



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA HIDROELECTRICA
PORTATIL PARA CAUDALES BAJOS EN SITIOS REMOTOS”**

PROPUESTA TECNOLÓGICA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA.

AUTORES:

Klever Isaias Luzón Celi

Jefferson Israel Pérez Bayas

TUTOR:

Ing. Mg.Cristian Fabián Gallardo Molina

LATACUNGA - ECUADOR

OCTUBRE - FEBRERO

2024-2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros Klever Isaias Luzon Celi, con cédula de ciudadanía N° 1724415953 y Jefferson Israel Pérez Bayas con cedula de ciudadanía N° 1850324789 declaramos ser autores de la presente PROPUESTA TECNOLÓGICA: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA HIDROELÉCTRICA PORTATIL PARA CAUDALES BAJOS EN SITIOS REMOTOS.”** Siendo el Ing. Mg.Cristian Fabián Gallardo Molina, tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 18 de Febrero del 2025.

.....
Klever Isaias Luzon Celi
C.C: 1724415953

.....
Jefferson Israel Pérez Bayas
C.C: 1850324789

AVAL DE TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor de la Propuesta Tecnológica sobre el título:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA HIDROELÉCTRICA PORTÁTIL PARA SITIOS REMOTOS CON CAUDALES BAJOS”, de Jefferson Israel Pérez Bayas y Klever Isaías Luzón Celi, de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considerando que dicho Informe Investigativo considero que dicho Informe Investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 19 de febrero de 2025



Msc. Cristian Gallardo

C.C. 0502847692

TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y, por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes Pérez Bayas Jefferson Israel; Luzón Celi Klever Isaías, con el título del Proyecto de titulación **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA HIDROELÉCTRICA PORTÁTIL PARA SITIOS REMOTOS CON CAUDALES BAJOS”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 19 de febrero de 2025

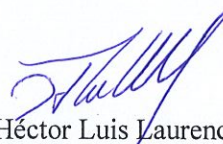
Para constancia firman:



Ing. MSc. Segundo Angel Cevallos Betún

C.C: 0501782437

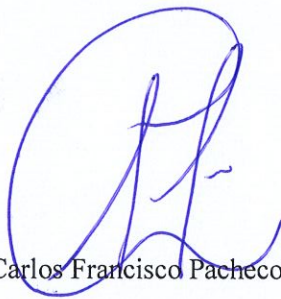
LECTOR 1(PRESIDENTE)



PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso

C.C: 1758367262

LECTOR 1 (MIEMBRO)



Ing. Carlos Francisco Pacheco Mena

C.C: 0503072902

LECTOR 2 (MIEMBRO)

RESUMEN

El proyecto "Diseño y construcción de una hidroeléctrica portátil para caudales bajos en sitios remotos" busca generar energía renovable en comunidades sin acceso estable a electricidad. Se diseñó una turbina hidrocínética tipo Gorlov, optimizada para operar en un canal de bajo caudal en Manzana Pamba, Latacunga. El canal tiene un ancho de 1 metro, una profundidad de 80 cm y una velocidad del agua de 0.6 m/s. La turbina tiene un diseño helicoidal con dimensiones de 40 cm de alto y 36 cm de ancho, utilizando un perfil aerodinámico NACA 0018. Su objetivo es generar 100 W para alimentar 20 focos LED de 5 W. Para ello, se utilizó un sistema eléctrico compuesto por un motor-generador BLDC, un rectificador, un regulador de voltaje y una batería de 12V 4.5Ah, en las pruebas realizadas, la turbina alcanzó 62.1 RPM a 15 cm de profundidad, 68.3 RPM a 20 cm y 83.1 RPM a 25 cm, logrando en este último caso generar 100 W. Se observó que a mayor profundidad, la velocidad de la turbina aumenta debido a un mejor aprovechamiento del flujo de agua. Con esta generación de energía, se pudo iluminar una vereda comunitaria, mejorando la iluminación de la zona.

En conclusión, la turbina Gorlov diseñada es una solución eficiente y viable para la generación de energía en caudales bajos. Se recomienda realizar pruebas a mayores profundidades para optimizar el rendimiento y evaluar el potencial de generación a largo plazo. Este estudio demuestra que la energía hidrocínética puede ser una alternativa económica y sostenible para comunidades rurales, sin necesidad de grandes infraestructuras.

ASBTRACT

The project "Portable Hydroelectric System for Low-Flow Remote Areas" aims to generate renewable energy for communities without stable electricity. A Gorlov-type hydrokinetic turbine was designed for a low-flow canal in Manzana Pamba, Latacunga. The canal is 1 meter wide, 80 cm deep, with a water speed of 0.6 m/s. The turbine has a helical design, 40 cm high and 36 cm wide, using the NACA 0018 profile. The goal is to generate 100 W to power 20 LED lights (5 W each). The system includes a BLDC motor-generator, rectifier, voltage regulator, and a 12V 4.5Ah battery. In tests, the turbine reached 62.1 RPM at 15 cm depth, 68.3 RPM at 20 cm, and 83.1 RPM at 25 cm, generating 100 W at the deepest level. Deeper water increased the turbine speed, using water energy better. The energy produced was enough to light a community path, improving safety. In conclusion, the Gorlov turbine is an efficient and viable solution for low-flow energy generation. More tests at greater depths are recommended to improve performance and explore long-term potential. This study shows that hydrokinetic energy is a low-cost and sustainable option for rural areas, with no need for big infrastructure.

AVAL DE TRADUCCIÓN

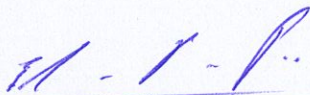
En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA HIDROELÉCTRICA PORTÁTIL PARA SITIOS REMOTOS CON CAUDALES BAJOS”** presentado por **Pérez Bayas Jefferson Israel** y **Luzón Celi Klever Isafías**, egresados de la carrera de **Ingeniería Electromecánica**, perteneciente a la **Extensión La Matriz**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad por lo que autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, 25 de febrero del 2025

Atentamente,



Mg. Pacheco Pruna Edison Marcelo.
DOCENTE DEL CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 0502617350



CENTRO
DE IDIOMAS

INDICE

1. INFORMACIÓN GENERAL	viii
2. INTRODUCCIÓN	1
2.1. Situación problemática	2
2.2. Formulación del problema	2
2.3. Beneficiarios	2
2.3.1. Directos.....	2
2.3.2. Indirectos	2
3. Justificación.....	2
4. OBJETIVOS.....	3
4.1.1. Objetivo general	3
4.1.2. Objetivos específicos.....	3
5. MARCO TEÓRICO	4
5.1. Antecedentes	4
5.2. Clasificación de turbinas hidrocinéticas	5
5.2.1. Árbol Horizontal.....	5
5.2.2. Árbol vertical.....	6
5.2.3. Flujo cruzado (Energía cinética).....	6
5.3. Información de turbina gorlov	6
5.4. Justificación entre turbinas eólicas y turbinas gorlov.	7
5.5. Diámetro de la turbina gorlov	8
5.5.1. Especificaciones típicas del diámetro para una turbina Gorlov.....	8
5.6. Espesor de la turbina gorlov	8
5.6.1. Aspectos generales sobre el espesor de una turbina Gorlov.....	8
5.7. Separación de álabes a álabes	9
5.7.1. Parámetro importante para definir la separación entre álabes.	9
5.7.2. Comparación del movimiento en turbinas eólicas y turbinas Gorlov.....	10

5.8.	Concepto de generador	11
5.8.1.	Tipos de generadores	11
5.8.2.	Características esenciales del generador para Turbina Gorlov.	12
5.9.	Concepto de chumaceras	12
5.9.1.	Tipos de chumaceras.....	12
5.10.	Conexión del sistema eléctrico.....	13
5.10.1.	Componentes del sistema eléctrico.....	13
5.10.2.	Procesos de Conexión Eléctrica.	14
5.10.3.	Desafíos Técnicos en la Conexión Eléctrica.	15
5.10.4.	Impacto y Beneficios.	16
5.11.	ensamblaje.....	16
5.11.1.	Procesos de ensamblaje.	16
6.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	17
6.1.	ubicación y caracterización del sitio de pruebas.....	17
6.1.1.	Caracterización del Sitio de Pruebas	17
6.2.	Software de simulación de turbina y perfil.....	17
6.2.1.	Selección del Software de Simulación: QBlade.	17
6.2.2.	Justificación de la Elección de QBlade sobre otro Software de Simulación.....	17
6.2.3.	Comparación con otro Software de Simulación.	18
6.2.4.	Ventajas de Qblade sobre este software.....	19
6.3.1.	Selección del Software de diseño: FUSIÓN 360.	19
6.3.2.	Justificación de la Elección de Fusión 360 sobre otro Software de Diseño.	19
6.3.3.	Comparación con otros Software de Diseño y Simulación.	20
6.3.4.	Ventajas de Fusión 360 sobre otros Software.....	20
6.3.5.	selección de materiales	20
	Chumacera de pared	22
	Perno galvanizado.....	22

