuyan al fortalecimiento de la comunidad académica en general.

Se agradece especialmente a la Facultad de Ingeniería Marítima, por fomentar un ambiente de aprendizaje ético y comprometido a generar excelencia profesional. El respaldo académico, el ingreso a laboratorios y talleres y el acompañamiento docente han sido un pilar fundamental para la consolidación de este trabajo técnico.

Se agradece también aquellas personas que han contribuido en lo académico, que, con su respaldo moral, ha enriquecido esta travesía de manera invaluable.

Al Ingeniero Aleph Salvador Acebo Arcentales, nuestro tutor, por su guía permanente, por la ayuda en poder estructurar cada una de las ideas, datos y resultados que conforman este proyecto, y por su paciencia y dedicación entregada en cada momento de duda y errores cometidos. Su compañía y respaldo ha sido esencial para llegar hasta aquí.

Juan Andrés Romero Saltos

Mirna Campos Alcívar

Declaración de Autoría

La responsabilidad por los hechos, opiniones, ideas e información vertidas en este proyecto de titulación titulado:

“Diseño y construcción de dispositivo para aprovechamiento de corrientes marinas en la generación de electricidad” corresponden exclusivamente a los autores, Juan Andrés Romero Saltos y Mirna Campos Alcívar, quienes declaran que el presente trabajo ha sido desarrollado de manera original, respetando los principios éticos, académicos y normativos establecidos por la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

El patrimonio intelectual del trabajo de titulación pertenecerá a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, conforme a lo dispuesto en el Reglamento de Régimen Académico y demás normativas vigentes.



Romero Saltos Juan Andrés
1313234849



Campos Alcívar Mirna
C.I. 1317815056



Ing. Aleph Salvador Acebo Arcentales
C.I. 1309151338

Resumen

El proyecto desarrolla un dispositivo mecánico basado en un rotor con aspas impresas en 3d, el cual incluye un generador de electricidad por imanes permanentes sellado en un cajón de acero inoxidable, se busca aprovechar el flujo de corrientes marinas para la generación de electricidad de una manera sostenible. El estudio considera investigación detallada de lugares donde potencialmente se podría aplicar este dispositivo y generar electricidad aprovechando el flujo de las corrientes marinas. Además, se considera cálculos teóricos y pruebas en un entorno controlado para validar su funcionalidad. Los resultados obtenidos en las pruebas realizadas evidencian el potencial de aplicaciones e investigaciones futuras para la aplicación de estos dispositivos y reducir la dependencia de combustibles fósiles.

Palabras clave: dispositivo mecánico, corrientes marinas, imanes permanentes.

Abstrac

The project develops a mechanical device based on a rotor with 3D printed blades, which includes an electricity generator by permanent magnets sealed in a stainless steel drawer, seeking to take advantage of the flow of sea currents for the generation of electricity in a sustainable way. The study considers detailed research of places where this device could potentially be applied and generate electricity by taking advantage of the flow of ocean currents. In addition, theoretical calculations and tests in a controlled environment are considered to validate its functionality. The results obtained in the tests carried out show the potential of future applications and research for the application of these devices and reduce dependence on fossil fuels.

Keywords: mechanical device, sea currents, permanent magnets.

Tabla de contenido

Certificación del Tutor	I
Dedicatoria.	III
Dedicación de Auditoría	IV
Declaración de Auditoría	V
Resumen	VI
Abstrac	VII
Índice de Figuras	XIII
Índice de tablas.....	XVI
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.	1
1.1. Título.....	1
1.2. Antecedentes	1
1.3. Justificación	2
1.4. Propuesta.....	3
1.6. Objetivos:	3
1.6.1. Objetivo General:	3
1.6.2. Objetivos Específicos:.....	3
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.	4
2.1. Fuentes de energía provenientes del mar.	4
2.1.1. Gradiente salino.....	4

2.1.2.	Mareomotriz.....	5
2.1.3.	Térmica oceánica.....	6
2.1.4.	Undimotriz.	6
2.1.5.	Corrientes marinas.....	7
2.2.	Energía cinética de las corrientes marinas.....	8
2.2.1.	Tipos de turbinas.	9
2.2.2.	Turbinas de eje horizontal ancladas en el lecho marino.....	10
2.2.3.	Turbinas de eje horizontal flotantes:	11
2.2.4.	Proyectos existentes y tecnologías relacionadas.	11
CAPITULO III: FUNDAMENTOS TEÓRICOS.		13
3.1.	Principios de la energía cinética de las corrientes marinas.	13
3.1.1.	Naturaleza del movimiento.	15
3.2.	Gradientes de presión.....	16
3.3.	Corrientes marinas en Ecuador	16
3.3.1.	Corriente de Humboldt.	17
3.3.2.	Corriente el Niño.....	17
3.3.3.	Corriente Ecuatorial del Sur.....	18
3.3.4.	Corriente Ecuatorial del Norte.	18
3.3.5.	Corriente de Cromwell (Subcorriente Ecuatorial)	18
3.4.	Lugares potenciales para la captación de energía en el ecuador.....	18

3.4.1. Islas Galápagos.....	19
3.4.2. Zona costera de Manabí (Puerto López, Manta).	19
3.4.3. Golfo de Guayaquil.	20
3.4.4. Zona costera de Esmeralda.....	20
CAPITULO IV: DETERMINACIÓN DEL LUGAR POTENCIAL Y SELECCIÓN DE LOS	
MATERIALES Y EQUIPOS.	23
4.1. Condiciones externas a las que está sujeto el equipo.	23
4.1.1. Condiciones Ambientales.....	23
4.1.1.1. Condiciones climáticas y oceanográficas del golfo de Guayaquil, lugar potencial para ubicación del equipo.	24
4.1.2. Temperatura de las aguas del golfo de guayaquil.	25
4.1.3. Velocidad promedio de las corrientes en el golfo de guayaquil.	26
4.2. Condiciones internas a las que está sujeto el equipo.....	27
4.2.1. Diseño de las aspas.....	27
4.2.2. Determinación de la forma de las aspas.	29
4.2.2.1. Potencia hidrocínética disponible:	29
4.2.2.2. Determinación de las dimensiones del rotor.	30
4.2. Diseño de las aspas mediante SolidWorks.....	33
4.2.1. Impresión 3d de las aspas.....	35

4.3.	Especificaciones de los equipos que se usan para el funcionamiento del dispositivo.	36
4.3.1.	Generador de imán permanente.....	36
4.3.2.	Controlador de voltaje.....	38
4.4.	Selección de materiales para la estructura del dispositivo.....	40
4.4.1.	Selección del material para estructura del dispositivo.	40
4.4.2.	Selección de pernos.....	42
4.4.3.	Selección de tuerca 5/8 para ajuste de estructura.....	43
CAPÍTULO V: CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE DE ELEMENTOS DISEÑADOS DEL DISPOSITIVO.....		45
5.1.	Construcción de los elementos diseñados.	45
5.2.	Diseño de la junta soldada.	48
5.2.1.	Procedimiento de construcción.	48
5.3.	Diseño del cajón para protección del imán permanente.	50
5.4.	Realización de huecos para ubicación de pernos.....	53
CAPITULO VI: ENSAMBLE DEL EQUIPO.....		56
6.1.	Montaje de tapa protectora.....	56
6.2.	Montaje de tapa inferior que sostendrá al rotor y aspas.....	57
6.3.	Ensamblaje y montaje del eje a la estructura del dispositivo.....	60
6.3.1.	Inserción de las aspas a la estructura del eje.	62

6.4.	Ensamblaje final.....	64
6.4.1.	Pintado del dispositivo.	66
6.5.	Pruebas de desempeño.	67
6.5.1.	Pruebas de funcionamiento en ambiente controlado.....	67
6.6.	Metodología de la prueba.....	68
6.7.	Generación de electricidad.....	69
6.8.	Costos del Proyecto.....	70
6.8.1.	Costos de los materiales y componentes.	70
6.8.2.	Costos de movilización	72
6.8.3.	Costos de mano de obra.	73
6.8.4.	Costos por realización de prueba y varios.....	73
6.8.5.	Costo total	74
	Conclusiones	76
	Recomendaciones.....	78
	Bibliografía	79
	Anexos:	82
	Planos:	88

Índice de Figuras

Figura 1 Gradiente Salino	5
Figura 2 Energía Mareomotriz	5
Figura 3 Energía Térmica Oceánica.....	6
Figura 4 Energía Olamotriz.....	7
Figura 5 Corrientes marinas.....	9
Figura 6 Turbina Horizontal.....	10
Figura 7 Turbina Flotante.....	11
Figura 8 Convertidor de energía de olas	12
Figura 9 Serpiente Marina.....	13
Figura 10 Corrientes Oceánicas	14
Figura 11 Corrientes en Ecuador.....	17
Figura 12 Sitios potenciales de generación	21
Figura 13 Caracterización de las olas.....	22
Figura 14: Ubicación del lugar con potencial energético.....	24
Figura 15 Diseño de las aspas en software CAD	33
Figura 16 Croquis de las aspas en SolidWorks	34
Figura 17 Perfil de las aspas en SolidWorks.....	34
Figura 18 Laminado del programa para la impresión 3d de Aspas.....	35
Figura 19 Resultado final de la impresión 3d	36
Figura 20 Generador de imán permanente SMARAAD	37
Figura 21 Regulador de voltaje	39
Figura 22 Láminas de Acero inoxidable.	41

Figura 23 Pernos hexagonales para unión.....	42
Figura 24 Tuerca de Fijación	44
Figura 25 Corte de tapas de fijación	46
Figura 26 Torneado de las tapas.....	47
Figura 27 Soldadura de junta soldada	49
Figura 28 Diseño de cajón para protección de imán permanente	50
Figura 29 Acabado superficial de parte inferior del cajón de protección.	51
Figura 30 Acabados internos.....	52
Figura 31 Medición de huecos con compás.	53
Figura 32 Realización de huecos con taladro de banco	54
Figura 33 Acabado de los huecos pasantes para sujeción de pernos.	55
Figura 34 Ensamblaje de tapa selladora.....	56
Figura 35 Retenedor.....	57
Figura 36 Realización de huecos pasantes para tapa inferior del rotor.....	58
Figura 37 Pieza de unión.....	59
Figura 38 Montaje de pieza de unión.....	60
Figura 39 Adecuación del eje de la estructura.	61
Figura 40 Realización de rosca en la parte superior del eje.....	61
Figura 41 Montaje de aspas a estructura del eje.....	62
Figura 42 Pequeña prueba de giro a las aspas.....	63
Figura 43 Montaje del eje.	64
Figura 44 Resultado final de ensamblaje.	65
Figura 45 Puesta de capas de pintura al dispositivo.....	66

Figura 46 Simulación de corrientes mediante motobomba.....	69
--	----

Índice de tablas

Tabla 1	Temperatura del agua en guayaquil.	26
Tabla 2	Consideraciones Técnicas para el diseño de las aspas del generador de eje vertical.	27
Tabla 3	Especificaciones técnicas del generador por imán permanente	37
Tabla 4	Especificaciones técnicas del controlador de voltaje	39
Tabla 5	Propiedades mecánicas, temperatura ambiente del acero 316	41
Tabla 6	Especificaciones técnicas de los pernos.....	43
Tabla 7	Especificaciones de técnicas de Tuerca.	43
Tabla 8	Costos por materiales y componentes del proyecto.	70
Tabla 9	Costos total de movilización	72
Tabla 10	Costos totales de mano de obra.....	73
Tabla 11	Costos totales de pruebas y varios	73
Tabla 12	Costo Total.....	74

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.

1.1. Título

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE DISPOSITIVO PARA APROVECHAMIENTO DE CORRIENTES MARINAS EN LA GENERACION DE ELECTRICIDAD.

1.2. Antecedentes

En la actualidad existen diferentes métodos y formas de generar energía de fuentes sostenibles y renovables que el ser humano debe de considerar. El potencial de aprovechar las corrientes marinas para generar electricidad ha captado la atención de muchos, por lo que existen diferentes dispositivos que trabajan valiéndose de las velocidades que generan las corrientes marinas, es así que estas representan una forma abundante y constante de energía cinética derivada de los movimientos naturales del océano, por ende, ofrece una oportunidad prometedora para diversificar la matriz energética y reducir la dependencia de combustibles fósiles.

El aprovechamiento de la energía cinética de las corrientes marinas generadas por la diferencia de temperaturas y en otros factores también por la rotación de la tierra; forma parte de recursos potenciales para la generación de energía, es ampliamente estudiada en diversos países del mundo; siendo así que “El año 2008 vio la introducción de la primera generación de dispositivos comerciales de energía oceánica, con la instalación de las primeras unidades en el Reino Unido y Portugal (SeaGen y Pelamis respectivamente)”. (Esteban & Learly , 2012)

En el Ecuador, este tipo de generación de energía todavía no tiene vías de desarrollo, a pesar del gran potencial energético que yace en todo el perfil costero ecuatoriano, sin embargo, cabe mencionar el alto costo de instalación y mantenimiento de este tipo de tecnologías Off-shore.

1.3. Justificación

Este proyecto se basa en la contribución al avance de la tecnología para energías renovables de tal manera que, se pueda obtener electricidad limpia y sostenible. Por otra parte, esta forma de generación de electricidad es inagotable, ya que el aprovechamiento de las corrientes marinas es un recurso que lo podemos encontrar de forma ilimitada en la naturaleza, de tal manera, se hace énfasis al primer principio de la termodinámica dónde la energía ni se crea ni se destruye solo se transforma.

El perfil costero del Ecuador presenta muchos beneficios para la implementación de dispositivos en el aprovechamiento de las fuerzas del océano, el cambio de temperaturas y el afluente de las corrientes tropicales ayudan a la generación de corrientes submarinas que presenta una gran vía en la generación de electricidad de modo que no se ve forzada la naturaleza para su obtención, como si lo hacen otras maneras de generar electricidad. La implementación de este tipo de tecnología a gran escala, podría dar la posibilidad de abastecer de energía eléctrica a comunidades costeras que en el Ecuador aún presentan déficit energético y de igual manera, para el abastecimiento de los sistemas de infraestructura marina. Por otra parte, el desarrollo, diseño y mantenimiento de dispositivos generaría fuentes de empleos relacionadas a la ingeniería, construcción naval, transporte y logística. Además, la generación de electricidad por corrientes marinas sería una fuente alternativa ante condiciones adversas que puedan interrumpir el suministro de electricidad.

1.4. Propuesta

La propuesta es el desarrollo de un dispositivo para el aprovechamiento de las corrientes marinas en la generación de electricidad, esta genera expectativas en modo de impulsar la generación de energía sostenible y de igual manera contribuir al desarrollo de soluciones innovadoras para los problemas energéticos globales. Se construirá un modelo generador de electricidad de forma vertical, es decir las palas de este mismo estarán ubicadas de forma vertical sujetas de la parte superior por tuercas y anillo de presión mientras que la parte inferior estar sujeta por una brida y un rodamiento donde serán unidas al rotor que estará fijado al lecho marino por una estructura metálica y así aprovechar de mejor manera el desplazamiento de las corrientes marinas.

1.6. Objetivos:

1.6.1. Objetivo General:

Desarrollar un dispositivo que permita capturar la energía cinética de las corrientes marinas convirtiéndola en electricidad de manera eficiente y sostenible.

1.6.2. Objetivos Específicos:

- Determinar el sitio de implementación.
- Selección de materiales de construcción adecuados.
- Prueba del dispositivo en entorno controlado.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1. Fuentes de energía provenientes del mar.