Tuerca galvanizada	22
6.4. Simulaciones de pruebas de ensamble.....	22
6.5. Componentes de ensamble.....	22
6.5.1. Turbina previamente dimensionada a medidas reales.	22
6.5.2. Diseño de la Estructura de Soporte para la Turbina.	23
6.5.3. Diseño de un árbol de transmisión.	24
6.5.4. Selección e Integración de una Chumacera.	25
6.6. fundamentación técnica	25
6.6.1. Perfil de Velocidades en una Acequia.....	25
6.6.2. Medición del Caudal Q.....	26
6.7. Planificación y recolección de información.....	26
6.8. implementación de un sistema eléctrico con generación.....	29
6.8.1. Generación de Energía con Motor-Generador BLDC.....	29
6.8.2. Rectificador de Corriente.....	29
6.8.3. Regulación del Voltaje de Salida.	30
6.8.4. Elevación de Voltaje	30
6.8.5. Aseguramiento del Flujo de Corriente en un solo sentido.....	31
6.8.6. Almacenamiento de energía.	32
6.8.7. Conversión de CC a CA para alimentación de Cargas.	32
6.8.8. Instrumentación y Medición de Parámetros Eléctricos.	33
6.8.9. Características del Acero ASTM A36:.....	33
6.9. proceso de soldadura smaw	33
6.9.1. Parámetros de Soldadura para un tubo de 1 Pulgada de Diámetro y 2 m de Espesor. 34	
6.9.2. Proceso de corte.....	34
6.10. justificación del tamaño de la turbina	35
6.11. análisis de flujo de agua y simulación.....	35

7.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	36
7.1.	dimensionamiento de las palas de la turbina.....	36
7.1.1.	Interpretación de la Gráfica.	36
7.2.	diseño e integración del ensamble completo.	39
7.3.	relación del tamaño de la turbina con el área del canal	39
7.4.	cálculo dl perfil de velocidades en una canal.....	40
7.4.1.	Cálculo de Fijado para el árbol con dos Chumaceras y Turbina.	41
7.4.2.	Obtención de números de Reynolds	42
7.4.3.	Justificación del árbol de transmisión	43
7.4.4.	Justificación de diámetro de turbina.....	44
7.4.5.	Comparación a diferentes velocidades	44
7.4.6.	Cálculo de Voltaje generado en un generador	45
7.4.8.	Costo de fabricación	46
7.4.9.	Tiempo de construcción.....	47
7.4.10.	Relación de tensión en función al número de revoluciones	47
7.4.11.	Comparaciones reales de la velocidad del flujo y las (rev/min).....	48
7.4.12.	Tendencias observadas en las (rev/min)	48
7.4.13.	Importancia de la Ubicación Óptima.....	48
7.4.14.	Descripción de datos reales.	49
8.	CONCLUSIONES.....	51
9.	RECOMENDACIONES	52
10.	Bibliografía.....	53
11.	ANEXOS.....	55
	Manual de Instalación para la Turbina Hidrocinética Tipo Gorlov.	72

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título: “Diseño y construcción de una hidroeléctrica portátil para caudales bajos en sitios remotos”

Fecha de inicio:

Octubre 2024

Fecha de finalización:

Febrero 2025

Lugar de ejecución:

Región: Sierra

Provincia: Cotopaxi

Cantón: Latacunga

Lugar: Manzana Pamba

Facultad que auspicia: Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA)

Carrera que auspicia: Ingeniería Electromecánica

Modalidad de Titulación:

Propuestas Tecnológicas



Proyectos de Investigación



Equipo de Trabajo: Klever Isaías Luzón Celi - Jefferson Israel Pérez Bayas

Tutor de Titulación: Ing. Mg.Cristian Fabián Gallardo Molina

Área de Conocimiento: 07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines / 0713 Electricidad y Energía.

Sub-Área: Ingeniería y profesiones afines.

Línea de investigación: Energías Alternativas y Renovables, Eficiencia Energética y Protección Ambiental.

Sublíneas de investigación de la Carrera: Diseño y construcción de proyectos electromecánico

2. INTRODUCCIÓN

En un mundo donde la demanda de energía continúa creciendo de manera exponencial, especialmente en regiones con limitados recursos energéticos convencionales, la búsqueda de soluciones sostenibles y eficientes es más crucial que nunca, las turbinas hidrostáticas han emergido como una de las tecnologías más prometedoras para generar energía renovable, especialmente en áreas o sectores en los que las opciones de energía eléctrica convencionales, no son viables o no ofrecen cobertura constante.

Dentro de las diversas tecnologías disponibles, las turbinas tipo Gorlov se destacan por su capacidad de operar en condiciones de baja velocidad del flujo de agua, lo que la hace ideales para aprovechamientos hidráulicos en ríos o corrientes de agua de bajo caudal, sin necesidad de grandes infraestructuras.

Las turbinas hidrocínética tipo Gorlov, tiene una evolución de flujo radial, se caracterizan por su diseño innovador de hélices helicoidales, que permiten una mayor eficiencia en la conversión de la energía cinética del agua en energía mecánica, aprovechando incluso corriente de baja velocidad, esta tecnología resulta particularmente relevante en áreas con escasez de acceso a la red eléctrica, donde las soluciones de energía renovable localizadas pueden marcar la diferencia en términos de autosuficiencia energética y desarrollo sostenible [1].

Tener en cuentas las políticas y regulación específicas que existen en nuestra investigación, especialmente en aquellas áreas que enfrenta una escasez de infraestructura energética, analizaríamos un enfoque similar, utilizando las experiencias de otros países como modelo para garantizar una implementación ordenada de la Turbina, particularmente incluir la capacitación de la fuerza laboral local, la gestión sostenible de los recursos hídricos y la creación de incentivos financieros para impulsar proyectos d pequeña escala [2].

En este contexto, el diseño de una turbina hidrocínética tipo Gorlov para el Barrio Manzana Pamba, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, tiene como objetivo principal proporcionar una fuente de energía autónoma y sostenible para el abastecimiento de una batería de 12V para un inversor de 150 W, que permite alimentar las iluminarias de un terreno, utilizando los recursos hídricos disponibles, a pesar de la presencia de una acequia que limita al terreno.

Este proyecto se enfoca en reducir la dependencia de fuentes externas de energía y contribuir al uso de energías limpias, promoviendo la autosuficiencia energética a nivel local y mejorando la calidad de vida del barrio por la seguridad.

2.1. Situación problemática

En muchas regiones del mundo, la dependencia de los combustibles fósiles sigue siendo alta debido a la falta de infraestructura adecuada para las energías renovables. A pesar del crecimiento en tecnologías limpias, la insuficiencia de fuentes renovables impide que estas cubran completamente la demanda energética. Esto agrava el acceso desigual a la energía, ya que las comunidades más vulnerables, especialmente en zonas rurales o países en desarrollo, enfrentan altos costos y baja disponibilidad de electricidad. Esta situación no solo limita el desarrollo económico, sino que también aumenta la contaminación y el impacto ambiental debido al uso continuo de combustibles fósiles.

2.2. Formulación del problema

El camino comunal presenta condiciones de baja visibilidad, lo que representa un riesgo para la movilidad, especialmente para personas de tercera edad, aumentando la incidencia de caídas y accidentes.

2.2.1. Objeto de Investigación:

Turbina hidrocínética Tipo Gorlov.