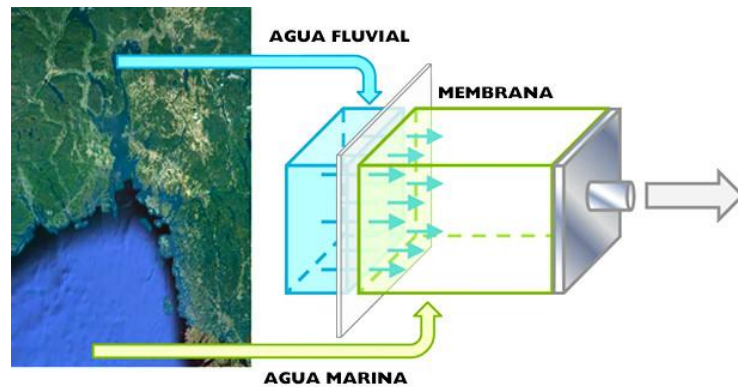
En los últimos años, las energías renovables han experimentado un notable aumento a nivel global. Actualmente, esta energía, sin contar la biomasa tradicional, representa el 8,2% del consumo energético total del mundo. En el sector eléctrico, alrededor del 20% de la energía mundial proviene de fuentes renovables.

Por otra parte, el Ingeniero en sistema (Amundarain, 2012), determina que la energía renovable logra disminuir el “temido” cambio climático. En ese sentido, las energías renovables, tanto eólica como solar, gozan de una importante presencia, mientras que otras, como por ejemplo las provenientes del mar, tienen un futuro prometedor. El mar ocupa más de un 71% de la superficie terrestre, un volumen de 1.370 millones de kilómetros cúbicos (con el 97% del agua sobre la superficie de la Tierra), una salinidad media de 34,482‰, una profundidad media de 3.800 metros, y una temperatura media de 3,9 °C, contiene una enorme cantidad de energía en sus diferentes formas, la cual es perfectamente aprovechable. Entre las fuentes de energía provenientes del mar se pueden encontrar las siguientes:

2.1.1. Gradiente salino.

La diferencia de salinidad entre el agua de océanos y ríos se mantiene, esencialmente, por evaporación del agua de los océanos y por la lluvia recibida por los ríos. En estas zonas puede obtenerse energía debido a las diferencias de presión osmótica.

Figura 1
Gradiente Salino



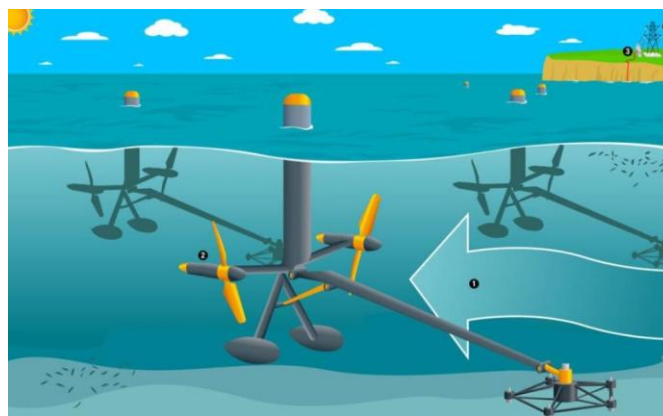
Universidad de Vele

Fuente: <https://www.sectorelectricidad.com/2554/la-energia-oculta-que-producen-los-rios-cuando-se-unen-al-mar/>

2.1.2. Mareomotriz.

Se basa en el aprovechamiento de la energía liberada por el agua del mar en sus movimientos de ascenso y descenso de las mareas.

Figura 2
Energía Mareomotriz

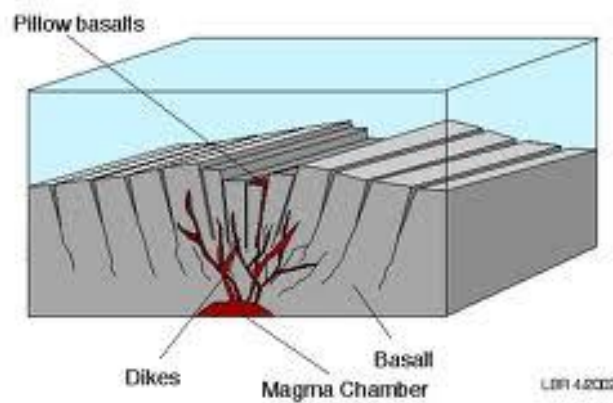


Fuente: <https://www.sectorelectricidad.com/40054/energia-mareomotriz-ventajas-y-desventajas/>

2.1.3. Térmica oceánica.

Se obtiene a partir de la diferencia de temperaturas entre la superficie y las profundidades del mar. Para el aprovechamiento de esta energía es necesaria, al menos, una diferencia de temperatura de 20°C.

Figura 3
Energía Térmica Oceánica



Fuente: <https://www.ingenieros.es/noticias/ver/energia-termica-oceanica-/404>

2.1.4. Undimotriz.

Las olas se forman en el mar, entre otras causas, por la acción del viento, el cual, al soplar origina olas que alcanzan gran tamaño y, por el impulso del viento, corren sobre la superficie marina a gran velocidad descargando toda su potencia sobre los obstáculos que encuentran en su camino.

Figura 4
Energía Olamotriz

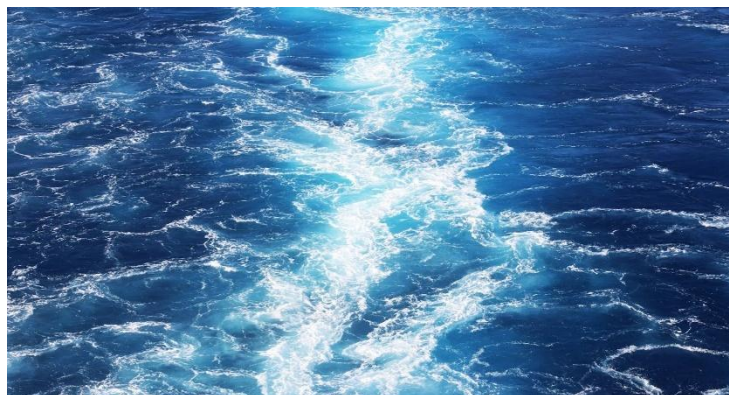


Fuente: https://www.ecoticias.com/energias-renovables/57812_energia-undimotriz-aprovechamiento-del-oleaje-para-obtencion-de-energia

2.1.5. Corrientes marinas.

Estas son desplazamientos de agua de mar que son iguales a ríos inmensos en el interior del océano, este significativo desplazamiento de agua reparte energía solar en la superficie del planeta y condiciona las temperaturas entre el Ecuador y los polos. También se les denomina corrientes de densidad ya que son formadas por la diferencia entre salinidad y temperatura.

Figura 5
Corrientes Maríñas



Fuente: <https://es.oceancampus.eu/curso/las-corrientes-marinas-grandes-reguladoras-del-clima/>

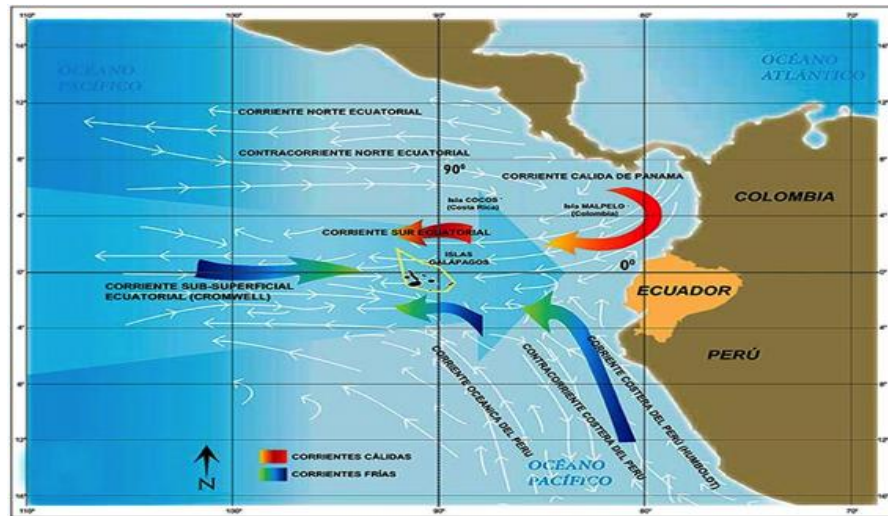
2.2. Energía cinética de las corrientes marinas.

Las corrientes marinas son movimientos ininterrumpidos de masas de aguas generadas por diversos factores, sin duda alguna los océanos, que contienen las mayores masas de agua presentan grandes flujos de corrientes con la suficiente fuerza cinética para la generación de electricidad. Esta se basa en la captación de la energía cinética de las mareas o del movimiento de pleamar y bajamar, utilizando dispositivos como turbinas o sistemas de presas. Este tipo de energía aprovecha la diferencia de altura entre mareas altas y bajas para convertirla en energía eléctrica, ofreciendo una forma predecible y sostenible de generar electricidad.

Por otra parte, La federación Andaluza (Federación Andaluza de Motonáutica, 2020), determina que, las mareas son el movimiento periódico de ascenso y descenso del agua en los océanos, causado principalmente por la atracción gravitatoria de la Luna y en menor medida por el Sol, junto con la rotación de la Tierra. Este fenómeno ocurre dos veces al día y varía según la ubicación geográfica, influyendo en la amplitud de las mareas, que es la diferencia de altura entre pleamares y bajamares. Aunque se piense que las pleamares ocurren cada 12 horas, este intervalo varía diariamente debido al cambio en la posición de la Luna respecto a la Tierra.

Hoy en día, la energía por corrientes marinas se considera una fuente prometedora de energía renovable, gracias a su previsibilidad y sostenibilidad. Aunque su despliegue a gran escala sigue siendo limitado debido a los costos y desafíos técnicos, la investigación y el desarrollo continúan en busca de optimizar su eficiencia y hacerla más accesible como una alternativa limpia y renovable para el futuro energético global.

Figura 6
Corrientes marinas



Fuente: <https://camaradepesqueria.ec/las-flotas-pesqueras-aguas-distantes-oceanografia-las-areas-pesca-organizaciones-principios-manejo/Tecnologías actuales para aprovechamiento de corrientes marinas>.

2.2.1. Tipos de turbinas.

Las corrientes marinas generan electricidad debido al movimiento de las mareas la cual emplean un flujo de agua al subir o bajar la marea, por otra parte, la topografía del terreno costero o del lecho marino ayuda a la aceleración de las mismas, sin embargo, también rigen otros factores naturales. “El arrastre de la fuerza del viento sobre la superficie del océano, además del oleaje, produce el movimiento de las capas de agua más superficiales en la dirección que sopla el viento.” (DELALUMNO, s.f.)

Además, gracias al desarrollo tecnológico en el sector eólico se ha podido llevar a cabo proyectos prometedores en el sector marino, ya que se rigen al mismo principio físico de conversión de energía, atrapa la energía cinética de las corrientes y mediante artificios eléctricos y mecánicos se las convierte en energía eléctrica. Diversos programas de investigación de

universidades, industrias y gobiernos, de países líderes en energías renovables como Reino Unido, Noruega, Irlanda, Canadá y Estado Unidos, en los últimos años han estado creando las bases para la industria de turbinas marinas y así renovar la obtención de energías limpias y sostenibles. A continuación, se describirán algunos tipos de turbinas que en la actualidad se están investigando y desarrollando para su comercialización.

2.2.2. Turbinas de eje horizontal ancladas en el lecho marino.

Las turbinas de eje horizontal son una opción muy común dentro de la generación de electricidad en aerogeneradores, en los últimos años este tipo de turbinas se han presentado como una opción para el aprovechamiento de las fuerzas del mar, tal es el caso que se han creado prototipos que aún están en desarrollo y en etapa de comercialización. “Algunos están montados en el lecho marino, mientras que otros flotan. Algunos se montan solos y otros tienen dos o más turbinas montadas en la misma estructura, mientras que algunos pueden tener pares de rotores que giran en sentido contrario.” (Røkke & Nilssen, 2013).

Figura 7
Turbina Horizontal



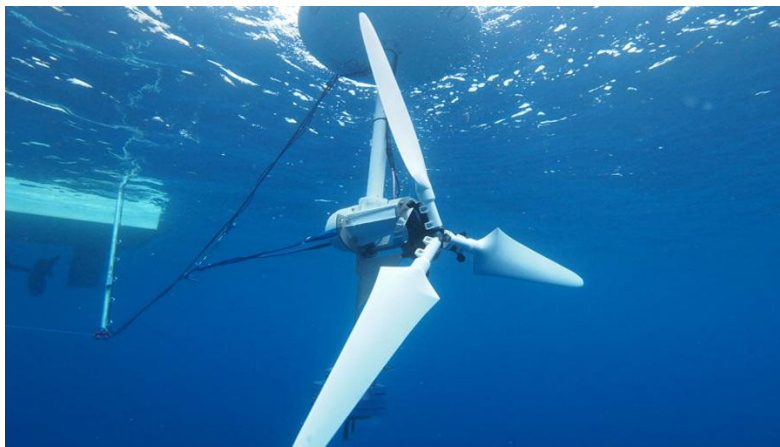
Fuente: Turbina Horizontal, {fotografía}, por Inспенet, 2023. (<https://inspenet.com/noticias/turbina-subacuatica-electricidad-familias/>).

2.2.3. Turbinas de eje horizontal flotantes:

Este tipo de turbina consta de dos tipos, por un lado, se encuentran las que tienen el generador en la superficie, diseñadas con pilotes con salida a la superficie, por otro lado, están las que se encuentran ancladas al lecho marino y que actúan con el movimiento de las corrientes flotando dentro del mar como si de una cometa se tratara.

Figura 8

Turbina Flotante



Fuente: Turbina Flotante para la generación de electricidad a partir de las corrientes marinas {fotografía}, por IVNDES 2023 (<https://invdes.com.mx/tecnologia/turbinas-sumergidas-generar-electricidad-partir-las-corrientes-maritimas/>).

2.2.4. Proyectos existentes y tecnologías relacionadas.

En los últimos años se ha comenzado a explorar el mundo energético que puede proveer el océano, desarrollando proyectos que ofrecen una vista diferente en la obtención de energía. “Las tecnologías de energía oceánica son tecnologías que aprovechan el poder de los recursos naturales del océano, como olas, mareas, corrientes, gradientes de temperatura y gradientes de salinidad, para generar electricidad o realizar otras tareas útiles.” (Hsbmarine, 2023).

Por ejemplo, tenemos los convertidores de olas, que son dispositivos flotantes que capturan la energía cinética de las olas y la convierten en electricidad, normalmente instalados en altamar para aprovechar el movimiento ascendente y descendente de las olas, como lo muestra la siguiente figura.

Figura 9

Convertidor de energía de olas



Fuente: Convertidor de energía de las olas Mocean Energy Blue X {fotografía}, por Colin Keldie, Emec 2023, Hsbmarine (<https://www.hsbmarine.com/es/blog/que-son-las-tecnologias-de-energias-renovables-marinas>).

Por otra parte, se encuentra los denominados sistemas de superficie articulados que son boyas flotantes de gran extensión para aprovechar el oleaje marino, estos dispositivos están anclados al lecho marino a una profundidad de 50 a 100 metros donde el oleaje profundo genera significantes fuerzas. “La energía eléctrica producida por un grupo de 30 de estos sistemas podría abastecer 20.000 hogares con un consumo medio europeo.” (Palazzesi, 2008).

Figura 10
Serpiente Marina



Fuente: Sistemas de superficie articulados {fotografía}, Pelamis Wave Power, Gizmodo en Español (<https://es.gizmodo.com/la-promesa-fallida-de-la-energia-marina-como-termino-la-serpiente-de-olas-en-un-museo-2000156456>).