2.2.2. Campo de Acción:

330000 Ciencias Tecnológicas / 3311 Tecnología de la Instrumentación / 331101 Tecnología de Automatización.

2.3. Beneficiarios

2.3.1. Directos

Personas que habitan en el barrio Manzana Pamba, Cantón Latacunga, Provincia Cotopaxi.

2.3.2. Indirectos

Tesistas de la carrera de ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

3. JUSTIFICACIÓN

La implementación de una turbina hidrocínética tipo Gorlov en el barrio Manzana Pamba, cantón Latacunga, se justifica ante la crítica escasez de infraestructura energética y la inestable dependencia de fuentes externas que limitan el desarrollo local y comprometen la seguridad del barrio, a pesar de la variabilidad del caudal hídrico, incluyendo periodos de acequia, el

aprovechamiento de los recursos disponibles mediante esta tecnología ofrece una solución de energía autónoma.

Las turbinas hidrocínicas, a diferencia de las centrales hidroeléctricas convencionales, no requieren grandes infraestructuras civiles ni la construcción de represas, minimizando el impacto ambiental y social, en particular, se adapta a corrientes de agua en canales naturales o artificiales, transformando la energía cinética del agua en energía eléctrica mediante un generador acoplado.

El diseño y la optimización de la turbina Gorlov son cruciales para maximizar su eficiencia y asegurar un alto coeficiente de potencia, incluso en condiciones de flujo variables, que depende la selección de los materiales, el número de alavés y la metodología de análisis experimental son factores clave para garantizar un rendimiento óptimo, que establece una fuente de energía renovable y autónoma, se impulsa el desarrollo sostenible del barrio, mejorando la calidad de vida de sus habitantes

4. OBJETIVOS

4.1.1. Objetivo general

Diseño de una turbina hidrocínica tipo Gorlov optimizada para bajos caudales, destinada a la generación de energía para la iluminación de una vereda comunitaria, mejorando la seguridad y visibilidad de los transeúntes.

4.1.2. Objetivos específicos

- Analizar el perfil de velocidad del flujo de agua en el canal para determinar la viabilidad del sistema hidrocínico.
- Dimensionar la turbina en función a el caudal y velocidad del agua.
- Implementar el sistema de generación propuesto.
- Generar 100 W para alimentar 10 focos de 5 W.

Tabla 2.1. Sistema de tareas

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados Esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Analizar el perfil de velocidad del flujo del agua.	Medir el caudal y la velocidad del agua en el canal. Elaboración de perfiles de velocidad.	Perfil de velocidad detallado a lo largo del canal.	Medición de velocidad con métodos de perfilado en campo. Tacómetro.
Dimensionar la turbina en función del caudal y velocidad del agua.	Cálculo de caudal disponible. Dimensionamiento de la turbina.	Turbina dimensionada correctamente para las condiciones de flujo del canal.	Software de diseño como Fusión 360 para el diseño de la turbina y la simulación Qblade.
Implementar el sistema de generación propuesto.	Instalación de la turbina. Conexión al sistema eléctrico. Pruebas de funcionamiento	Sistema hidrocínético en funcionamiento. Generación de electricidad a partir del flujo del agua del canal.	Multímetro Tacómetro

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Antecedentes

Las turbinas hidrocínéticas son utilizadas como una alternativa para la generación de energía eléctrica, por medio del aprovechamiento de la energía producida en un flujo de agua; abasteciendo de electricidad y brindando a los pobladores una mejor calidad de vida, cabe destacar que este tipo de turbinas han sido consideradas durante un largo periodo de tiempo como tecnologías limpias, al generar electricidad a partir de recursos renovables.

Sin embargo, con el surgimiento de esta tecnología se han planteado preocupaciones respecto a los efectos que pueden tener las turbinas frente a la fauna acuática y el impacto que pueden

generar al entorno en el que son instaladas, ya que por más limpios que sean los procesos de diseño, construcción y funcionamiento de esta tecnología; al ocupar un ambiente natural se genera un impacto ambiental, a partir del soporte proporcionado por antecedentes y la información bibliográfica disponible en la literatura, se realizó una investigación sobre el estado del arte en lo que respecta a las características, funcionamiento e impactos generados de las turbinas hidrocinéticas, incluyendo su historia y clasificación, haciendo énfasis en las turbinas tipo tornillo de Arquímedes [3].

La generación hidroeléctrica se basa principalmente en el aprovechamiento de las corrientes de flujo en los mares y ríos por medio de turbinas que se conectan a generadores para producir electricidad por energías limpias. En este proceso las turbinas hidrocinéticas dan ciertas ventajas, ya que no se requiere la construcción de presas o canales que distribuyan el agua o la fuercen para determinado sistema. Estas turbinas hidrocinéticas son instaladas sobre estructuras flotantes o ancladas al fondo del lecho acuático, principalmente se deben ubicar cerca de la superficie para aprovechar las máximas velocidades de las corrientes de los flujos, que son aproximadamente el 20% de las corrientes de las fuentes hídricas. La potencia disponible en estas corrientes se calcula mediante la ecuación de potencia por unidad de área [4].

5.2. Clasificación de turbinas hidrocinéticas

Para la realización de la clasificación de las turbinas cinéticas, se analiza primordialmente la estructura de la misma y la técnica que usa para aprovechar la corriente hídrica. Al comparar el eje del rotor con respecto al flujo del agua, se clasifican en Turbinas de Árbol Horizontal, Turbinas de Árbol Vertical y Turbinas de flujo cruzado [5].

5.2.1. Árbol Horizontal

Las THC's operan bajo los mismos principios de las turbinas eólicas, compartiendo además filosofías de diseño similares. El diseño de THCEH comienza desde el dimensionamiento del rotor, lo cual se realiza empleando una ecuación, partiendo desde la cantidad de potencia P de salida requerida o esperada de la turbina, que está dada en términos de la densidad ρ y la velocidad de fluido V ; el área de la sección transversal A barrida por el alabe (modelo de disco); el coeficiente de potencia C_p y la eficiencia del tren de transmisión η , donde el término $C_{p\eta}$ debe ser igual a 21%.

Un parámetro importante en el diseño es la solidez, la cual es la relación entre el paso y la cuerda de los alabes, y debe estar alrededor del 30%, con el fin de tener un buen par de arranque y una alta velocidad relativa. Otro factor importante es el ángulo de torsión del alabe desde la

punta hasta la base, pues un estudio realizado por Lanzafame y Messina sobre estos diseños de alabes para turbinas arroja que un alabe tensionado presenta un mejor rendimiento en comparación con uno que sea totalmente recto; además, hay otros factores de interés, como la selección del perfil hidrodinámico a utilizar. Se deben tomar en cuenta varios aspectos al momento de diseñar una THC [6].

5.2.2. Árbol vertical

Su principal característica es que su eje de rotación se encuentra en posición perpendicular al suelo, tienen la capacidad de adaptarse a cualquier dirección de la corriente de viento por lo que también se les conoce como “Penémonos” que quiere decir todos los vientos, lo que elimina los mecanismos de orientación. A excepción del rotor Darrieus, los aerogeneradores de eje vertical operan con vientos de baja velocidad (200 (REV/MIN)). El modelo del rotor Savonius es el más simple. Consiste en un cilindro hueco partido por la mitad, en el cual sus dos mitades han sido desplazadas para convertirlas en una S; las partes cóncavas de la S captan el viento, mientras que los reversos presentan una menor resistencia al viento, por lo que girarán en el sentido que menos resistencia ofrezcan. Debido a la resistencia al aire de este tipo de rotor, solo puede ser utilizado a bajas velocidades. Las mejores aplicaciones para este tipo de rotor son de tipo mecánico, como el bombeo de agua [7].

5.2.3. Flujo cruzado (Energía cinética)

Son turbinas con el eje perpendicular a la corriente de agua y paralelo a la superficie. Está constituida por un rotor que se asemeja a un tambor, con una sección rectangular de boquilla alongada que es usada para dar dirección a la corriente del agua contra las palabras, las cuales se curvan de forma cilíndrica.