CAPITULO III: FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

3.1. Principios de la energía cinética de las corrientes marinas.

La energía cinética de las corrientes marinas se basa en el movimiento del agua en los océanos, impulsado principalmente por el viento, la rotación de la Tierra (efecto Coriolis), las diferencias de temperatura y salinidad, y la interacción con las costas y el fondo marino. Esta energía puede ser aprovechada mediante tecnologías específicas para generar electricidad de forma sostenible. “Estas corrientes, al ser significativamente más densas que el aire, pueden proporcionar un potencial energético considerable; una corriente que se mueve a tan solo 1,6 kilómetros por hora

ofrece una energía equivalente a vientos de 45 kilómetros por hora.” (Ocean Current Energy /EBSCO, 2025).

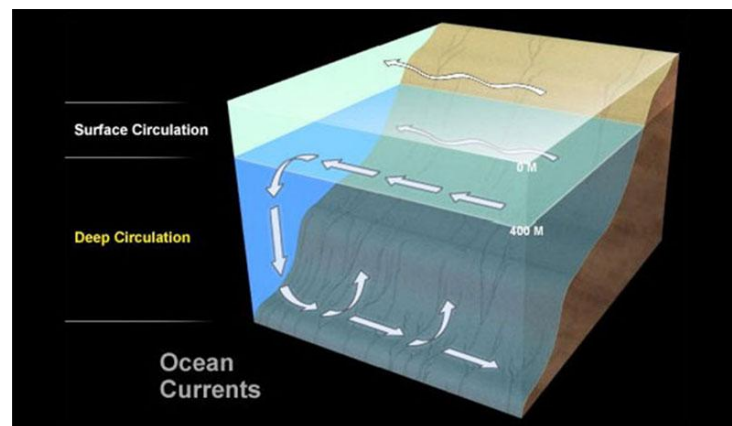
La diferencia en la densidad del agua, a causa de la variabilidad de la temperatura del agua (termo) y la salinidad (halino) también generan corrientes oceánicas, este proceso se lo conoce como circulación termohalina.

Otro autor lo expresa de esta manera:

El agua densa, fría y salada se hunde en el fondo del océano. El agua superficial fluye para reemplazar el agua que se hunde, que a su vez se vuelve lo suficientemente fría y salada como para hundirse. Esto "inicia" la cinta transportadora global, un sistema conectado de corrientes profundas y superficiales que circulan por todo el mundo en un lapso de 1000 años. (Noaa.gov, 2018)

Figura 11

Corrientes Oceánicas



Fuente: Movimiento de las corrientes marinas, por efecto de la diferencia de temperatura, viento, variación de salinidad, {fotografía}, US, Noaa.gov 2025

(<https://oceanexplorer.noaa.gov/facts/currents.html>)

3.1.1. Naturaleza del movimiento.

Las corrientes marinas se generan por tres factores naturales: diferencia de densidad, rotación de la tierra, y movimiento del viento. Estos ayudan a generar corrientes superficiales y las denominadas Deep wáter currents o corrientes profundas. Para poder comprender como estas corrientes fluyen en el océano existe una fórmula la cual especifica que estas poseen masa y velocidad, por lo tanto, contienen energía cinética. Esta energía puede calcularse mediante la fórmula:

$$E = \frac{1}{2} * m * v^2 \quad (1)$$

Donde:

E es la energía cinética,

m es la masa del agua en movimiento,

v es la velocidad de la corriente.

Cuanto mayor sea la velocidad de la corriente, mayor será la energía disponible para su aprovechamiento.

A diferencia de otras fuentes renovables, como la solar o la eólica, las corrientes marinas tienden a ser más constantes y predecibles, lo cual permite una generación de energía más estable y confiable a lo largo del tiempo.

3.2. Gradientes de presión.

Los gradientes de presión son una magnitud física que describe la variación de la presión en función al movimiento dentro de un fluido, este término es utilizado para comprender como las corrientes marinas cambian su fuerza de movimiento en los océanos,

O como lo define este autor:

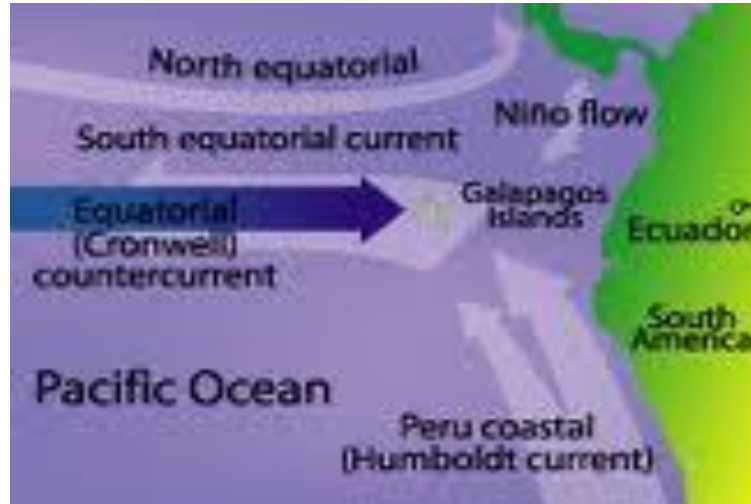
La presión hidrostática, p , a cualquier profundidad por debajo de la superficie del mar viene dada por la ecuación $p = \rho g z$, donde g es la aceleración de la gravedad, ρ es la densidad del agua de mar, que aumenta con la profundidad, y z es la profundidad debajo de la superficie del mar. (L Gordon & Cenedese, 1998)

La circulación general se rige por la ecuación de movimiento: $F = m a$, la cual aplica para fluidos y gases. Esta ha sido generada por el físico y matemático Isaac Newton la cual es aplicada a un volumen continuo de agua.

3.3. Corrientes marinas en Ecuador

Las corrientes marinas en aguas del Ecuador están influenciadas por dos corrientes tropicales la cual tienen dirección hacia el oeste, estas son: la Corriente Ecuatorial del Norte y la Corriente Ecuatorial del Sur, además de estas corrientes debemos incluir a la corriente de Humboldt que abarca a toda la costa occidental de América del Sur, la corriente el Niño proveniente del Norte del continente y la Subcorriente Ecuatorial.

Figura 12
Corrientes en Ecuador



Fuente: Corrientes frente a las costas de Ecuador, {fotografía}, Ballenita Si 2024
(<https://www.ballenitasi.org/2012/01/corrientes-frente-las-costas-del.html>)

3.3.1. Corriente de Humboldt.

También conocida como corriente del Perú. “La corriente fluye hacia el norte desde el Océano Pacífico Sur, transportando aguas por miles de kilómetros. Luego, el agua se mezcla con las aguas cálidas en el Ecuador, lo que marca el final de la corriente de Humboldt.” (Owuor, 2018)

3.3.2. Corriente el Niño.

Es una corriente que se origina en el occidente del Pacífico, fluye de agua templada que se desplaza hacia el sur y tiene su origen en el mes de diciembre en las zonas costeras del Perú. Esta corriente causa grandes alteraciones en el clima a nivel mundial. Consigo trae corrientes cálidas que en costas ecuatorianas generan caudales submarinos fuertes que se pueden aprovechar para la generación de energía.

3.3.3. Corriente Ecuatorial del Sur

Es un conjunto de corrientes marinas cálidas y superficiales que fluyen de este a oeste, situadas en el ecuador o al sur de este, es de gran importancia para la corriente de Humboldt en su generación, esta corriente nace de las aguas frías de las proximidades de las Islas Galápagos.

3.3.4. Corriente Ecuatorial del Norte.

Se mueve de igual manera de este a oeste, es una corriente marina cálida de baja velocidad, forma parte del giro del Atlántico Norte y es alimentada principalmente por aguas de la corriente de las Canarias, recibe el impulso de los vientos alisios del este y noreste.

3.3.5. Corriente de Cromwell (Subcorriente Ecuatorial)

Esta es una corriente subsuperficial que fluye hacia el este a lo largo del pacífico ecuatorial, es proporcionada cerca del Ecuador, esta corriente se encuentra centrada entre los 50 y los 150m de profundidad y alcanza velocidades aproximadas de 1.5m/s.

3.4. Lugares potenciales para la captación de energía en el ecuador.

El perfil costanero del Ecuador cuenta con una extensión de aproximadamente 640 km, la cual motiva a la búsqueda de recursos energéticos en el océano pacífico ecuatoriano tanto a nivel continental como en el archipiélago de Galápagos. En Ecuador, existen varios lugares con alto potencial para la captación de energía de corrientes marinas, especialmente por la interacción de corrientes oceánicas frías y cálidas a lo largo de su costa y en el entorno de las islas Galápagos. A continuación, se detallan algunos de los sitios más prometedores para el desarrollo de proyectos de generación eléctrica marina:

3.4.1. Islas Galápagos.

Las Islas Galápagos cuentan con un potencial energético significativo centrado al flujo de las corrientes marinas esto debido a la coincidencia de varias corrientes oceánicas, la cual generan diferencia de presión y temperatura.

Corrientes presentes: Corriente de Cromwell, corriente ecuatorial del norte y afloramientos oceánicos.

Potencial: Alto. La combinación de corrientes constantes, alta biodiversidad y necesidad urgente de energías limpias hace de Galápagos un candidato ideal. Ya existe un enfoque gubernamental hacia la descarbonización del archipiélago.

Consideraciones: Zona protegida, por lo que cualquier proyecto debe tener un mínimo impacto ambiental y aprobación de regulaciones estrictas.

3.4.2. Zona costera de Manabí (Puerto López, Manta).

La zona costera del Ecuador presenta un escenario viable para la obtención de energía mediante las corrientes marinas, esto debido al gran impacto de las corrientes climáticas que chocan con el perfil ecuatoriano originando afluentes submarinos que pueden ser aprovechables.

Corrientes presentes: Influencia de la corriente de Humboldt y la corriente ecuatorial del sur.

Potencial: Medio a alto. Esta área tiene buena intensidad de corriente y una infraestructura portuaria que podría facilitar la instalación de turbinas marinas.

Consideraciones: Requiere estudios de batimetría y evaluación de impacto ambiental.

3.4.3. Golfo de Guayaquil.

Zona de tránsito marítimo y que por su ubicación geográfica permite ser un gran escenario para el aprovechamiento de las corrientes marinas para generar energía. “Se ha determinado que las zonas con mayores velocidades son: el Estero Salado, canales entre Posorja y Puná y el Canal entre Puná y la Puntilla de Jambelí, en las Provincia del Guayas y El Oro; con registros máximos entre 3 y 4 m/s.” (Narvet Noboa & Palacios , 2013)

Corrientes presentes: Combinación de flujos de marea y corrientes oceánicas.

Potencial: Alto. Aunque es una zona de alta actividad portuaria y sedimentación, ciertas áreas podrían ser aptas para tecnologías de corriente de marea (mareomotriz).

Consideraciones: Evaluación técnica compleja por el tránsito marítimo y la dinámica sedimentaria.

3.4.4. Zona costera de Esmeralda.

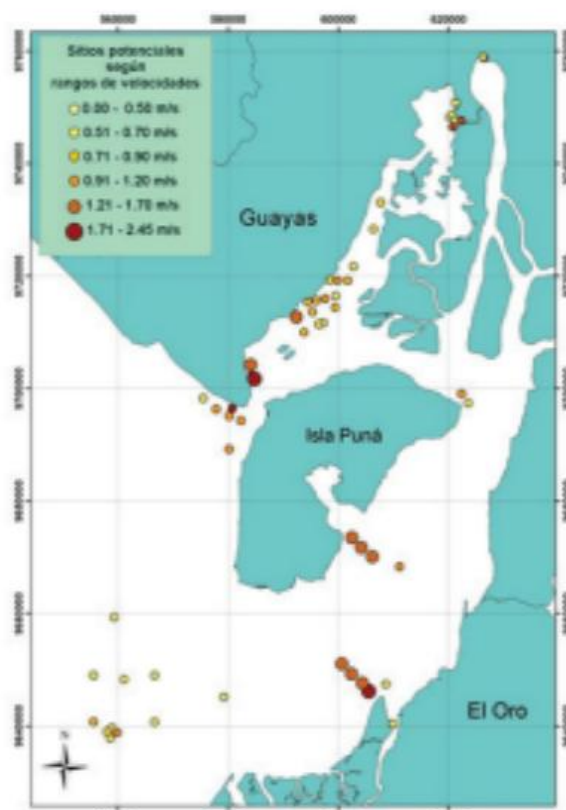
Corrientes presentes: Influencia de la corriente del Niño y condiciones de marea en estuarios.

Potencial: Moderado. La variabilidad de las corrientes podría combinarse con tecnologías híbridas (mareas y olas).

Consideraciones: Potencial sin explotar, pero con necesidad de estudios específicos de velocidad de corriente y profundidad.

Figura 13

Sitios potenciales de generación



Fuente: Sitios potenciales de generación de energía eléctrica a partir de corrientes marinas, {fotografía},
por INOCAR 2011

(<https://perfiles.esPOCH.edu.ec/public/arhtml/Perfiles10/Perfiles10Art6/Perfiles10Art6.html>)

Además, la provincia de Manabí presenta grandes condiciones en cuanto a la presencia de corrientes marinas, esto gracias a la influencia de corrientes tropicales como es el caso de la corriente de Humboldt.

El clima en el Ecuador está influenciado por varios factores tales como la circulación atmosférica que hace referencia a los sistemas de baja presión como la zona de convergencia

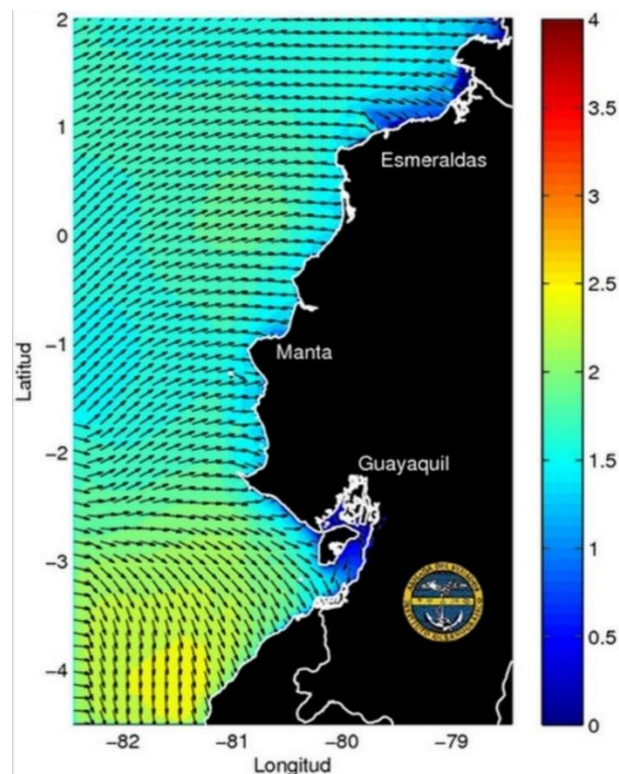
intertropical, además, las masas de aires locales referenciadas por el relieve y aún más importante la influencia de la cordillera andina.

De la misma manera este autor refiere que:

Los factores climáticos que más identifican a la región ecuatoriana son: las masas de aire locales determinadas por el relieve, circulación atmosférica general (los sistemas de baja presión como la zona intertropical ZCIT), las corrientes oceánicas que afectan al clima son la de Humboldt, adicionalmente la cordillera de los Andes. (Arcos, 2021).

Figura 14

Caracterización de las olas



Fuente: modelo de operación de INOCAR-SWAM altura de oleaje, {fotografía}, por Ingenius Revista de Ciencia y Tecnología 2017 (<https://www.redalyc.org/journal/5055/505554801003/html/>)

CAPITULO IV: DETERMINACIÓN DEL LUGAR POTENCIAL Y SELECCIÓN DE LOS MATERIALES Y EQUIPOS.