Este tipo de turbinas tienen mejor aplicación en flujos largos de agua y cabezas bajas, por cuanto permiten que el agua fluya en una primera etapa, hacia el interior de las cuchillas y en una segunda cruzando de adentro hacia afuera. La variación de flujo entre las dos etapas, genera pérdidas significativas de choque, razón por lo cual este tipo de turbina es menos eficiente que las convencionales. Puede tener una sección transversal rectangular, facilitando su utilización en matrices de manera más eficiente que las turbinas de flujo axial de sección circular; adicionalmente, tiene la capacidad de generar potencia desde cualquier dirección de flujo perpendicular al eje, haciéndola eficiente para su utilización en corrientes marinas [8].

5.3. Información de turbina gorlov

La turbina hidrocínética tipo Gorlov es una tecnología innovadora y eficiente para la generación de energía renovable a partir de la energía cinética del agua. Esta turbina, desarrollada por el ingeniero ruso Alexander Gorlov, se caracteriza por su diseño de eje vertical y sus palas helicoidales, que permiten aprovechar las corrientes marinas o fluviales de manera eficiente, incluso en condiciones de flujo de agua variable y en áreas de baja velocidad.

El diseño helicoidal de las palas le otorga una mayor capacidad para capturar la energía del agua en cualquier dirección del flujo, lo que la convierte en una opción especialmente útil para ubicaciones donde el movimiento del agua no es constante o tiene variaciones. A diferencia de las turbinas tradicionales de eje horizontal, la turbina Gorlov no requiere un sistema de orientación para ajustarse a la dirección del flujo, lo que simplifica su operación y mantenimiento.

Esta turbina se utiliza principalmente en aplicaciones de energía hidrocínética marina y fluvial, y su diseño robusto y resistente le permite operar de manera eficiente en ambientes marinos agresivos, como zonas costeras y estuarios. Además, su bajo impacto ambiental y su capacidad para generar electricidad de manera continua la convierten en una opción atractiva para el aprovechamiento de las energías renovables en áreas costeras o fluviales.

5.4. Justificación entre turbinas eólicas y turbinas gorlov.

Las turbinas eólicas y las turbinas hidrocínéticas tipo Gorlov representan dos enfoques tecnológicos distintos pero complementarios para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables.

Su justificación radica en la capacidad de convertir la energía cinética de fluidos naturales, como el viento y el agua, en electricidad, adaptándose a las particularidades de cada medio. Las turbinas eólicas aprovechan la energía eólica, un recurso abundante en muchas regiones, mientras que las turbinas hidrocínéticas utilizan la energía de las corrientes de agua, ofreciendo una alternativa valiosa en zonas donde el viento puede ser menos consistente. Ambos tipos de turbinas se consideran tecnologías limpias, con un bajo impacto ambiental en comparación con las centrales hidroeléctricas tradicionales, ya que no requieren grandes infraestructuras civiles que alteren significativamente los ecosistemas.

Las turbinas hidrocínéticas, en particular, evitan la necesidad de construir represas o embalses, reduciendo así los impactos negativos asociados con la inundación de tierras y la alteración de los flujos naturales de agua. El desarrollo de estas turbinas también se alinea con la necesidad de llevar energía eléctrica a zonas no interconectadas, ofreciendo soluciones renovables y factibles para abastecer viviendas rurales y generar energía a baja escala [9].

5.5. Diámetro de la turbina gorlov

El diámetro de una turbina Gorlov varía según el tamaño y la potencia que se desea generar, sus parámetros de diseño de estas turbinas incluye el diámetro del rotor, que juega un papel crucial en la cantidad de energía que la turbina pueda producir [10].

5.5.1. Especificaciones típicas del diámetro para una turbina Gorlov.

Pequeñas escalas (domésticos o de baja potencia):

- El diámetro del rotor puede ser de alrededor de 1 a 3 metros.
- Estas turbinas pueden generar potencias menores (alrededor de unos pocos kW).

Escala media (generación en ríos o canales):

- El diámetro del rotor podría estar en el rango de 3 a 5 metros.
- Estas turbinas generan potencias que oscilan entre 5 kW a 100 kW.

Escala industrial (marina o fluvial de alta capacidad):

- El diámetro del rotor de las turbinas más grande puede variar a 5 a 10 metros o incluso más, dependiendo de la capacidad de generación y la velocidad del flujo del agua.
- Estas turbinas tienen una capacidad de generación que puede superar los 100 kW o más.

El diámetro exacto dependerá de varios factores, la velocidad del flujo del agua, la profundidad en la que se instalará la turbina, el diseño específico de la hélice y la potencia esperada.

Las especificaciones más detalladas para un proyecto, es importante consultar con los fabricantes o diseñadores de turbinas hidrocínicas para obtener dimensionamientos exactos según las condiciones locales de flujo y los requisitos de generación de energía.

5.6. Espesor de la turbina gorlov

El espesor de la turbina Gorlov también varía en función del diseño y las dimensiones específicas de la misma, su fundamentación que el espesor del rotor sea adecuado para asegurar la integridad estructural y la eficiencia operativa de la turbina bajo condiciones de flujo hídrico [11].

5.6.1. Aspectos generales sobre el espesor de una turbina Gorlov.

- Materiales de construcción: El espesor de las palas puede depender del material utilizado. Normalmente, se utilizan materiales resistentes a la corrosión, como el acero

inoxidable o aleaciones especiales, para asegurar la durabilidad en ambientes marinos o fluviales.

- **Diseño de las palas:** El espesor de las palas suele ser más grueso en la base (donde se conecta al eje) y se va reduciendo hacia la punta de la pala. Esto se debe a que las fuerzas que actúan sobre la turbina son mayores en la base, por lo que se necesita más material para soportarlas.
- **Espesor típico:** Aunque varía según las dimensiones de la turbina, el espesor de las palas generalmente oscila entre 5 a 15 cm en las áreas de mayor carga (en la base de la pala) y se va reduciendo a medida que nos acercamos a la punta.

5.7. Separación de álabes a álabes

La separación entre los alabes, un parámetro crítico, impacta directamente en su eficiencia y estabilidad operativa, la separación se establece mediante la disposición angular de los alabes alrededor del eje de rotación, típicamente con una distribución equidistante de 120° para configuraciones de tres alabes. La conversión de energía cinética y minimizando fenómenos adversos como turbulencias e interferencias hidrodinámicas entre los alabes.

Su distancia lineal entre los alabes esta intrínsecamente ligada al diámetro de la turbina y a la geometría helicoidal de los mismo, factores que influyen en la captación de energía y la integridad estructural del sistema, una separación apropiada contribuye a mantener un torque constante, reducir vibraciones y prolongar la vida útil del mecanismo.

La correcta especificación de esta distancia es fundamental para optimizar el rendimiento de la turbina bajo diversas condiciones de operación y asegurar un funcionamiento eficiente en entornos de flujo variable [12].

5.7.1. Parámetro importante para definir la separación entre álabes.

- **Ángulo helicoidal de los alabes:** La configuración helicoidal de los alabes implica una distancia no uniforme entre ellos a lo largo del diámetro de la turbina, dando una inclinación helicoidal modula directamente el espaciamiento y, la eficiencia de la turbina.
- **Diámetro de la turbina:** Establece la escala del espaciamiento inter-álabe, con mayor envergadura exhibirán un espaciamiento incrementando, mientras de menor tamaño requerían separaciones más compactas.

- Régimen de flujo: Incluye la velocidad y tipo de flujo, ejercen influencia sobre la separación óptima. En entornos de flujo elevado, el espaciamiento debe optimizarse para asegura un flujo adecuado y mitigar la generación de turbulencias indeseadas.
- Dimensiones de los álabes: La longitud de los álabes incide en su separación, más extensos demandan una mayor separación para prevenir fenómenos de interferencia hidrodinámica.

5.7.2. Comparación del movimiento en turbinas eólicas y turbinas Gorlov.

Tanto las turbinas eólicas como las turbinas hidrocínicas utilizan el principio de conversión de energía cinética de un fluido en energía mecánica rotacional para la generación de electricidad. Aunque operan en diferentes medios, comparten fundamentos en la forma en que el movimiento del fluido induce la rotación de sus componentes clave [13].

Dinámica de las turbinas eólicas:

- Las turbinas eólicas aprovechan la energía cinética del viento, un fluido de baja densidad, para generar energía.
- El flujo de aire incide sobre los álabes del rotor, diseñados aerodinámicamente para maximizar la captura de energía eólica. La fuerza ejercida por el viento sobre los álabes produce un torque, que induce un movimiento rotacional.
- Este movimiento rotacional se transmite a un generador a través de un eje, donde la energía mecánica se convierte en energía eléctrica. La eficiencia de la conversión depende de la velocidad del viento, que puede ser variable e irregular.

Dinámica de las turbinas hidrocínicas tipo Gorlov:

- Las turbinas hidrocínicas, en particular las de tipo Gorlov, utilizan la energía cinética de las corrientes de agua, un fluido de alta densidad.
- El diseño de los álabes está optimizado para capturar la energía cinética del agua en movimiento, transformándola en energía rotacional. La mayor densidad del agua, en comparación con el aire, permite una transferencia de energía más eficiente, incluso a bajas velocidades de flujo.
- El diseño helicoidal de las turbinas Gorlov facilita la conversión eficiente de la energía cinética del agua en rotación continua, que se transmite a un generador para la producción de electricidad.

Principios comunes en la conversión de energía:

- En ambas tecnologías, el fluido en movimiento (aire o agua) ejerce una fuerza sobre los álabes de la turbina, induciendo un movimiento rotacional. Este movimiento se convierte en energía mecánica, que se utiliza para accionar un generador eléctrico.
- El diseño de los álabes, incluyendo su ángulo y forma, es crucial para optimizar la captura de energía y garantizar una rotación eficiente en función de las características del fluido.

Variaciones en la dinámica según el fluido:

- Aire: Debido a la baja densidad del aire, las turbinas eólicas requieren áreas de barrido mayores (palas largas y finas) para capturar suficiente energía.
- Agua: La alta densidad del agua permite que las turbinas hidrocínicas generen energía significativa incluso con corrientes de baja velocidad. Las turbinas hidrocínicas tipo Gorlov aprovechan esta característica mediante diseños que optimizan la captura de energía en entornos de baja corriente.

5.8. Concepto de generador

El generador es un componente esencial de los sistemas de turbinas hidrocínicas, su función es convertir la energía mecánica, capturada por los álabes de la turbina (en este caso, la turbina Gorlov), en energía eléctrica aprovechable, para sistemas hidrocínicos deben cumplir con ciertas características para garantizar un rendimiento eficiente y robusto.

Un generador para ser utilizado en turbinas hidrocínicas tipo Gorlov es un dispositivo electromecánico diseñado para convertir la energía mecánica que se captura a partir del movimiento del agua en energía eléctrica, como las turbinas Gorlov, aprovechan el flujo de agua (ya sea en ríos, mareas o corrientes marinas) para generar movimiento rotacional en las palas de la turbina. Este movimiento rotacional se transmite al generador, que realiza la conversión a electricidad [14].

5.8.1. Tipos de generadores

- Generadores síncronos: Son los generadores más comunes en aplicaciones hidroeléctricas y se utilizan cuando se requieren un voltaje constante en la red eléctrica, su función es una velocidad constante y requieren de un sistema de control preciso [15].
- Generadores asíncronos (inducción): Son más sencillos de implementar y se utilizan principalmente en aplicaciones en la que flujo de agua es variable, su ventaja

no necesita un sistema de excitación, lo que los hace más fáciles de mantener, son sensibles a las fluctuaciones de velocidad del flujo de agua [16].

- Generadores de imán permanente (PMGs): Se utiliza en turbinas hidrocineticas debido a su eficiencia y robustez, los imanes permanentes permiten la generación de electricidad sin la necesidad de un sistema de escobillas o un excitador, lo que mejora la fiabilidad y reduce el mantenimiento.

5.8.2. Características esenciales del generador para Turbina Gorlov.

- Resistencia al Entorno: Los generadores que se utilizan deben ser altamente resistentes a la corrosión debido a su exposición constante del agua y otros elementos corrosivos en entornos, que implica el uso de materiales como acero inoxidable y recubrimientos especiales.
- Eficiencia en velocidad variables: una característica común de las corrientes o fluviales, requiere generadores capaces de mantener una eficiencia constante a diferentes niveles de velocidad de rotación de la turbina.
- Facilidad de mantenimiento: El mantenimiento es crucial, especialmente en entornos donde el acceso puede ser difícil, los generadores de imán permanente (PMGs) y los generadores asíncronos son más fáciles de mantener debido a su diseño simplificado.

5.9. Concepto de chumaceras

Las chumaceras son rodamientos montados que son usados para brindar apoyo a ejes de rotación. Este tipo de cojinetes son colocados en línea paralela al eje del árbol. Su diseño les permite proporcionar un gran apoyo a la rotación, especialmente en el manejo de cargas que pueden ir desde ligeras hasta pesadas, por lo que son ampliamente utilizados en bombas y transportadores.

Este tipo de rodamientos cuentan con un diseño auto lubricante, tienen un depósito que les sirve para almacenar lubricante, de esta forma no requieren de lubricación externa constante para su óptimo funcionamiento, esto permite el ahorro de tiempo en paradas para lubricación y mantenimiento de los equipos, su depósito de lubricante amplía los intervalos de lubricación por lo que además alarga la vida útil del cojinete [17].

5.9.1. Tipos de chumaceras

Los tipos de chumaceras, cada una diseñada para cumplir funciones específicas en maquinaria y equipos, donde se presenta los tipos de chumaceras y sus características [18].

- Chumacera Tensora: Tienen forma en T y permiten ajustar la tensión mediante una fijación especial, la aplicación común utilizada en cintas transportadoras para alinear bandas y ejes, asegurando que la banda se mantenga centrada.
- Chumacera de Pared (Flanche): Conocido como chumacera cuadrada o de cuatro huecos, se fija a la máquina con pernos en cada esquina, sus características diseñadas por altas temperaturas y velocidades, es adecuada para aplicaciones industriales.
- Chumacera Ovalada: Conocida como ojo de pescado, tiene dos huecos paralelos al eje de transmisión, la ventaja permite su calibración según el uso, lo que le hace versátil en diversas aplicaciones.
- Chumacera de Pedestal: Llamada chumacera de piso o pie; cuenta con ojeras a ambos lados para ser fijada por pernos, su característica su facilidad de instalación y con alta capacidad de carga, es ideal para soportar ejes rotativos.
- Chumacera Base Roscada: Se sujeta desde la parte inferior hacia arriba y no tiene orejas, mediante su aplicación se utiliza en situaciones donde el espacio es limitado o se requiere un montaje específico.

5.10. Conexión del sistema eléctrico

La parte fundamental para asegurar que la energía captada por el rotor de la turbina se transforme eficientemente en electricidad utilizable y se conecte adecuadamente a la red eléctrica o al sistema de almacenamiento de energía. Esta etapa implica una serie de decisiones técnicas que incluyen la selección de componentes eléctricos, el diseño de la conexión y los controles necesarios para gestionar la salida de energía.

5.10.1. Componentes del sistema eléctrico.

- Generador Eléctrico BLDC (Brushless DC): Es un motor eléctrico sin escobillas para la conversión electromagnética, eliminando el uso de escobillas y conmutadores, lo que minimiza el desgaste mecánico y optimiza la eficiencia operativa. El funcionamiento se fundamenta en la interacción entre el rotor, que está impulsado por imanes permanentes, y el estator. La rotación del rotor genera un campo magnético variable que induce una corriente eléctrica en el estator. Este tipo de generador es altamente eficiente, fiable y de bajo mantenimiento. Se utiliza en aplicaciones como generación de energía renovable, sistemas eólicos y dispositivos portátiles como drones y bicicletas eléctricas.
- Power booster: Es un dispositivo diseñado para aumentar la potencia de salida de un sistema o componente eléctrico. Su función principal es mejorar la eficiencia y

capacidad de un sistema, incrementando la tensión o corriente disponible sin que el sistema original sufra daños o pérdida de rendimiento.

Este dispositivo puede ser utilizado en una variedad de aplicaciones, como en sistemas de energía renovable (como paneles solares o turbinas eólicas), equipos electrónicos, y vehículos eléctricos. Un power booster puede ser un convertidor DC-DC, un amplificador de señal, o un dispositivo similar que optimiza la entrega de energía en un sistema eléctrico.