En el presente capítulo, se realiza el diseño del equipo, se identifica las diferentes condiciones externas e internas a las que este sujeto durante su funcionamiento, así mismo se realiza un análisis de los componentes seleccionados para su construcción. De igual manera se dará a conocer las condiciones ambientales y oceanográficas del lugar potencial para la ubicación del equipo.

4.1. Condiciones externas a las que está sujeto el equipo.

Estas condiciones son aquellas en las que tienen relación directa con el equipo y su fabricación, se pueden decir que estas condiciones son el ambiente salino del océano, obstáculos que rodean al equipo, fauna marina, velocidad promedio de las corrientes marinas, lecho marino, estas condiciones se han tomado como referencia para el diseño adecuado del dispositivo.

4.1.1. Condiciones Ambientales.

Las condiciones ambientales se las tomo del lugar donde potencialmente cumple con las velocidades adecuadas para la generación de energía, en la siguiente figura se detalla una vista satelital del golfo de Guayaquil, lugar que puede brindar las condiciones adecuadas para la ubicación de este dispositivo en la generación de electricidad.

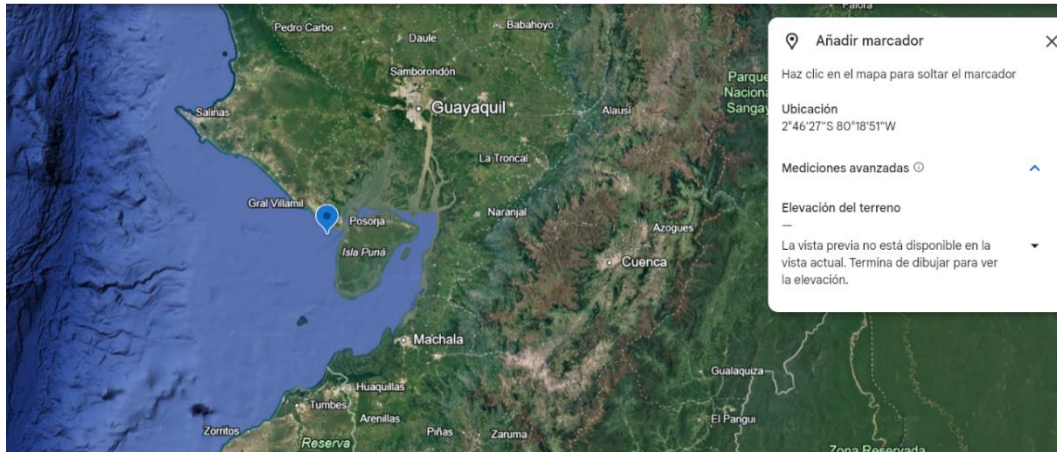


Figura 15: Ubicación del lugar con potencial energético.

Fuente: Google earth

4.1.1.1. Condiciones climáticas y oceanográficas del golfo de Guayaquil, lugar potencial para ubicación del equipo.

Se ha escogido y tomado como referencia el golfo de guayaquil como lugar potencial para ubicación de este dispositivo en la generación de energía, aunque no se vaya a realizar pruebas directamente en este espacio, se lo toma como referencia para poder simular sus condiciones y para futuros proyectos que conlleven a la investigación de obtención de energía.

El golfo de guayaquil es un estuario tropical, posee condiciones ambientales únicas ya que mezcla la cuenca del rio Guayas con las aguas del pacifico, a cuestión de esto se presentan diferentes condiciones climáticas, tales como el cambio de temperatura del agua, afluencia de microbacterias y microorganismos, presencia de bastantes bancos de arena y sedimentos. Además, está influenciado por la corriente de Humboldt que le ayuda a generar los niveles de marea.

Por otra parte, este golfo es una zona geográficamente estratégica para el Ecuador, ya que combina varias características que lo hacen un emplazamiento prometedor para la implementación

de un proyecto de generación de energía a partir de las corrientes marinas, entre las sus características se tienen:

- Altas velocidades de corriente.
- Grandes volúmenes de agua.
- Previsibilidad de las corrientes de marea.
- Ubicación estratégica.

Este golfo tiene la afluencia del Río Guayas la cual le ayuda en la generación de corrientes tanto superficiales como submarinas.

Un estudio realizado por oceanógrafos y publicado en la revista científica Acta Oceanográfica del Pacífico expresaron lo siguiente, “Las velocidades máximas obtenidas en este estudio coinciden con el orden de magnitud de las velocidades obtenidas en otros estudios realizados en el río Guayas, con un máximo de 1,83 m/s a 3 metros y 1,85 m/s a 7 metros.” (Vera San Martín , Hernández Vaca , Mindiola Robayo , & Nath Nieto , 2021).

4.1.2. Temperatura de las aguas del golfo de Guayaquil.

Los datos de las temperaturas máxima y mínima se muestran en la siguiente tabla. Estos valores son calculados en base a los datos de los últimos 10 años. A continuación, se los muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1
Temperatura del agua en guayaquil.

Mes	Prom.	Min	Máx	
enero	26.1°C	23.3°C	29.4°C	caliente
Temperatura del agua en Guayaquil en enero				
febrero	27°C	24.6°C	29.6°C	caliente
Temperatura del agua en Guayaquil en febrero				
marzo	27.1°C	24.1°C	30.3°C	caliente
Temperatura del agua en Guayaquil en marzo				
abril	26.9°C	24.2°C	29.6°C	caliente
Temperatura del agua en Guayaquil en abril				
mayo	26.6°C	24.1°C	29.5°C	caliente
Temperatura del agua en Guayaquil en mayo				
junio	25.1°C	21°C	29°C	caliente
Temperatura del agua en Guayaquil en junio				
julio	24.4°C	20.2°C	28.7°C	cálido
Temperatura del agua en Guayaquil en julio				
agosto	23.8°C	19.8°C	28.2°C	cálido
Temperatura del agua en Guayaquil en agosto				
septiembre	23°C	18.7°C	27.5°C	cálido
Temperatura del agua en Guayaquil en septiembre				
octubre	23.9°C	19.5°C	27.7°C	cálido
Temperatura del agua en Guayaquil en octubre				
noviembre	23.9°C	21.3°C	26.9°C	cálido
Temperatura del agua en Guayaquil en noviembre				
diciembre	25°C	21.3°C	27.7°C	caliente
Temperatura del agua en Guayaquil en diciembre				

Fuente: tabla de temperaturas del agua de guayaquil de los últimos 10 años, {fotografía}, Seatemperature.info 2023 (<https://seatemperature.info/es/guayaquil-temperatura-del-agua-del-mar.html>)

Las temperaturas del agua es uno de los principales influyentes en el flujo de las corrientes marinas y esto se debe al principio de circulación termohalina, que tiene sus bases en las diferencias de densidad del agua.

4.1.3. Velocidad promedio de las corrientes en el golfo de guayaquil.

La velocidad de las corrientes marinas en el estuario interior del golfo son básicamente la entrada y salida del agua en ciclo de marea. En tiempos de lluvia cuando el agua dulce choca con el agua salada se han registrado velocidades de más de 3.5 m/s, información tomada de la base de datos del INOCAR durante un año de estudio.

4.2. Condiciones internas a las que está sujeto el equipo.

En esta sección se ha determinado las condiciones internas a las que estará sometido el equipo, las cuales son aquellas relacionadas con la máquina y sus componentes, determinación de los materiales a usar y el tipo de construcción como lo son: diseño de las palas, sistema de transmisión de la potencia mecánica, generador eléctrico.

4.2.1. Diseño de las aspas.

El diseño de las aspas, consta de tres palas fijadas a dos tapas circulares, las cuales están presionadas en la parte superior y descansan en la tapa inferior, estas fueron fabricadas aparte de la estructura por motivos de ensamblaje del rotor y el generador eléctrico.

La estructura de las aspas se las realizó de forma vertical tomando como referencia el diseño de las aspas de los aerogeneradores de eje vertical, todo esto para un mejor aprovechamiento del flujo de las corrientes marinas.

A continuación, se describe una tabla con algunos datos técnicos que hay que tener en cuenta para el diseño de las aspas.

Tabla 2
Consideraciones Técnicas para el diseño de las aspas del generador de eje vertical

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	RANGO DE VALORES	CONSIDERACIONES GENERALES
Tipo de turbina	Para el diseño se tomó en cuenta la estructura de los	N/A	Este tipo de diseño se lo tomo porque podría ser adecuado para un prototipo

	aerogeneradores Savonius		inicial en base su simplicidad.
Material de las Aspas	Se las imprimió en 3d con el filamento PETG, material de alta resistencia a la deformación y mayor flexibilidad	Polímero de alta resistencia	Resistente a la corrosión, tiene una alta resistencia a los impactos, es impermeable al contacto con el agua evita la deformación al estar en agua.
Numero de Aspas	Afecta a la suavidad en el giro y de igual manera influye en el coeficiente de potencia	Se ubico 3 aspas	Se dimensiono para la captación de las velocidades presentadas en el lugar escogido y de igual manera se ubicó un diámetro pequeño para evitar cargas estructurales.
Diámetro del Rotor	Factor principal para poder definir el área de captación de corrientes	Dependencia de la potencia objetivo	Se diseño un diámetro no muy grande para evitar cargas estructurales en el dispositivo
Altura de las Aspas	Altura vertical de las palas	Altura de 30cm como referencia	Se propuso una altura de 30cm para mayor captación de energía
Perfil del Ala	La forma del perfil adecuado determina la eficiencia	Perfil NACA 0018.	Para el uso de captación de energía por medio del agua los perfiles deben tener una forma robusta esto debido a la presión que ejerce un

	hidrodinámica del dispositivo.		fluido más denso como lo es el agua.
Ángulo de Ataque	Es el ángulo entre la cuerda del perfil y la dirección de la corriente.	Este varía dinámicamente.	Debe estar diseñada para poder asegurar el funcionamiento eficiente a través de un rango amplio de ángulos de ataque debido a su rotación.
Velocidad de corriente de Diseño	Velocidad de la corriente que se espera que esté sometido el dispositivo.	Va desde 1.5 y 4 m/s para el golfo de Guayaquil.	Es el valor que hay que tener en cuenta para los cálculos de potencia.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.2. Determinación de la forma de las aspas.

Este tipo de dispositivo es de arrastre y el funcionamiento se basa en la distinta fuerza hidrocínética que ejercerá el flujo de las corrientes sobre las aspas montadas en la estructura como tal.

La captación de energía mediante el flujo de las corrientes marinas viene dada por las aspas, para ello hay que desglosar unas fórmulas para su buen diseño, estas son:

4.2.2.1. Potencia hidrocínética disponible:

Esta fórmula expresa la potencia máxima que se les puede extraer de una corriente:

$$P_h = \frac{1}{2} p_a A C_p V^3 \quad (2)$$

Donde:

- P_h : Potencia Hidrocinética en Watts
- p_a : Densidad del agua (aprox. 1025 kg/m^3 para agua de mar).
- A : Área de barrido del rotor (m^2).
- C_p : Coeficiente de potencia (0.45).
- V_a : velocidad de la corriente de agua en m/s.

El rotor seleccionado para el dispositivo está formado por un conjunto de aspas la cual son diseñadas de manera independiente y siguen la forma de un generador eléctrico de eje vertical, estas poseen una pequeña curvatura donde la fuerza de la corriente originará fuerzas distintas en la parte curva y convexa de las aspas que se origine un par y ocasione el giro del rotor.

4.2.2.2. Determinación de las dimensiones del rotor.

El dimensionamiento del rotor debe realizarse de acuerdo a varios factores tales como las especificaciones de la aplicación, en este caso son las corrientes marinas, se debe tomar como referencia el lugar de prueba y el funcionamiento del dispositivo, de igual manera es importante saber la potencia que se desea obtener para el funcionamiento de la máquina.

Para un generador de eje vertical, el área de barrido (A) es un rectángulo, definido por el diámetro (D) y la altura (H) del rotor ($A=D \cdot H$).

Calculamos el área de barrido despejándola de la ecuación de potencia:

$$A = \frac{2P}{pC_p V^3} \quad (3)$$

$$A = \frac{2 * 240}{1025 * 0.45 * (2.5)^3} \quad (4)$$

$$A = \frac{480}{1025 * 0.45 * 15.625} \quad (5)$$

$$A = \frac{480}{7213.28} \quad (6)$$

$$A = 0.0665 \text{ m} \quad (7)$$

Dimensiones del rotor D y A . Una vez que se tiene el área de barrido, es necesario establecer una relación de diseño entre la altura y el diámetro del rotor para encontrar valores específicos. Una relación común para rotores de eje vertical es que la altura es el doble del diámetro ($H=2D$), pero esto puede variar según el diseño.

Si asumimos una relación de $H=2D$:

$$A = D * H = D * (2D) = 2D^2 \quad (8)$$

Despejamos el Diámetro:

$$0.0665 = 2D^2 \quad (9)$$

$$D^2 = \frac{0.0665}{2} \quad (10)$$

$$D^2 = 0.03325 \quad (11)$$

$$D = \sqrt{0.03325} \quad (12)$$

$$D = 0.182 \text{ m} \quad (13)$$

Ahora se calcula la altura (H):

$$H = 2D = 2 * 0.182 \quad (14)$$

$$H = 0.364 \text{ m} \quad (15)$$

Las dimensiones del rotor para el generador son de 0.182 metros de diámetro y 0.364 m de altura. Llevados a cm nos quedaría 18.2 cm de diámetro y 36.4 cm de altura.

Una vez obtenido los valores se proceden a reemplazarlos en la fórmula de la potencia hidrocínética para verificar la potencia que nos pueda dar:

$$P_h = \frac{1}{2} \rho_a A C_p V^3 \quad (16)$$

$$P_h = \frac{1}{2} * 1025 \text{ kg/m}^3 * 0.0665 \text{ cm} * 0.45 * (2.5 \text{ m/s})^3 \quad (17)$$

$$P_h = 239.6 \text{ W} \quad (18)$$

El valor de v_a es la velocidad de las corrientes marinas en el golfo de guayaquil estas son mediciones realizadas por el INOCAR donde reflejan el resultado de **3.5 m/s**.

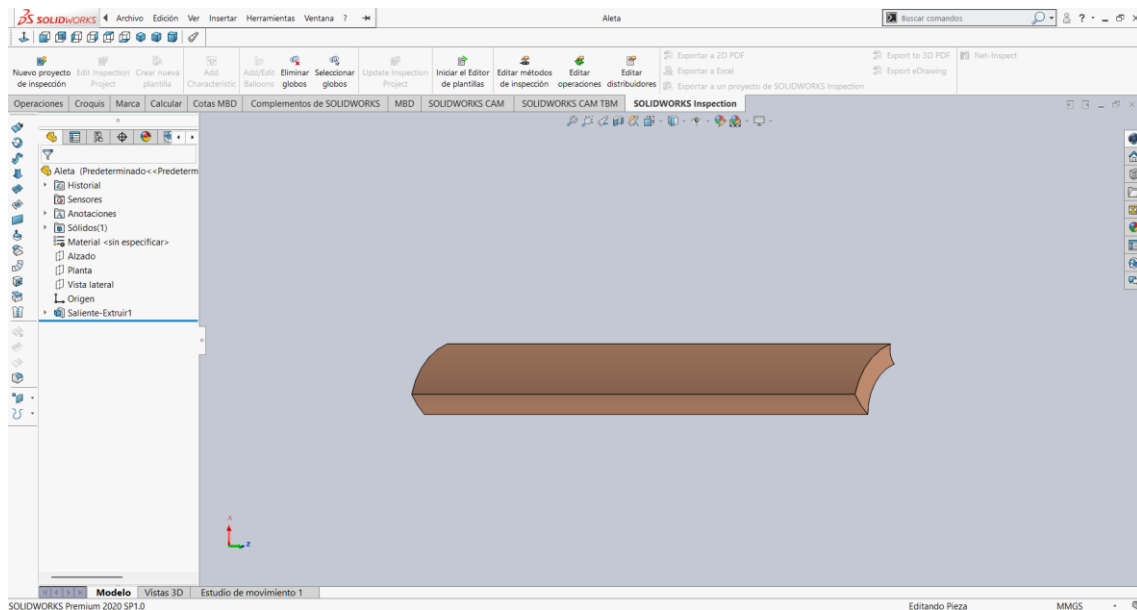
La diferencia más significativa con la energía eólica es la densidad del fluido. El agua es aproximadamente 800 veces más densa que el aire, por lo que se da a entender que un flujo de

agua a una velocidad menor puede generar una cantidad considerable de potencia a comparación que un viento rápido.

4.2. Diseño de las aspas mediante SolidWorks.

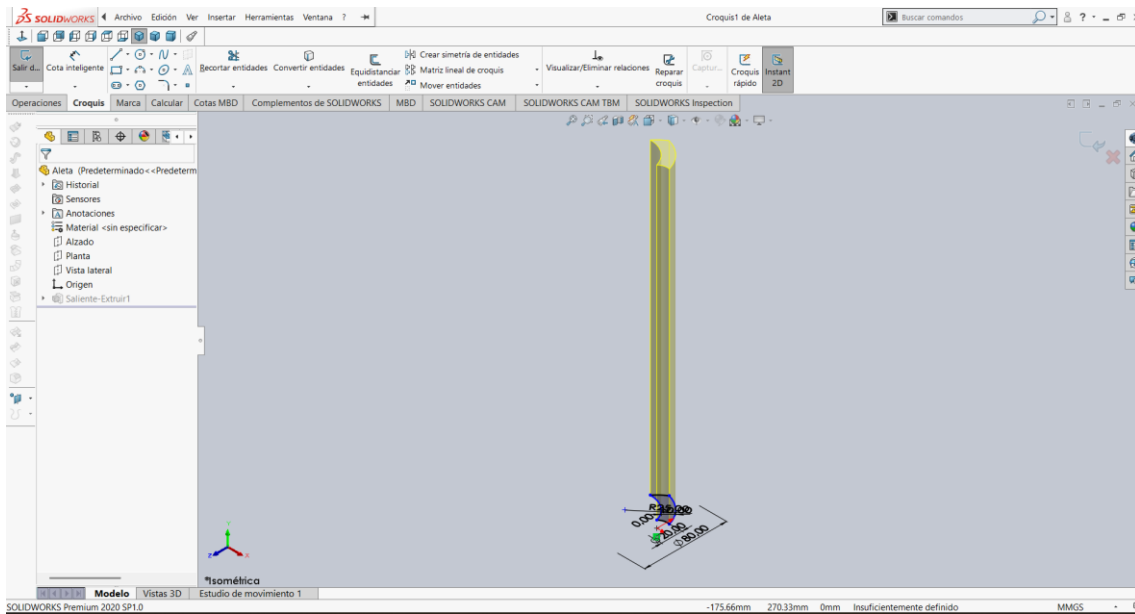
El diseño de las aspas se lo realizo en software CAD para su posterior construcción. Este diseño fue hecho en SolidWorks ya que es un software que presenta las características necesarias para la construcción de estos componentes mecánicos y estructurales.

Figura 16
Diseño de las aspas en software CAD



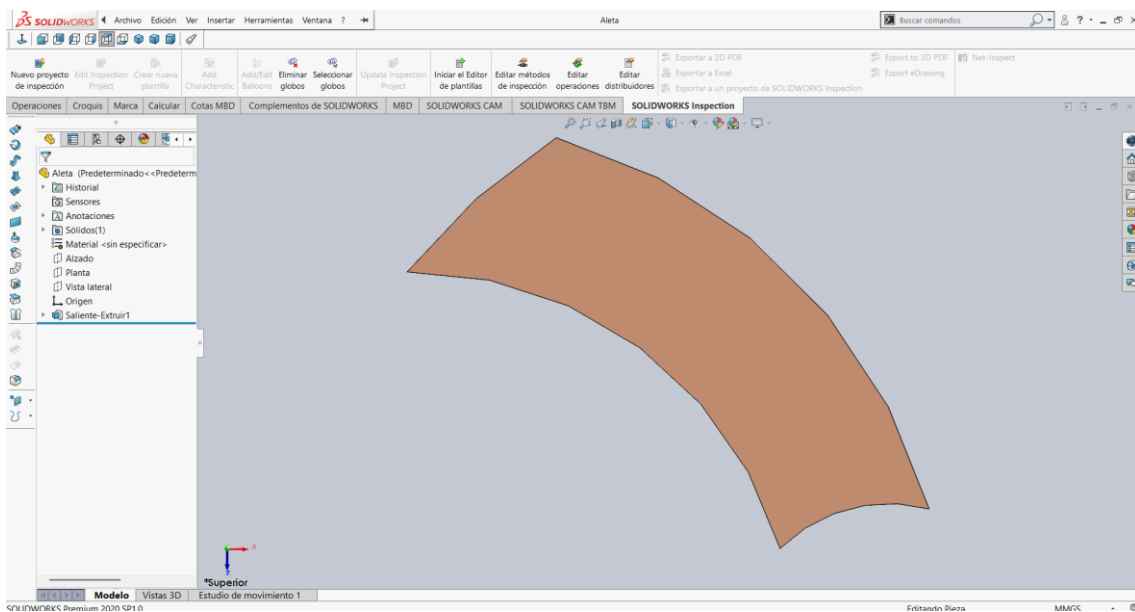
Fuente: Elaboración Propia

Figura 17
Croquis de las aspas en SolidWorks



Fuente: Elaboración Propia

Figura 18
Perfil de las aspas en SolidWorks

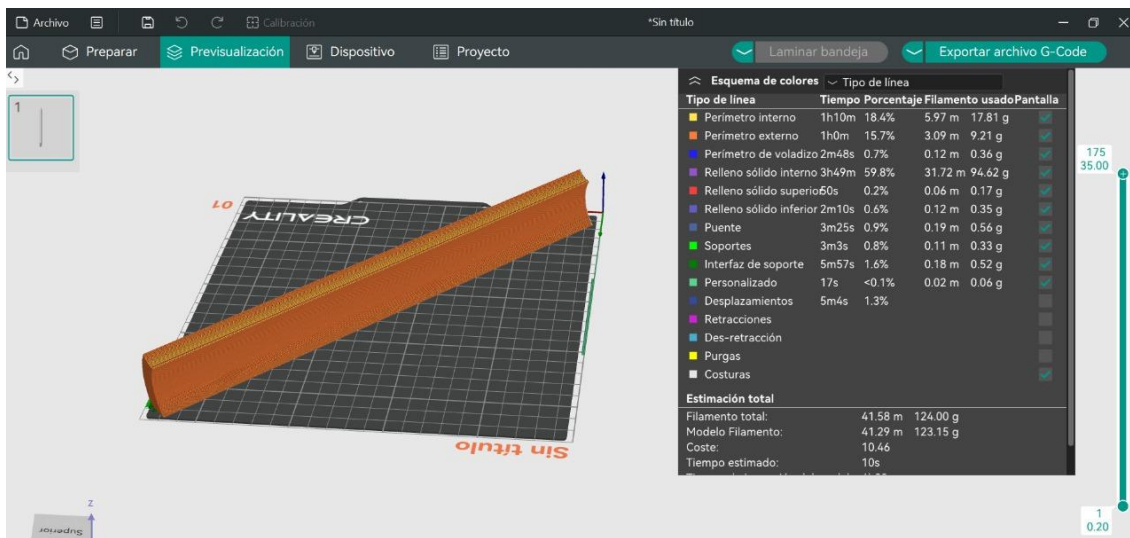


Fuente: Elaboración Propia

4.2.1. Impresión 3d de las aspas.

Para la construcción de las aspas se optó en generarlas por impresión 3d, esto por motivos de experimentación de materiales para creación de futuros proyectos similares a base de este método de construcción, el material de construcción que fue utilizado fue el filamento PETG, filamento de alta resistencia.

Figura 19
Laminado del programa para la impresión 3d de Aspas



Nota: Fuente Propia

Figura 20
Resultado final de la impresión 3d



Fuente: Elaboración (Propia)

4.3. Especificaciones de los equipos que se usan para el funcionamiento del dispositivo.

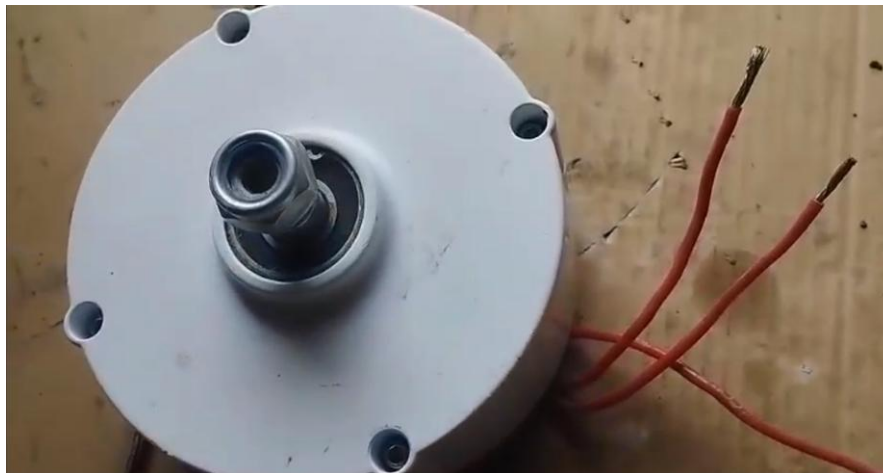
En este apartado se hace referencia a los componentes que serán utilizados en el equipo, estos componentes son el generador eléctrico y el controlador de voltaje.

4.3.1. Generador de imán permanente.

Es una máquina eléctrica capaz de transformar energía mecánica en energía eléctrica mediante giro, está diseñado para ofrecer corriente continua de 12v o 24v a 300 o 600 revoluciones por minuto.

A continuación, se muestra una imagen del equipo:

Figura 21
Generador de imán permanente SMARAAD



Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente tabla se observan las especificaciones del generador seleccionado para la generación de energía.

Tabla 3
Especificaciones técnicas del generador por imán permanente

Modelo	S-500
Eje	Simple
Voltaje	12/24v
Poder	500W
Potencia nominal	500W
Potencia básica	550W
Velocidad nominal	750rpm
Tensión nominal	12v/24v
Par de arranque	0.97Nm

Par nominal	15Nm
Tipo de generador	Generador de tres fases de imán permanente
Material del eje	Acero inoxidable
Material de la carcasa	Aleación de aluminio
Corriente de salida	Corriente Alterna

Fuente: <https://smaraad.net/>

4.3.2. Controlador de voltaje.

Este dispositivo es un equipo de protección eléctrica que brinda control al voltaje que recibe algún otro aparato, esto con el fin de impedir variaciones de tensión dañinas suministrando un voltaje en un rango de operación estable. En otras palabras “El regulador de voltaje sirve para recibir y estabilizar las variaciones de tensión de forma automática, creando una barrera de protección contra voltajes dañinos para resguardar los componentes y el funcionamiento de tus aparatos.” (Avtek.com, 2021).

Figura 22
Regulador de voltaje



Fuente: <https://proviento.com.ec/>

Tabla 4
Especificaciones técnicas del controlador de voltaje

Tensión nominal de la batería	12v/24v
Capacidad nominal del generador	300W/600W
Tensión de frenado	14.4v/28.8v
Voltaje de recuperación	13.2v/26.4v
Consumo de energía en reposo	Menor o igual a 15mA
Nivel de Protección IP	IP67

El regulador tiene bajo costo, alta confiabilidad, protecciones electrónicas completas internamente, además cuenta con una buena protección IP para inmersiones en agua, es fácil de usar, proporciona control e información de rendimiento ya que posee un sistema automático de información mediante luces.

4.4. Selección de materiales para la estructura del dispositivo.

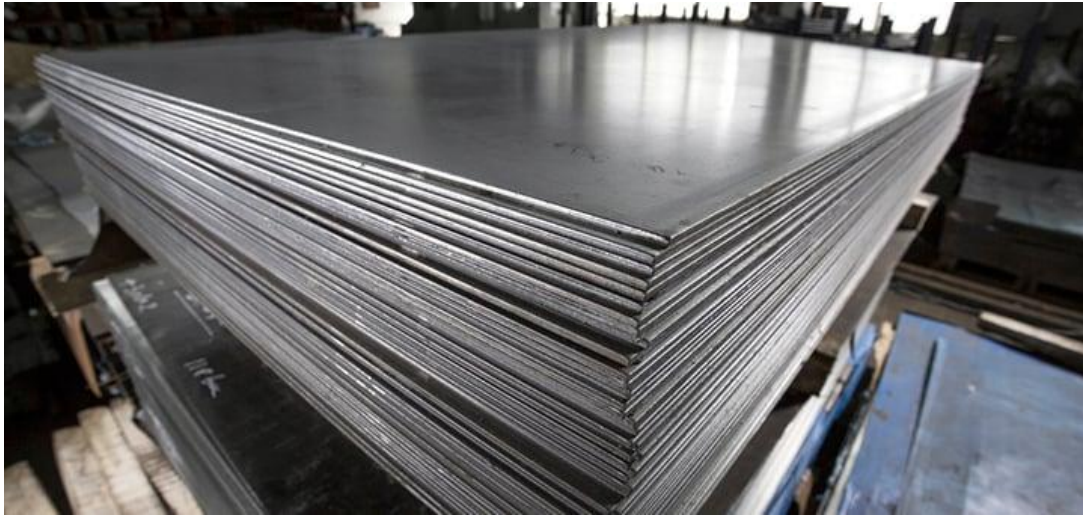
En esta sección se da a conocer información de los materiales seleccionados para la construcción del dispositivo los cuales son, la base sujetadora del generador de imán permanente, el eje vertical, pernos, tapas.

4.4.1. Selección del material para estructura del dispositivo.

Se eligió el acero inoxidable 316 ya que es un tipo de acero especialmente diseñado para ambientes marinos. Por lo que su composición lo hace muy resistente a la corrosión y al desgaste.

Este tipo de acero es una de las aleaciones austeníticas más usadas para proyectos que involucren ambiente marino y de la misma manera para la construcción de embarcaciones. “Sus propiedades lo hacen indispensable en aquellos entornos donde la exposición al agua salada y a ambientes corrosivos es constante. Contiene carbono, níquel, cromo, molibdeno, manganeso, silicio, fósforo, hierro y azufre, en distintas cantidades.” (Extivent, 2024).

Figura 23
Láminas de Acero inoxidable.



Fuente: Elaboración Propia

Además, se muestra las propiedades mecánicas que posee este acero en la siguiente tabla:

Tabla 5
Propiedades mecánicas, temperatura ambiente del acero 316

Tipo Acero	Rango de dimensiones	Límite Elástico 0,2% ($R_{p0,2}$) min. N/mm ²	Resistencia a la tracción (R_m) N/mm ²	Elongación (A_5) min. %
316	Laminado en frío e ≤ 6 mm.	≥ 240	530 - 680	≥ 40
	Laminado en caliente e ≤ 12 mm.	≥ 220		
316L	Laminado en frío e ≤ 6 mm.	≥ 240	530 - 680	≥ 40
	Laminado en caliente e ≤ 12 mm.	≥ 220		

Fuente: <https://europer.cl/wp-content/uploads/2022/04/FICHAS-TECNICA-ACERO-INOX.316-316L.pdf>

4.4.2. Selección de pernos.

Una parte importante en el diseño de la estructura del dispositivo, son los elementos que permiten la unión de las partes, ya que estos juegan un papel fundamental en el funcionamiento, a la hora de transmitir cargas y reducir vibraciones.

Los elementos de unión seleccionados son pernos de cabeza hexagonal, son fabricados en acero de bajo carbono para requerimiento de resistencia media, además son galvanizados para una mayor resistencia.