- **Regulador de voltaje:** Diseñado para mantener una tensión constante en sus salidas, independientemente de las variaciones en la entrada. Su principal función es proteger equipos electrónicos de fluctuaciones en el suministro eléctrico, como picos o caídas de voltaje. Se clasifica en reguladores lineales, que proporcionan voltaje estable, pero con menor eficiencia, y reguladores conmutados, que son más eficientes y permiten un control rápido. Estos dispositivos son esenciales en fuentes de alimentación de equipos electrónicos, asegurando su operación dentro de parámetros seguros y prolongando su vida útil.
- **Diodo ratificador:** Si el objetivo es conectar la turbina a la red eléctrica, se requerirá un sistema de interconexión que incluye un sistema de protección (como fusibles y disyuntores) y un sistema de sincronización para que la energía generada por la turbina se integre sin causar interferencias o daños en la red. Este sistema debe estar diseñado para responder a variaciones en la velocidad del flujo de agua sin causar fluctuaciones de voltaje o frecuencia que puedan afectar la red.
- **Batería de 12 V a 4.5 A/h:** En áreas donde la energía no se conecta a la red eléctrica, o si se quiere maximizar la eficiencia del sistema, se puede integrar un sistema de almacenamiento de energía, como baterías de ion-litio o súper condensadores, que acumulan energía durante los períodos de alta generación. Esta energía almacenada puede utilizarse en momentos de baja producción o cuando la demanda de energía sea mayor [19].

5.10.2. Procesos de Conexión Eléctrica.

- **Generación de Electricidad:** El proceso comienza cuando el rotor helicoidal de la turbina Gorlov gira debido al flujo de agua. Este movimiento se transmite al generador mediante un eje mecánico. La rotación del generador produce energía eléctrica en forma de corriente alterna (CA), que es la primera forma de salida eléctrica de la turbina.

- **Puente rectificador:** Un puente rectificador es un circuito electrónico que se utiliza para convertir la corriente alterna (CA) en corriente continua (CC). Este proceso se conoce como rectificación, y el puente rectificador es uno de los métodos más comunes y eficientes para lograr esta conversión.

El puente rectificador consta de cuatro diodos dispuestos en una configuración específica para permitir que la corriente fluya en una sola dirección, independientemente de la polaridad de la señal de entrada (CA). La configuración del puente asegura que durante ambos ciclos (positivo y negativo) de la corriente alterna, los diodos conductores permitan el paso de corriente, rectificando así la señal.

- **Regulación de la Potencia Generada:** Dado que las corrientes de agua no son constantes, la potencia generada puede variar. El controlador de velocidad o el inversor ajusta automáticamente la energía que se entrega al sistema, asegurando que se mantenga dentro de un rango operativo seguro y eficiente. Los inversores o convertidores también se encargan de la transformación de la corriente alterna generada en la frecuencia y voltaje adecuados para la red.
- **Conexión al Sistema Eléctrico:** La salida de energía generada por la turbina se conecta a un puente rectificador para convertir la energía del generador en energía continua así ya dándonos pasó a tener una corriente específica y maniobrable.
- **Módulos reguladores de voltaje:** El sistema conectado funciona mediante reguladores de voltaje ya que utilizamos un Power boost para elevar el voltaje a lo más alto posible para después esa electricidad llevarla a un regulador de voltaje para que se mantenga estable y la corriente generada suba para cargar mucho así rápido la batería.

5.10.3. Desafíos Técnicos en la Conexión Eléctrica.

- **Variabilidad del Flujo de Agua:** Dado que las turbinas hidrocínicas aprovechan corrientes de agua, que pueden variar en velocidad y dirección, es importante que el sistema eléctrico pueda adaptarse a estos cambios. Los inversores y controladores deben ser capaces de regular la potencia generada para evitar pérdidas de eficiencia.
- **Condiciones Ambientales:** Las turbinas están sometidas a condiciones ambientales extremas (salinidad, temperatura, humedad) que pueden afectar la durabilidad de los componentes eléctricos. Los componentes deben estar protegidos contra la corrosión y otras formas de desgaste.
- **Estabilidad de la Red Eléctrica:** Si la turbina está conectada a una red eléctrica, se debe asegurar que la variabilidad de la generación no cause fluctuaciones de voltaje

o frecuencia que afecten a los consumidores de la red. Esto se puede lograr mediante un control preciso de la potencia generada.

5.10.4. Impacto y Beneficios.

La conexión eléctrica eficiente de una turbina hidrocínética tipo Gorlov contribuye a la generación de energía renovable. Dado que esta tecnología aprovecha las corrientes de agua, la turbina ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la dependencia de fuentes de energía fósil.

La capacidad de operar en áreas con corrientes de agua de baja velocidad y sin grandes infraestructuras hace que las turbinas hidrocínéticas tipo Gorlov sean una opción atractiva para la generación distribuida de energía en comunidades costeras, ríos y otras áreas con recursos hídricos [20].

5.11. Ensamblaje

Involucra varios factores clave que deben ser considerados para asegurar y funcionalidad en la generación de energía a partir de corrientes de agua. La turbina hidrocínética Gorlov es una tecnología renovable que utiliza la energía del movimiento del agua para generar electricidad, destacándose por su capacidad de funcionar en áreas con corrientes de baja velocidad.

5.11.1. Procesos de ensamblaje.

- **Preparación de los componentes:** Los componentes se fabrican de acuerdo a especificaciones precisas, utilizando herramientas y maquinaria especializada. Esto incluye el rotor helicoidal, el generador, los sistemas de acoplamiento, y la estructura de soporte.
- **Montaje del rotor:** El rotor helicoidal se monta sobre un árbol central que se conecta a un generador eléctrico. Se asegura que el rotor gire libremente con la mínima fricción posible.
- **Instalación en el lugar de operación:** La turbina debe instalarse de manera que aproveche al máximo las corrientes de agua del entorno. Esto incluye el montaje sobre una estructura fija en el fondo acuático o flotante, dependiendo de la ubicación y las características del flujo.
- **Conexión eléctrica y prueba de funcionamiento:** Después de la instalación mecánica, se realiza la conexión de la turbina al sistema de distribución eléctrica. Las pruebas iniciales se realizan para verificar que la generación de electricidad se realice según lo esperado.

6. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

6.1. Ubicación y caracterización del sitio de pruebas

En el Barrio Manzana Pamba, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, existe una acequia con un ancho de 1 m, una profundidad de 0,8 m y una velocidad de flujo de 0,6 m/s, lo que genera un caudal de 0,48 m³/s, representando un flujo significativo que puede ser aprovechado para la generación de energía mediante una turbina hidrocínética. Estos valores permiten analizar el potencial energético disponible, dependiendo de la eficiencia del sistema y la potencia aprovechable.

6.1.1. Caracterización del Sitio de Pruebas

- **Medición del Caudal:** Uno de los más comunes es la ecuación de caudal basada en la velocidad del agua y la sección transversal del canal.
- **Perfil del Canal:** Se medirán la profundidad y el ancho en varios puntos para confirmar la uniformidad del flujo.
- **Velocidad del Agua:** Se empleará un método de flotación en un tramo definido para determinar la velocidad del agua.

6.2. Software de simulación de turbina y perfil

6.2.1. Selección del Software de Simulación: QBlade.

La justificación del uso de QBlade es un software especializado en la simulación aerodinámica e hidrodinámica de turbinas de eje vertical y horizontal. Se ha seleccionado debido a las siguientes razones:

- **Modelado de Turbinas de Eje Vertical:** Permite la simulación de turbinas Gorlov, que operan con flujo cruzado o turbulento.
- **Compatibilidad con Perfiles NACA:** Facilita la implementación de perfiles aerodinámicos como el NACA 0018.
- **Resolución de la Dinámica de Fluidos:** Permite la simulación dinámica de fluidos computacional (CFD).
- **Software de Código Abierto:** Permite ajustes personalizados sin costos adicionales.

6.2.2. Justificación de la Elección de QBlade sobre otro Software de Simulación.

La figura 4.1 ilustra la selección de QBlade como software de simulación para la turbina Gorlov con perfil naca 0018 se basa en varias ventajas clave frente a otras herramientas disponibles en el mercado. Una de las razones principales es su acceso gratuito y código abierto, lo que lo hace más accesible en comparación con otras opciones de pago que requieren licencias costosas.