Su uso radica en estructuras livianas, motores eléctricos, metalmecánica, construcción, máquinas agrícolas y piezas no afectadas a fuertes tensiones.

Figura 24
Pernos hexagonales para unión



Fuente: (<https://www.promesa.com.ec/Home/FERRETERIA/Perner%25C3%25ADa-y-fijaci%25C3%25B3n/Grado-2/Pernos-G2-Cabeza-Hexagonal/Perno-Grado-2-Negro-Cabeza-Hexagonal-UNC-de-1-4%2522-x-1%2522/p/23374>).

En la siguiente tabla se detallan las especificaciones técnicas de estos pernos de unión:

Tabla 6 Especificaciones técnicas de los pernos

Norma	SAE J429H
Dirección del hilo	Derecha
Altura de cabeza	5/32in
Resistencia a la tracción	74.000psi
Largo de rosca	1in
Hilo	UNC
Dureza rockell mínima	B 80
Dureza rockell máxima	B 100
Diámetro del perno	¼ in
Componente	Acero al carbono

Fuente: <https://www.promesa.com.ec>

4.4.3. Selección de tuerca 5/8 para ajuste de estructura.

Esta tuerca permite fijar uniones de partes móviles, se puede hacer notar con dos puntos o dos líneas en una de las caras de la tuerca. La selección de esta tuerca es por motivos de sujeción de los platos bases y fijados al eje vertical y además para la sujeción a presión de las aspas contra los platos bases de la estructura.

A continuación, se detalla sus especificaciones técnicas en la siguiente tabla:

Tabla 7 Especificaciones de técnicas de Tuerca.

Peso	0.62kg
Material técnico	Iso 898-11

Dureza rockell máxima	C 32
Alto de tuerca	35/64in
Hilo por pulgada	11
Diámetro	5/8in
Dirección del hilo	Derecha
Clase	ASMT A635
Carga de prueba	120.000psi

Fuente: <https://www.promesa.com.ec>

Estas tuercas de igual manera son llevadas a procesos de galvanizado para mejorar su composición estructural.

Figura 25
Tuerca de Fijación



Fuente: <https://www.promesa.com.ec/Home/FERRETERIA/Perner%25C3%25ADa-y-fijaci%25C3%25B3n/Grado-5/Tuercas-G5/Tuerca-Grado-5-Galvanizada-UNC-de-5-8%2522/p/22646>

CAPÍTULO V: CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE DE ELEMENTOS DISEÑADOS DEL DISPOSITIVO.

En el siguiente capítulo se detallan los pasos para el montaje de las partes del equipo, el montaje de las aspas, las tapas, la estructura que sostendrá las aspas, así mismo el mecanizado de los materiales, se desarrolla textualmente los procesos de construcción y todos los pasos a seguir en el ensamblaje del equipo.

5.1. Construcción de los elementos diseñados.

La construcción de este tipo de generador se realiza en diferentes etapas conforme a los elementos y equipos que lo componen.

Como primera fase se comenzó con el corte de los platos que sostendrán a las aspas, estos elementos como se mencionó en el apartado 4.5.1 son de acero 316, acero inoxidable para ambientes corrosivos y ambientes marinos.

Estas tapas serán de gran importancia ya que le brindarán soporte a las aspas y equilibrio al rotor.

Las tapas tienen un diámetro de 20cm esto por motivos de diseño estructural y evitar variaciones en la rotación del generador de energía.

Para poder obtener la forma circular de las tapas se las realizó con una amoladora con disco de corte y sujetadas a un tornillo de banco para amoldar su forma redonda.

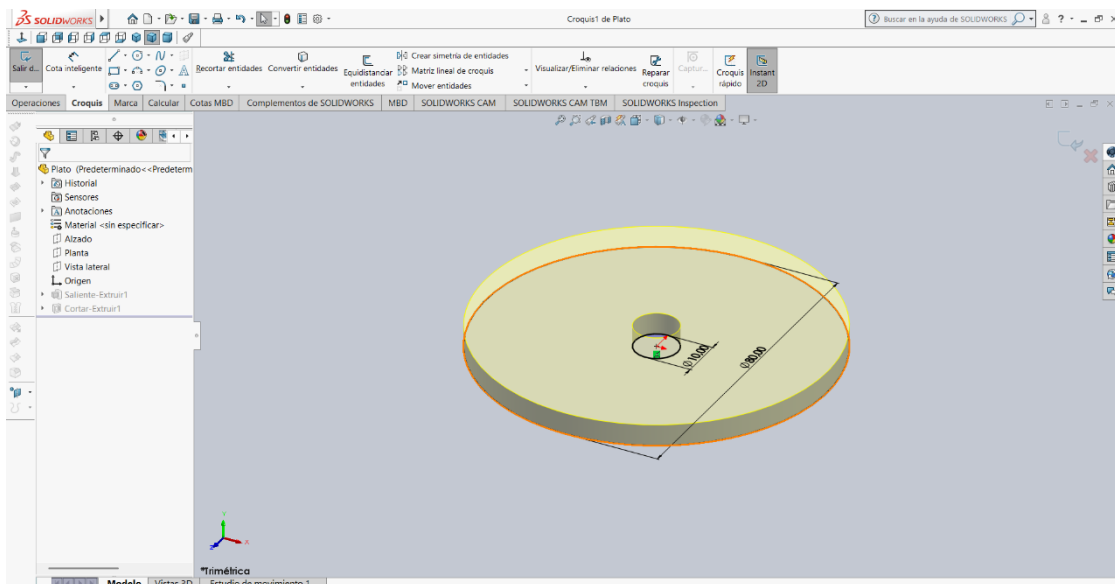
Figura 26 Corte de tapas de fijación

Obtenido de: Fuente Propia



Figura 27 Modelado en SolidWorks

Fuente: Elaboración Propia



Posterior al corte de las tapas se las llevó al torno para realizarle los respectivos acabados y detallar la superficie ya que será puntos de sujeción y anclaje con los pernos descritos anteriormente.

Figura 28 Torneado de las tapas

Fuente: Elaboración Propia



5.2. Diseño de la junta soldada.

Al momento de unir dos o más parte o miembros individuales metálicos, la soldadura es uno de los métodos de unión de partes metálicas mediante la aplicación de calor con o sin la adición de material fundido.

5.2.1. Procedimiento de construcción.

El procedimiento que se escogió fue una soldadura por arco SMAW debido a su bajo costo y de igual manera aporta resistencia necesaria para la unión de las partes, para entrar en contexto este tipo de soldadura forma un arco eléctrico entre las piezas que se sueldan y el electrodo.

En este proceso de soldadura se utilizó electrodos revestido E6011, de 2,4mm de diámetro, por lo que su esfuerzo a la tracción es de 60 ksi.

Para el procedimiento de soldadura se limpió las partes a soldar, retirando todo tipo de óxido y suciedad, en la soldadura no se realizó ningún tipo de bisel; además el tipo de soldadura es de soldadura de tubería en ángulo 2F y de tubo fijo, el ancho de cordón es de 5mm.

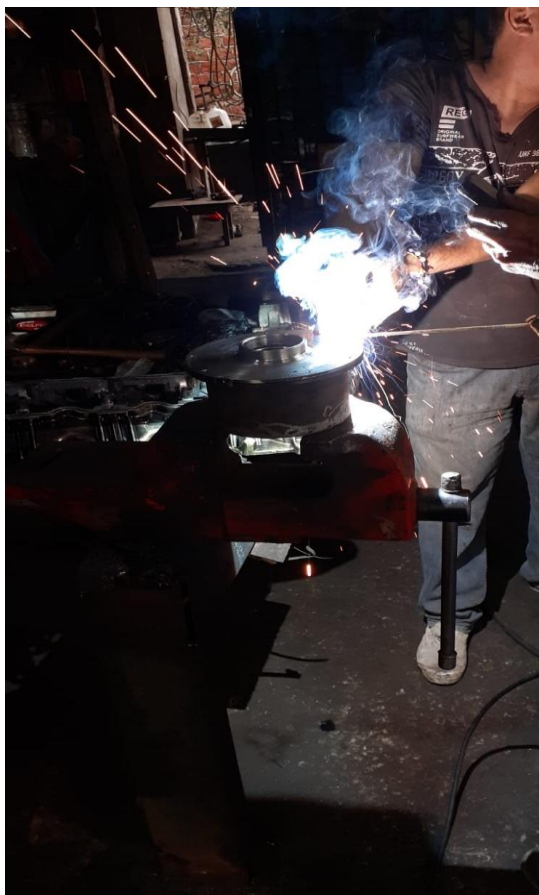


Figura 29 Soldadura de junta soldada

Fuente: Elaboración Propia

5.3. Diseño del cajón para protección del imán permanente.

Para proteger el generador de electricidad por imán permanente del agua se diseñó un cajón de acero para su protección.

Para darle la misma forma del imán permanente se sometió a calor y sujetado al tornillo de banco se le comenzó a darle la curva para posteriormente soldarlo y generar sus partes.

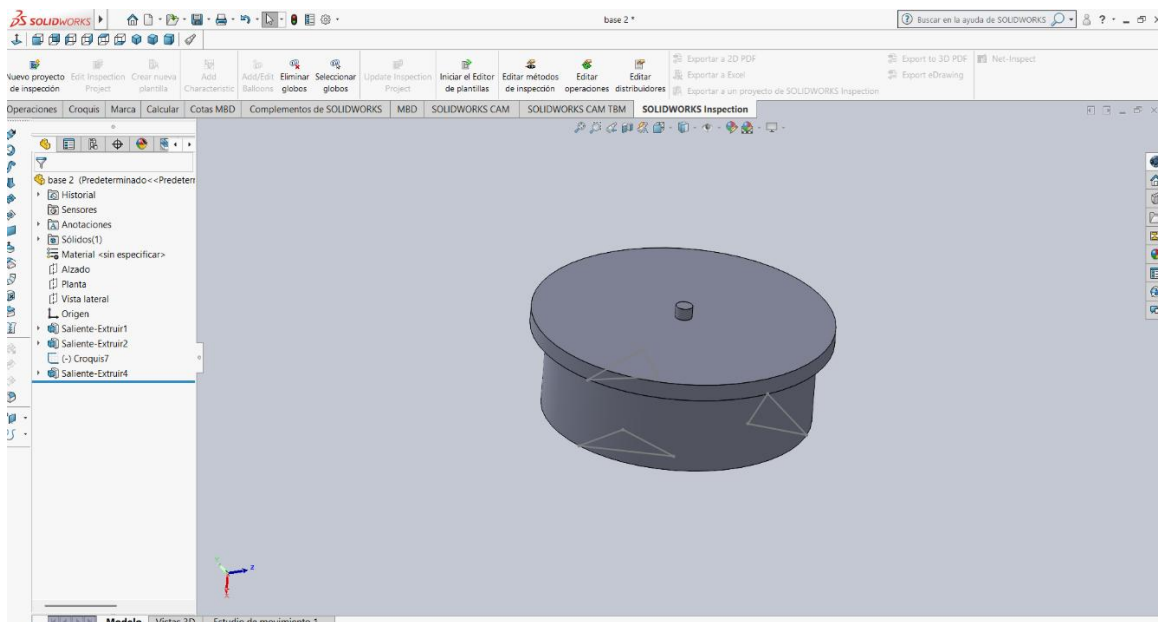


Figura 30 Diseño y modelado de cajón para protección de imán permanente

Fuente: Elaboración Propia

Además, una vez construido el cajón de protección se lo llevo al torno para realizar acabados superficiales en la tapa superior, esto debido a que ira una tapa sellada por pernos y que servirá para el anclaje del eje vertical que sostendrá a las aspas.



Figura 31 Acabado superficial de parte inferior del cajón de protección.

Fuente: Elaboración Propia

Aparte de los acabados superficiales en la tapa superior del cajón que protegerá al imán permanente, se le realizó un limado por dentro del sólido para evitar roces entre la base del cajón con la del imán permanente y las caras laterales del mismo.



Figura 32 Acabados internos.

Fuente: Elaboración Propia

5.4. Realización de huecos para ubicación de pernos.

En esta parte se explica cómo se realizó el proceso de creación de los huecos para los pernos que ayudaran a la sujeción del cajón protector del imán permanente con la estructura en general.

Una vez que la tapa donde iban a estar los pernos tuviera su acabado superficial en el torno se procedió a dividir los espacios para la realización de los huecos.

Este proceso se lo realizo con la ayuda de un compás y un marcador metálico para poder tener referencia del ancho de cada hueco.



Figura 33 Medición de huecos con compás.

Fuente: Elaboración Propia

Una vez marcado los puntos donde irían los pernos de sujeción se los llevó al taladro de banco para la realización de los mismos; este proceso se llevó a cabo con la ayuda de una broca 9mm.

La realización de los huecos pasantes se lo ha realizado tanto en la tapa como en el cajón protector del imán permanente, ya que estos serían motivo de ensamblaje cuando se vaya a montar la estructura.



Figura 34 Realización de huecos con taladro de banco

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede ver en las imágenes se tiene la tapa que sellara al cajón de protección del imán permanente unidos entre sí montados en el taladro de banco para la realización de los huecos pasantes. El líquido que se utiliza, es un refrigerante (disolución de agua en un 5% y aceite en 10%), esto para mantener la temperatura adecuada durante el mecanizado, disipar el calor generado, de la misma manera lubricar la herramienta y la pieza de trabajo. En la siguiente figura se muestra como quedo el resultado de la realización de los huecos pasantes hechos en el taladro de banco.

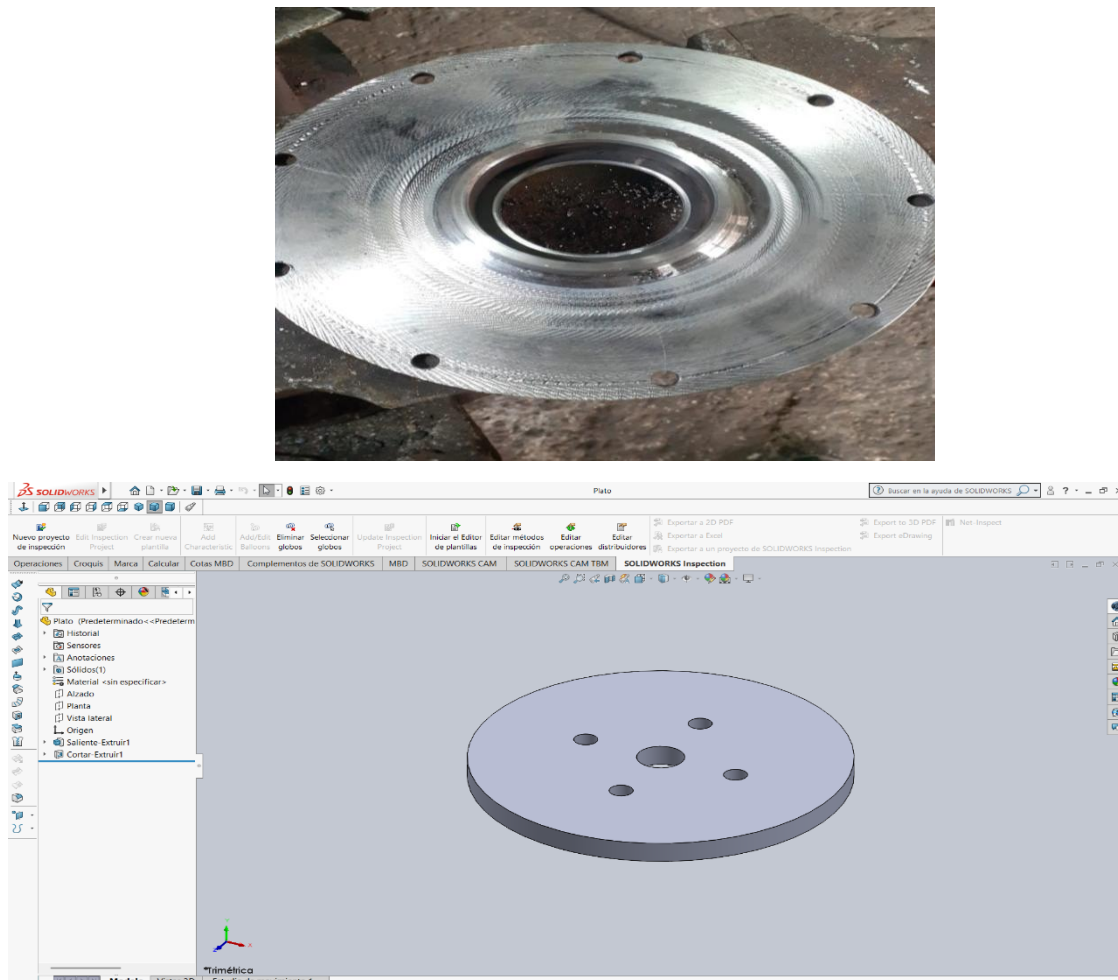


Figura 35 Acabado de los huecos pasantes para sujeción de pernos.