Figura 4.1. Logo de QBlade



6.2.3. Comparación con otro Software de Simulación.

La figura 4.2 muestra el programa ANSYS Fluent (CFD de pago):

- Es una de las herramientas más potentes para simulación de dinámica de fluidos computacional (CFD).
- Sin embargo, su uso requiere una licencia comercial de alto costo, lo que limita su accesibilidad.

Figura 4.2. Logo de Ansys



La figura 4.3 muestra el programa COMSOL Multiphysics (Software multipropósito de pago):

- Permite realizar simulaciones fluido dinámicas y estructurales avanzadas en un solo entorno.
- Su licencia es considerablemente costosa y requiere conocimientos avanzados para su correcta implementación.

Figura 4.3. Logo de COMSOL



6.2.4. Ventajas de Qblade sobre este software.

- Gratuito y de Código Abierto.
- Especializado en Turbinas de Eje Vertical.
- Optimizado para Perfiles NACA.
- Menos Demandante en Recursos Computacionales.

6.3. Software de diseño mecánico

6.3.1. Selección del Software de diseño: FUSIÓN 360.

- Fusión 360 es un software de diseño asistido por computadora (CAD) que permite modelado paramétrico y simulaciones básicas de elementos mecánicos. Se ha seleccionado para el modelado de la turbina Gorlov debido a las siguientes razones:
 - Diseño Paramétrico y Modelado 3D: Permite diseñar con precisión las palas y el cuerpo de la turbina Gorlov, asegurando dimensiones exactas y modificaciones rápidas.
 - Interfaz Intuitiva y Basada en la Nube: Permite trabajar desde distintos dispositivos sin necesidad de hardware de alto rendimiento.
 - Licencia Gratuita para Uso Académico y Personal: A diferencia de otros programas de diseño CAD de alto costo, Fusión 360 ofrece una versión gratuita para estudiantes e investigadores.

6.3.2. Justificación de la Elección de Fusión 360 sobre otro Software de Diseño.

La figura 4.4 muestra, múltiples opciones de software para modelado y simulación, Fusión 360 se ha seleccionado debido a su equilibrio entre funcionalidad, accesibilidad y costo.

Figura 4.4. Logo Fusión 360



6.3.3. Comparación con otros Software de Diseño y Simulación.

La figura 4.5 indica el programa Solidworks (software de pago con licencia comercial):

- Es un software robusto para diseño mecánico y simulaciones estructurales avanzadas.
- No ofrece integración en la nube, lo que limita la flexibilidad de trabajo en distintos dispositivos.
- Su licencia es costosa y requiere una computadora potente.

Figura 4.5. Logo de Solidworks



La figura 4.6 muestra el programa FreeCAD (Software de Código Abierto y Gratuito):

- Alternativa gratuita con modelado paramétrico, pero con menos herramientas avanzadas de simulación y una interfaz menos intuitiva.
- No cuenta con integración en la nube ni soporte nativo para manufactura como Fusión 360.

Figura 4.6. Logo de FreeCAD



6.3.4. Ventajas de Fusión 360 sobre otros Software.

- Interfaz Intuitiva y Fácil de Usar.
- Modelado CAD Avanzado con Herramientas Paramétricas.
- Licencia Gratuita para Uso Educativo.

6.3.5. selección de materiales

La tabla 4.1 indica la resistencia a la corrosión nos indica la capa de zinc protege la tuerca del óxido y la corrosión, lo que la hace ideal para aplicaciones en exteriores, ambientes industriales y estructuras sometidas a humedad.

Tabla 4.1. Características de selección material.

<p>Acero galvanizado ASTM A500</p> <p>Frente al aluminio, que, aunque más ligero, es menos resistente estructuralmente y más propenso a deformaciones, el ASTM A500 mantiene su integridad bajo carga.</p> <p>A diferencia del PVC, que es liviano y resistente a la corrosión, pero estructuralmente débil y poco resistente a impactos, el acero galvanizado proporciona la rigidez necesaria para soportar esfuerzos mecánicos prolongados.</p>	
<p>Hierro dulce ASTM A36</p> <p>Es un componente clave en sistemas mecánicos, utilizado para transferir torque y energía entre diferentes partes de una máquina. El hierro dulce, conocido por su ductilidad, resistencia a la corrosión y facilidad de mecanizado, es ideal para aplicaciones que requieren resistencia y durabilidad. El material ASTM A36, un tipo de acero al carbono, es ampliamente utilizado en la fabricación de ejes debido a sus buenas propiedades mecánicas y su capacidad para soportar cargas moderadas en diversas condiciones operativas.</p>	
<p>Características del PLA (Ácido Poli láctico)</p> <p>El PLA es un polímero termoplástico basado en ácido láctico, derivado principalmente de fuentes renovables como el maíz o la caña de azúcar.</p> <p>Es un material completamente biodegradable, lo que lo convierte en una opción más ecológica en comparación con otros plásticos convencionales.</p> <p>Rigidez: El PLA es relativamente rígido, lo que lo hace adecuado para piezas que no requieren flexibilidad.</p>	

<p>Chumacera de pared</p> <p>En comparación con chumaceras más pequeñas, como la UCF204-20, el UCF205-25 proporciona una mayor capacidad de carga y durabilidad.</p> <p>Frente a modelos más grandes, como la UCF206-30, esta opción permite un equilibrio entre resistencia y compacidad, evitando un sobrepeso innecesario en la estructura de la turbina.</p>	
<p>Perno galvanizado</p> <p>Un perno galvanizado es un tipo de perno que ha sido recubierto con una capa de zinc a través de un proceso de galvanización, lo que le otorga propiedades mejoradas de resistencia a la corrosión y mayor durabilidad. Estos pernos son comúnmente utilizados en entornos exteriores o en aplicaciones donde los componentes están expuestos a la humedad, a la intemperie o a otros elementos que podrían causar oxidación y desgaste prematuro.</p>	
<p>Tuerca galvanizada</p> <p>Una tuerca galvanizada es un elemento de fijación diseñado para ser utilizado junto con pernos o tornillos galvanizados, proporcionando una conexión segura y resistente a la corrosión. La galvanización le otorga una capa protectora de zinc que mejora su durabilidad, especialmente en ambientes expuestos a la humedad, productos químicos o intemperie.</p>	

6.4. Simulaciones de pruebas de ensamble

En el desarrollo de sistemas mecánicos, la verificación del ensamblaje es un paso fundamental para garantizar la compatibilidad, funcionalidad y operatividad de los componentes antes de la fabricación. A través de herramientas de simulación, es posible analizar la interacción entre piezas, detectar interferencias y validar movimientos en un entorno virtual, reduciendo costos y tiempos de desarrollo.

6.5. Componentes de ensamble

6.5.1. Turbina previamente dimensionada a medidas reales.

El diseño de una Turbina Tipo Gorlov en Fusión 360, se realizó de 40 cm de alto y 36 cm de ancho en Fusión 360 como se evidencia en la figura 4.7, seguimos un proceso paso a paso para crear un modelo preciso y funcional.

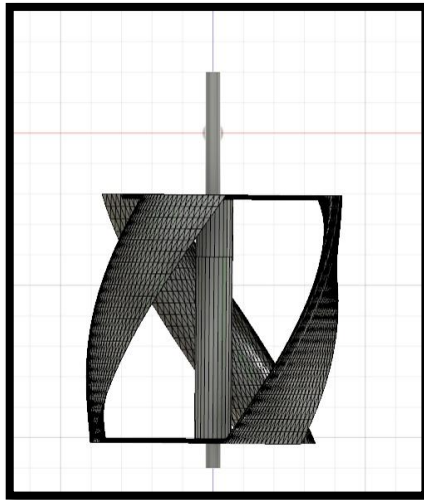


Figura 4.7. Dimensionamiento de la turbina

Creación del Perfil de las Hojas:

- Se dibujó el perfil aerodinámico NACA 0018 en un boceto 2D, asegurando su forma adecuada para maximizar la eficiencia en el flujo de agua.
- Este perfil se posicionó en un círculo que representa la trayectoria helicoidal de las aspas.

Generación de la Geometría Helicoidal:

- Se utilizó la herramienta de barrido helicoidal para dar la curvatura adecuada a las aspas, característica principal de la turbina Gorlov.
- Se ajustó el ángulo y el paso de la hélice para lograr un giro uniforme en el flujo del agua.