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO VI: ENSAMBLE DEL EQUIPO.

En este capítulo se detallará como se ensamblaron cada pieza del dispositivo para generar su estructura.

6.1. Montaje de tapa protectora.

En esta parte se ensambla la tapa que cubrirá al cajón protector del generador por imán permanente, que será sellado por los pernos de ajustes y anillos de presión, esto con el fin de que esta tapa realice un tipo de sello hermético y evite el fluido de agua hacia el generador por imán permanente.



Figura 36 Ensamblaje de tapa selladora.

Fuente: Elaboración Propia

Una vez situada la tapa selladora se le procedió a ubicar silicona alrededor de toda la unión esto con la función de que realice un sello protector ante la entrada del agua por tales pequeñas grietas.

Además de la postura de la tapa selladora se ubicó un retenedor para realizar un tipo de sello encima de la tapa evitando fugas de movimiento y la entrada del agua hacia el generador por imán permanente.



Figura 37 Retenedor.

Fuente: Elaboración Propia

6.2. Montaje de tapa inferior que sostendrá al rotor y aspas.

Aquí se montó la tapa inferior que será de soporte para las aspas y la estructura del rotor.

A esta tapa también se le dio un acabado superficial en el torno y de la misma manera se realizó los huecos pasantes para la unión con la estructura del rotor mediante pernos de sujeción.



Figura 38 Realización de huecos pasantes para tapa inferior del rotor.

Fuente: Elaboración Propia

Una vez realizados los huecos pasantes se comenzó con el montaje a la estructura del cajón protector del generador por imán permanente, pero antes de eso también se le unió la pieza que será de ayuda para que el rotor tenga su movimiento natural. Esta pieza será un brazo de unión entre la estructura del rotor y el eje del generador por imán permanente. En la siguiente figura se detalla su estructura.



Figura 40 Montaje de pieza de unión

Fuente: Elaboración Propia

6.3. Ensamblaje y montaje del eje a la estructura del dispositivo.

En esta sección se detalla las adecuaciones realizadas al eje para su posterior ensamblaje con la estructura inferior del dispositivo.

Como primer punto se soldó el eje a la tapa inferior que sostendrá a la estructura, y después de haber realizado aquel procedimiento se lo llevo al torno para realizarle la rosca en donde será fijada la tapa superior que será de sello a presión para las aspas.



Figura 41 Adecuación del eje de la estructura.

Fuente: Elaboración Propia



Figura 42 Realización de rosca en la parte superior del eje.

Fuente: Elaboración Propia

6.3.1. Inserción de las aspas a la estructura del eje.

En esta sección se realizó la postura de las aspas en la estructura del eje, esto una vez ya realizado los trabajos posteriores en el eje como tal.

La postura se la realizo ubicando la tapa superior del eje y de la misma manera mediante el ajuste de la tuerca se fueron ubicando las aspas, todo esto fue realizado bajo presión, es decir que las aspas están montadas y sujetas a la base del rotor mediante la presión ejercida por la tuerca de ajuste. En la siguiente figura se mostrará el resultado.



Figura 43 Montaje de aspas a estructura del eje.

Fuente: Elaboración Propia

Además, se realizó pruebas de giro en el torno para determinar si el ensamblaje de las aspas realizado a presión mediante la tuerca de ajuste daría resultados favorables. Al terminar la pequeña prueba se confirmó que el este ensamblaje realizado a presión soporta velocidades de hasta 300 rpm. En la siguiente imagen se detalla las pequeñas pruebas.



Figura 44 Pequeña prueba de giro a las aspas.

Fuente: Elaboración Propia

6.4. Ensamblaje final.

En esta parte se detallará el montaje final de la estructura del eje-rotor con la base que es el cajón protector del generador por imán permanente.

Ya armado el cajón protector del generador por imán permanente se lo fijó a un tornillo de banco para poder realizar la unión con la estructura del rotor. Aquí juega un papel importante la pieza de unión detallada en el apartado 6.2 ya que será el punto de anclaje que transmitirá el movimiento de giro del rotor al eje del generador por imán permanente. En las siguientes figuras se detallará el ajuste y montaje de la estructura del rotor.

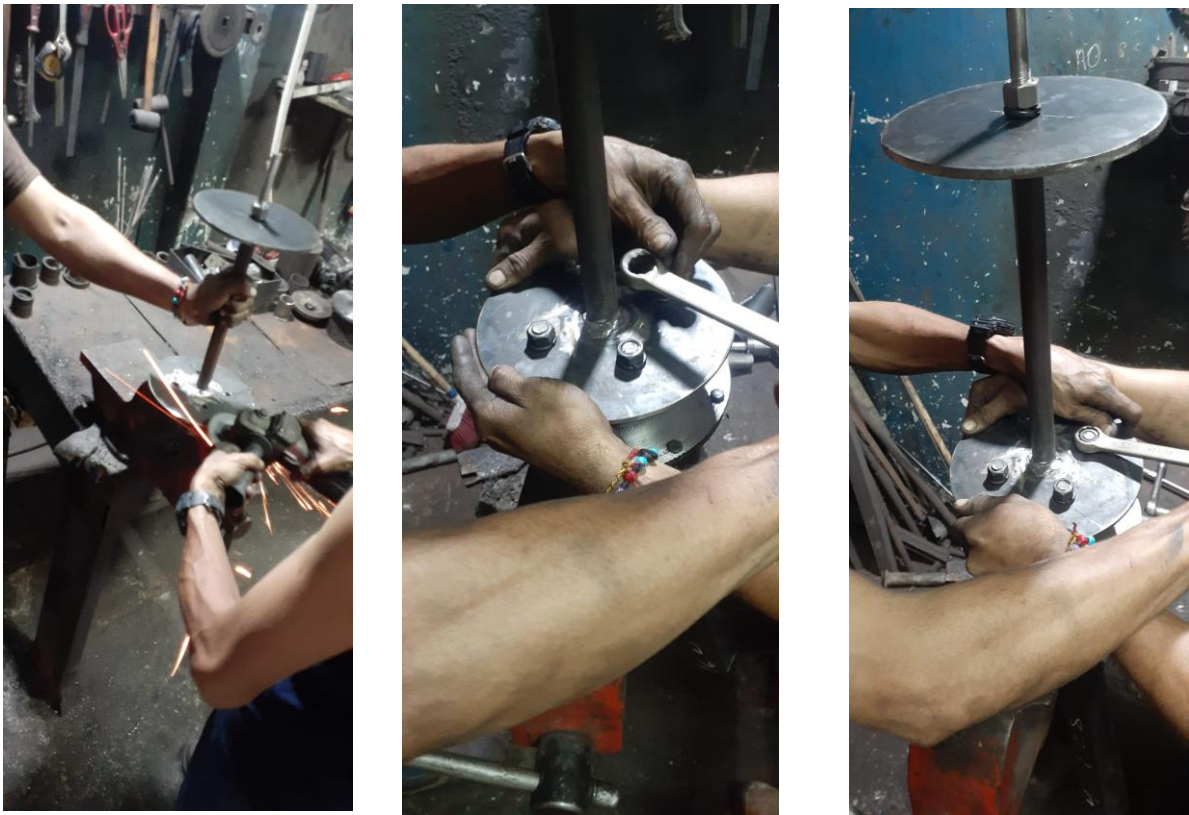


Figura 45 Montaje del eje.

Fuente: Elaboración Propia

Una vez montado el eje se procedió a la postura de las aspas que como se detalló en el apartado 6.3.1 fueron ubicadas bajo presión de la tapa superior dispuesta por la tuerca de ajuste. En las siguientes imágenes se detalla el resultado final del ensamblaje.



Figura 46 Resultado final de ensamblaje.

Fuente: Elaboración Propia

6.4.1. Pintado del dispositivo.

El pintado del dispositivo se lo realizo con pinturas anticorrosivas en spray (de marcas ABBRO y EVANS), la cual son de gran uso para superficies metálicas y evitar su corrosión progresiva, es así que la estructura metálica además de ser realizada en acero inoxidable tenga una protección adicional ante la corrosión, reduciendo los costos de mantenimiento y prolongar su vida útil. En las siguientes figuras se demuestra el proceso.



Figura 47 Puesta de capas de pintura al dispositivo.

Fuente: Elaboración Propia

6.5. Pruebas de desempeño.

En esta sección, se presenta los métodos de prueba en un entorno controlado simulando el ambiente en que se pudiera enfrentar el dispositivo. En base al lugar que se tomó como referencia para la generación de electricidad por corrientes marinas, se realizó unas pruebas en un ambiente controlado simulando las condiciones “reales” si el dispositivo fuese probado en el lugar potencial para la generación de electricidad mediante el flujo de corrientes marinas descrito en el apartado 4.1.1.1.

6.5.1. Pruebas de funcionamiento en ambiente controlado.

En esta sección se realizó la prueba del equipo en una piscina, la cual se lo escogió como sitio de ensayo, esto para simular las condiciones de las corrientes de manera controlada.

Para ello hay que saber ciertos criterios para poder identificar el verdadero funcionamiento en ambientes muy agrestes como lo es el mar. Estos criterios son:

- **Medición de la potencia de salida:** esta es una prueba la cual consta en la medición de la cantidad de energía generada a diferentes velocidades del flujo de agua. Esto es importante para poder determinar la curva de potencia del equipo, su fórmula es la siguiente.

$$P = VI$$

(19)

Donde:

P: es la potencia en vatios (W), V es el voltaje en voltios (v), I es la corriente en amperios (A).

- **Eficiencia del equipo:** se hace el cálculo de la eficiencia hidro cinética, comparando la potencia de salida generada con la potencia teórica.

Esto se lo detalla en la siguiente fórmula:

$$n = P_{generada} / P_{teorica} \quad (20)$$

En este caso la $P_{teorica}$ se hace el cálculo como: $P_{teorica} = 0.5pAv^3$.

Donde p es la densidad del agua ($1025kg/m^3$ para agua de mar), A área de barrido del motor y v es la velocidad del flujo de agua.

Además, como dato adicional, el funcionamiento del equipo bajo la constante presión de flujo de corrientes marinas produce fatiga en el rotor del equipo, derivando en el desbalanceado de la estructura del rotor ocasionando que gire con dificultad.

Por otra parte, se generan pequeñas cavitaciones en las aspas, esto debido por la constante formación de burbujas alrededor de las mismas, lo cual pudiese llevar al deterioro prolongado de las aspas.

6.6. Metodología de la prueba.

Esta prueba se la realizó en una piscina, el método que se utilizó fue experimental. Se utilizó una motobomba de riego de 2 pulgadas de 6.5 hp a gasolina marca LONFA, dos mangueras, una

de succión de 4 pulgadas y otra de 2 pulgadas que sería la que expulsara el agua para simular las corrientes marinas. Como se demuestra en la siguiente figura.



Figura 48 Simulación de corrientes mediante motobomba.

Fuente: Elaboración Propia

6.7. Generación de electricidad.

Los valores obtenidos en las pruebas realizadas con el dispositivo y simulando las corrientes marinas mostraban valores de voltaje bajo, dado que la velocidad de expulsión por parte de la motobomba no era lo suficientemente fuerte para alcanzar su tope de revolución y llegar al voltaje optimo del generador. Obteniendo resultados como

- 0.25 v
- 0.19 v

- 0.30 v
- 0.20 v

Por otra parte, con la ayuda de una batería de 10 v se logro incrementar el voltaje alcanzando los 11v a 12v.

Además, las pruebas realizadas en el sitio de experimentación como fue la piscina, presentaron dificultades técnicas significativas, el diseño propuesto de las aspas comprometió a la eficiencia en la captación de las corrientes generadas. Así mismo, la fuerza de expulsión de la motobomba para la generación de corrientes afectó a la obtención de un voltaje constante y óptimo.

6.8. Costos del Proyecto.

En este apartado se calcula y evalúa los costos del proyecto, considerando los materiales, componentes, herramientas y demás elementos o procesos que se utilizaron durante el desarrollo final.

6.8.1. Costos de los materiales y componentes.

Tabla 8
Costos por materiales y componentes del proyecto.

Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Planchas de acero 316	2	\$94.12	\$188.24
Generador por imán permanente	1	\$350	\$350

Controlador de voltaje FW 12/24	1	\$25	\$25
Aspas impresas en 3d	3	\$25	\$70
Pernos de 1/4x1 con anillos de presión	10	\$0.70	\$7
Pernos de 1/2x1/2 hilo grueso	4	\$0.60	\$2.40
Eje de acero galvanizado 5/8	1	\$30	\$30
Tuerca 5/8 con anillo de presión	1	\$0.60	\$0.60
Cable trifásico concéntrico	1	\$5	\$5
Multímetro	1	\$12,50	\$12.50
Pintura Spray	2	\$3	\$6
Foco 9w	1	\$2	\$2
Cinta aislante	1	\$2	\$2
		Total	\$700.74

Fuente: Elaboración Propia

6.8.2. Costos de movilización

Tabla 9
Costos total de movilización

Designación	Descripción	Valor
Transporte por cotización de materiales	Movilización por distintos lugares	\$30
Envío de materiales desde otras ciudades.	Generador por imán permanente, aspas impresas en 3d	\$20
Transporte a área de trabajo	Movilización al taller de construcción del dispositivo	\$30
	Total	\$80

Fuente: Elaboración Propia

6.8.3. Costos de mano de obra.

Tabla 10
Costos totales de mano de obra.

Designación	Descripción	Valor
Mano de obra por la realización y ensamblado del dispositivo.	Procesos de soldadura, corte y ensamblaje	\$60
Tornería	Acabados superficiales de los componentes	\$30
	Total	\$90

Fuente: Elaboración Propia

6.8.4. Costos por realización de prueba y varios.

Tabla 11
Costos totales de pruebas y varios

Designación	Descripción	Valor
Alquiler de motobomba	Alquiler de motobomba para la simulación de corrientes marinas	\$20
Alquiler de lugar	Alquiler del lugar para la realización de las pruebas	\$25

Imprevistos	Costos por imprevistos técnicos	\$60
Transporte	Transporte de equipos	\$30
	Total	\$135

Fuente: Elaboración Propia.

6.8.5. Costo total

Tabla 12
Costo Total

Designación	Total
Costos de los materiales y componentes	\$700.74
Costos de movilización	\$80
Costos de mano de obra	\$90
Costos por realización de pruebas y varios	\$135
Total	\$1005.74

Fuente: Elaboración Propia.