Estructura de Soporte y Eje Central:

- Se diseñó un eje cilíndrico en el centro de la turbina para soportar las aspas y permitir su conexión con un generador.
- Se añadieron discos de soporte en la parte superior e inferior para dar estabilidad a la estructura.

6.5.2. Diseño de la Estructura de Soporte para la Turbina.

Para garantizar la estabilidad y funcionamiento de la turbina tipo Gorlov, se diseñó una estructura de soporte de 70 cm de alto y 40 cm de ancho en Fusión 360 como se muestra en la figura 4.8, siguiendo un proceso detallado para asegurar resistencia y facilidad de ensamblaje.

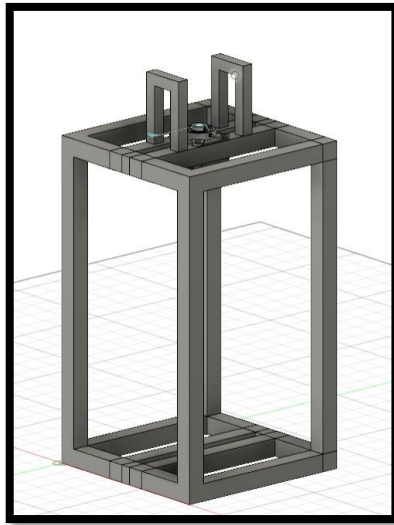


figura 4.8. diseño estructural

Creación del Marco Principal:

- Se dibujó un boceto 2D con las dimensiones base de la estructura.
- Se extrajeron perfiles rectangulares para formar el marco principal, garantizando rigidez y estabilidad.

Base y Anclaje:

- Se consideró la posibilidad de agregar elementos de fijación como pernos o abrazaderas ajustables para adaptarse a diferentes condiciones del terreno.

6.5.3. Diseño de un árbol de transmisión.

Para la turbina Gorlov, se diseñó en Fusión 360 un árbol de transmisión de 2.5 cm de diámetro y 65 cm de largo, como se muestra en la figura 4.9, asegurando su resistencia y compatibilidad con el sistema de generación de energía.

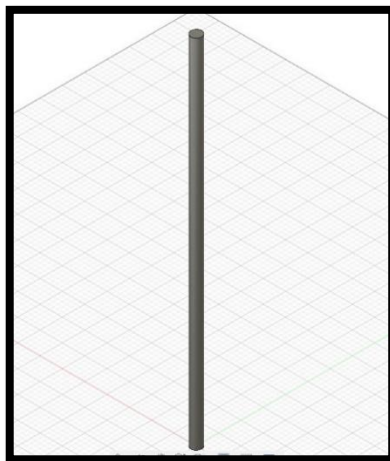


Figura 4.9. Diseño del árbol transmisión

Creación del Eje Principal:

- Se dibujó un cilindro con las dimensiones especificadas (2.5 cm de diámetro y 65 cm de longitud).
- Se seleccionó un material adecuado, como acero inoxidable o aluminio, para garantizar resistencia a la corrosión y esfuerzos mecánicos.

6.5.4. Selección e Integración de una Chumacera.

Para el soporte del árbol de transmisión de 1 pulgada de diámetro, se muestra en la figura 4.10, se utilizó una chumacera estándar, la cual no fue diseñada desde cero en Fusión 360, sino que se importó directamente desde los archivos CAD del fabricante.

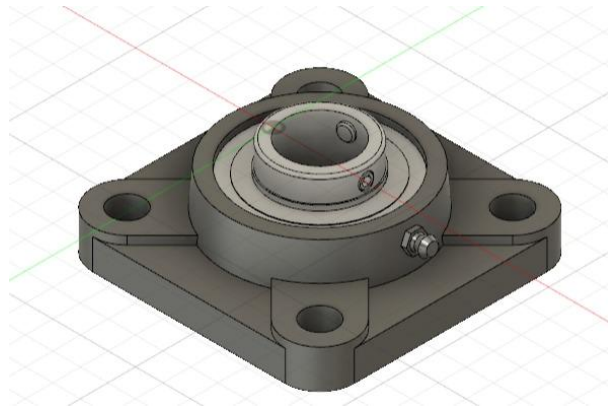


Figura 4.10. Selección de chumacera

Selección del Modelo:

- Se eligió una chumacera con rodamiento tipo pillow block, adecuada para soportar el eje y minimizar la fricción.
- Se consultaron las especificaciones técnicas del fabricante, asegurando compatibilidad con el diámetro del eje (1 pulgada).

Importación del Archivo CAD:

- Los fabricantes suelen proporcionar modelos en formatos 3D como STEP o IGES, los cuales fueron descargados e importados en Fusión 360.
- Esto permite integrar la pieza real en el ensamblaje sin necesidad de modelarla desde cero, asegurando precisión dimensional.

6.6. Fundamentación técnica

6.6.1. Perfil de Velocidades en una Acequia.

- Modelo de Distribución de Velocidades.

El agua en canales abiertos presenta variaciones de velocidad en función de la altura. Cerca del fondo y las paredes, la velocidad es menor debido a la fricción, mientras que en la superficie es mayor. Para caracterizar esta distribución, se utiliza el perfil logarítmico de velocidad:

$$U(y) = \frac{U}{n} \cdot \ln\left(\frac{y}{y_0}\right) \quad (1)$$

Donde:

$U(y)$ = Velocidad a una altura y y desde el fondo: (m/s)

U = Velocidad de fricción: (m/s)

$n = 0,41$ (Constante de von Kármán): adimensional

y_0 = Rugosidad del canal: (m)

6.6.2. Medición del Caudal Q .

$$Q = A \cdot V \quad (2)$$

Donde:

Q = Caudal: (m³/s)

A = Área de la sección transversal del canal: (m²)

V = Velocidad media del agua: (m/s)

6.7. Planificación y recolección de información.

Radio Hidráulico R .

El radio hidráulico es la relación entre el área de flujo y el perímetro mojado:

$$R = \frac{A}{P} \quad (3)$$

Velocidad de Fricción U .

La velocidad de fricción está relacionada con la tensión cortante en el fondo:

$$\tau_0 = \rho g R S \quad (4)$$

$$U = \sqrt{\frac{\rho}{\tau_0}} \quad (5)$$

Perfil de Velocidades.

A partir de la ecuación logarítmica:

$$U(y) = \frac{U}{k} \ln\left(\frac{y}{y_0}\right) \quad (6)$$

Con los valores previamente calculados:

Velocidad de fricción: $U = \text{m/s}$

Constante de von Kármán: $k = \text{adimensional}$

Rugosidad del canal: m

Momento y Fuerzas en las Chumaceras.

El momento M generado por la carga de la turbina sobre las chumaceras se calcula como el peso de la turbina multiplicado por la distancia desde la turbina hasta las chumaceras:

$$M = W_t \cdot d_2 \quad (7)$$

Equilibrio de Fuerzas y Momentos.

Para determinar las reacciones en las chumaceras, usamos el principio de equilibrio:

1. La suma de fuerzas verticales debe ser cero:

$$R_A + R_B = W_t \quad (8)$$

2. Donde $R_A - R_B$ y son las reacciones en las chumaceras superior e inferior, respectivamente.

3. El momento de equilibrio respecto a cualquiera de las chumaceras también debe ser cero. Usaremos el equilibrio respecto a la chumacera superior:

$$M = R_B \cdot d_2 \quad (9)$$

4. Despejando R_B :

$$R_B = \frac{M}{d^2} \quad (10)$$

5. Ahora, usando el equilibrio de fuerzas:

$$R_A = W_t - R_B \quad (11)$$

Esfuerzo Axial:

1. El esfuerzo axial es el estrés generado en el eje debido a la fuerza axial (que es el peso de la turbina):

$$\sigma = \frac{F_a}{A} \quad (12)$$

2. Donde:

$$F_a = W_t \quad (13)$$

Números de Reynolds.

1. Para calcular el Número de Reynolds (Re) de una turbina hidrocínética Gorlov en una acequia, utilizamos la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (14)$$

2. Donde:

$$\rho = \text{kg/m}^3 \text{ (densidad del agua)}$$

$$v = \text{m/s (velocidad del agua en la acequia)}$$

$$D = \text{m (diámetro característico de