Dentro de los costos mostrados y de acuerdo a la cifra total, la creación de este tipo de dispositivo demandaría un gasto inicial elevado ya que para su construcción, diseño y ensamblaje se han seleccionado materiales adecuados para el ambiente en el cual operará el dispositivo,

además hay que tener en cuenta los costos variables como mano de obra, transporte, componentes, etc. Por otra parte, los costos fijos como el alquiler de instalaciones para las pruebas y transporte asumen costos de logística significativos.

En definitiva, la creación de este tipo de dispositivo se resumiría a un gasto elevado para su construcción e implementación, pero por el contrario se puede esperar recuperación del capital invertido a largo plazo con la generación de energía. Cabe destacar que la captación de energía se obtendrá de una fuente constante e inagotable por lo que hace interesante su implementación dado que el agua es más densa que el aire por ende se puede generar una cantidad de energía considerable en pequeños lapsos de tiempo.

Conclusiones

El proyecto contribuye al desarrollo de posibles soluciones energéticas en comunidades costeras o lugares insulares. El diseño de eje vertical es una propuesta bioamigable para la fauna y flora marina, ya que reduce el riesgo de colisión con la fauna marina, la bioincrustación y menor contaminación acústica, de la misma manera más fácil de instalar en aguas poco profundas en comparación con las turbinas de eje horizontal.

Se seleccionó materiales como el acero inoxidable 316, ya que es ideal para componentes estructurales de igual manera los polímeros utilizados en la impresión de las aspas son perfectos para evitar la continua cavitación y el biofouling. Estos materiales son la combinación necesaria a la alta resistencia a la corrosión y fatiga. Además, esto lleva a una reducción significativa de los gastos de mantenimientos a largo plazo, de tal manera aumenta la viabilidad económica del proyecto, rendimiento y durabilidad.

Se diseñó de manera exitosa el dispositivo por medio de un software CAD, este tipo de diseño de proyectos sienta las bases para futuras invenciones en el ámbito energético renovable, con esto se ha conseguido reducir los tiempos y costos de desarrollo antes de la construcción de un dispositivo real obteniendo medidas y parámetros específicos de diseño de manera preliminar.

Se recopiló y analizó información técnica relevante sobre el lugar potencial que serviría para sentar las bases en la creación de una nueva alternativa de obtención de energía renovable a través de las corrientes marinas en el país, lo que permitió llevar la imaginación más allá de los límites y realizar el diseño de un prototipo que capte aquel flujo de energía.

Se identifico limitaciones técnicas del sistema durante la fase de prueba, como las condiciones de un flujo de corriente más potente y constante, fatiga en elementos estructurales que afectarían al movimiento del equipo.

Recomendaciones

- Explorar nuevos materiales o tecnologías para el diseño robusto y resistente a las condiciones extremas que proponen las corrientes marinas.
- Aplicar herramientas de software de diseño, la cuales puedan enriquecer el análisis de resultados y la creación de nuevos dispositivos en el futuro.
- Seleccionar el generador eléctrico con especificaciones destinadas a la potencia a generar y capaz de trabajar en un entorno marino, tales como generadores encapsulados o con un alto grado de protección IP.
- Realizar una buena optimización del diseño del dispositivo esto para garantizar la captura del flujo de las corrientes.
- Investigar tecnologías de control como sensores para el monitoreo del funcionamiento del dispositivo en tiempo real y el diagnóstico de fallas.
- Promover el conocimiento de este tipo de obtención de energía mediante publicaciones, talleres o programas educativos.

Bibliografía

- Arcos, A. (2021). *Análisis oceanográfico para la ubicación del espigón del puerto* {Tesis obtencion del titulo de Ingeniero Civil, Universidad Estatal de Sur de Manabí. Repositorio Institucional . Obtenido de <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3492/1/Tesis%20Final%20Ariel%20Arcos-EXPO%20l.pdf>
- Avtek.com. (2021). *Reguladores de voltaje: ¿Que son y para que sirven? Aprende a elegir el correcto*. Obtenido de Avtek.com: <https://www.avtek.com/pag/reguladores-de-voltaje>
- DELALUMNO, L. C. (s.f.). *medcllic.es*. Obtenido de *medcllic.es*: https://medcllic.es/uploads/filer_public/89/64/896492b4-1663-4601-a8b3-f88fa3522b89/u5_lascorrientes_medcllic_cast.pdf
- Esteban , M., & Learly , D. (2012). *sciencedirect.com*. Obtenido de *sciencedirect.com*: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261911003813>
- Extivent. (2024). *Acero Marino | Características y ventajas | Extivent*. Obtenido de Acero Marino | Características y ventajas | Extivent: <https://extivent.com/acero-marino-caracteristicas/>
- Federación Andaluza de Motonáutica. (2020). *Qué es pleamar y bajamar. Cómo y Cuándo se producen* . Obtenido de <https://federacion-andaluza-motonautica.es/federacion-andaluza-motonautica-es-que-es-pleamar-bajamar/>

- Hsbmarine. (2023). *¿Que son las tecnologias de energias renovables marinas?* Obtenido de Hsbmarine: <https://www.hsbmarine.com/es/blog/que-son-las-tecnologias-de-energias-renovables-marinas>
- L Gordon , A., & Cenedese, C. (1998). *Ocean current | Distribution, Causes, & Types*. Obtenido de Encyclopedia Britanica : <https://www.britannica.com/science/ocean-current/Causes-of-ocean-currents>
- Narvet Noboa, S., & Palacios , O. (2013). *CARACTERIZACION PRELIMINAR DE LAS CORRIENTES MARINAS PARA LA DETERMINACION DE SITIOS POTENCIALES DE GENERACION ELECTRICA EN EL ECUADOR* . Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/344672697_CARACTERIZACION_PRELIMINAR_DE_LAS_CORRIENTES_MARINAS_PARA_LA_DETERMINACION_DE_SITIOS_POTENCIALES_DE_GENERACION_ELECTRICA_EN_EL_ECUADOR
- Noaa.gov. (2018). *Ocean Currents* . Obtenido de Noaa.gov: <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/ocean-coasts/ocean-currents>
- Ocean Current Energy /EBSCO. (2025). *Ocean Current Energy* . Obtenido de EBSCO Information Services : <https://www.ebsco.com/research-starters/power-and-energy/ocean-current-energy>
- Owuor, S. (2018). *What Is The Humboldt Current?* Obtenido de WorldAtlas: <https://www.worldatlas.com/articles/what-is-the-humboldt-current.html>
- Palazzesi, A. (5 de Enero de 2008). *Pelamis la serpiente robotica marina* . Obtenido de Neoteo : <https://www.neoteo.com/pelamis-la-serpiente-marina-robotica-que>

Røkke, A., & Nilssen, R. (2013). Obtenido de <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2392758/ICREPQ->

[Tidal%20technology%20review_for%20submission.pdf?sequence=3&isAllowed=y](#)

Vera San Martín , L., Hernández Vaca , F., Mindiola Robayo , M., & Nath Nieto , J. (2021).

Características de las corrientes en un tramo del Rio Guayas. *Acta oceanografica del*

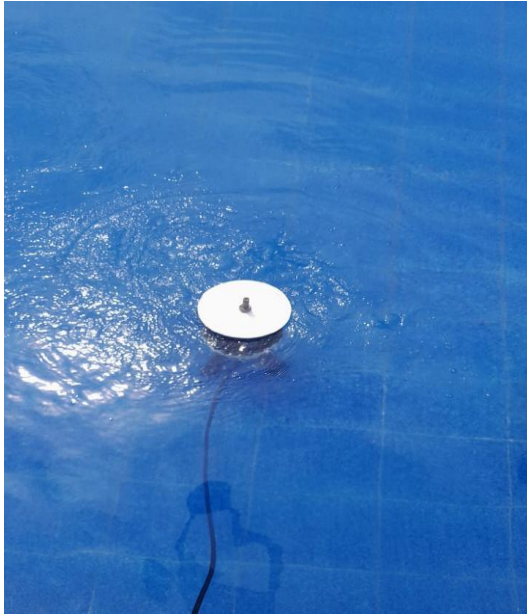
Pacifico. Obtenido de [file:///C:/Users/ASUS/OneDrive%20-](file:///C:/Users/ASUS/OneDrive%20-%20ULEAM/Documentos/UNIVERSIDAD/TESIS/47-Texto%20del%20art%C3%ADculo-371-1-10-20230306.pdf)

[%20ULEAM/Documentos/UNIVERSIDAD/TESIS/47-](#)

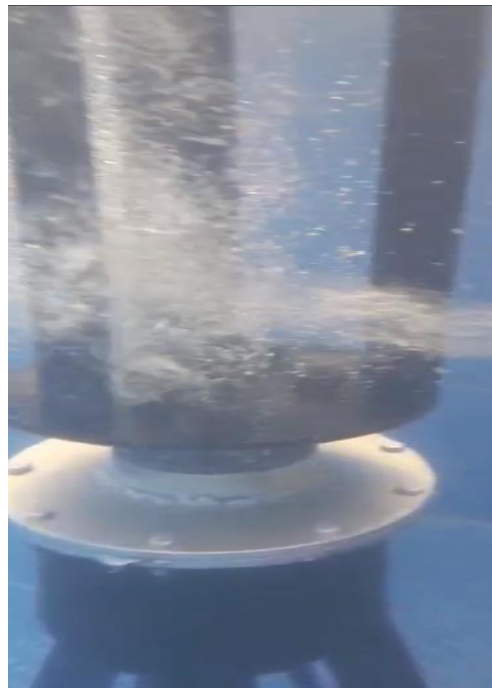
[Texto%20del%20art%C3%ADculo-371-1-10-20230306.pdf](#)

Anexos:

Figuras 1: Prueba del dispositivo en la piscina.



Figuras 2: Simulación de corrientes mediante una manguera conectada a una motobomba.



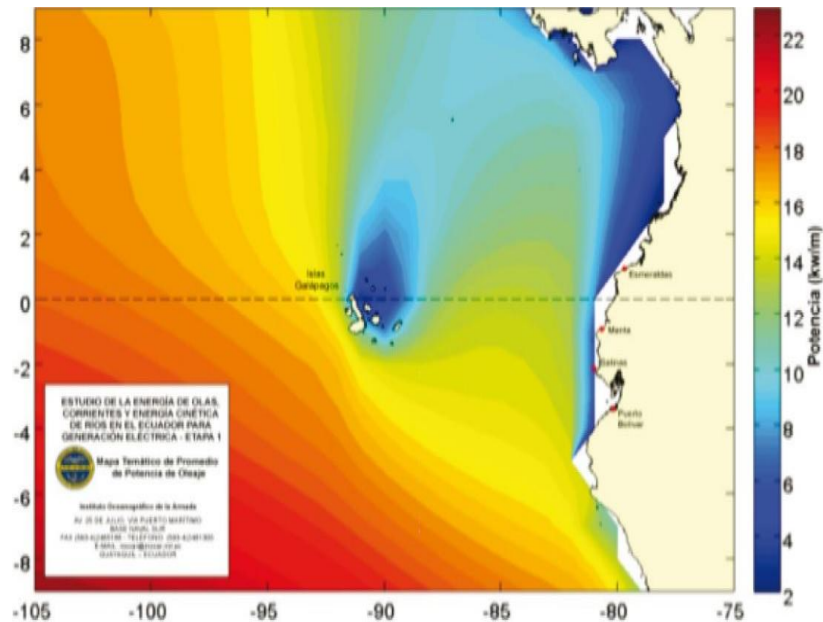




Figuras 3: Toma del voltaje generado.



Figura 4: Información de sitios potenciales para la generación de energía en base a las corrientes marinas.



Fuente: INOCAR, aprovechamiento de energía undimotriz en el Ecuador.

Figura 5: especificaciones técnicas del acero 316.

TORNEADO

Parámetros de corte	Torneado con metal duro		Torneado con acero rápido
	Torneado de desbaste	Torneado fino	Torneado fino
Velocidad de corte (vc) m/min.	170 - 145	160 - 200	25 - 45
Avance (f) mm/r	0,2 - 0,4	0,1 - 0,2	0,1 - 0,5
Profundidad de corte (ap) mm.	1 - 4	0,5 - 1	0,5 - 3
Mecanizado grupo ISO	M20 - M30	M10	-

Fresado con metal duro

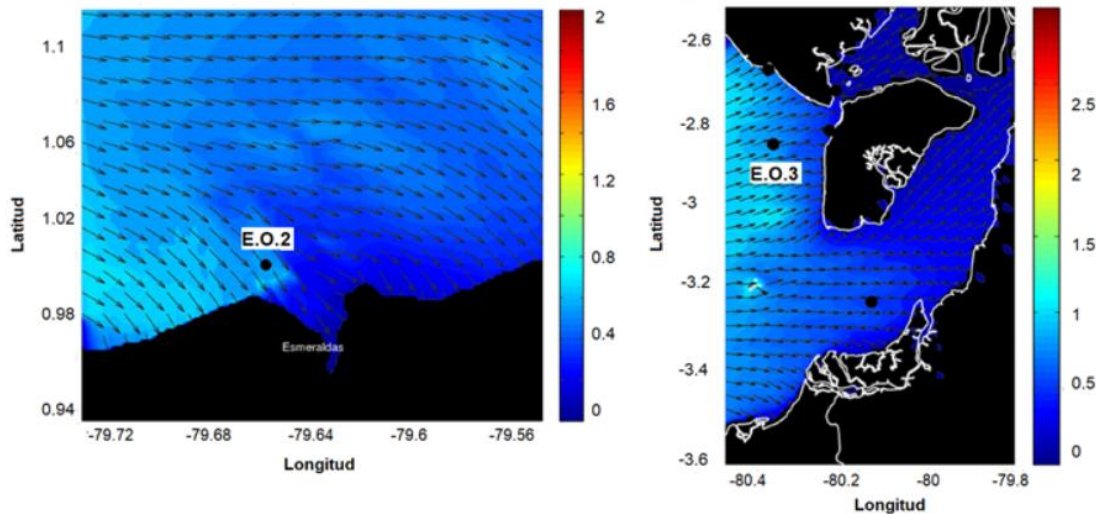
Parámetros de corte	Fresado con metal duro	
	Fresado de desbaste	Fresado en fino
Velocidad de corte(vc) m/min.	60 - 120	100 - 155
Avance (fz) mm/diente	0,2 - 0,3	0,2
Profundidad de corte (ap) mm.	≤ 4	≤ 0,6
Mecanizado grupo ISO	M20 - M30	M10

Taladrado con broca HSS

Diámetro	20	30	40
Velocidad de corte (vc) m/min.	200	200	200
Avance (f) mm/r	0,01	0,12	0,15

Fuente: EUROPER.

Figura 5: puntos del modelo INOCARSWAN para estados de corriente y oleaje en costas cercanas al golfo de guayaquil.



Fuente: INOCAR.

Figura 6: especificaciones técnicas del filamento PETG.

Propiedades físicas	Condición	Método de prueba	Valor típico
Densidad		ASTM D792	1.29 g/cm³
Densidad a Granel			0.73 g/cm³
Viscosidad intrínseca		ISO 1628-5	0.80 dl/g
Absorción de agua		ASTM D570	0.12%
Color	b*	ASTM D6290	≤ 1
	L*	ASTM D6290	≥64

Propiedades mecánicas	Condición	Método de prueba	Valor típico
Módulo de tracción		ISO 527-2	3000 MPa
Estrés de fluencia por tracción		ISO 527-2	53 MPa
Elongación en el rendimiento		ISO 527-2	4%
Resistencia a la tracción		ISO 527-2	53 MPa
Elongación en el estrés		ISO 527-2	4%
Estrés en el descanso		ISO 527-2	19 MPa
Elongación nominal a la rotura		ISO 527-2	31%
Módulo de flexión		ISO 178	2040 MPa
Estrés de flexión		ISO 178	171 MPa
Deflexión a la fuerza de flexión		ISO 178	8.6 mm

Fuente: appa3d.

Planos:

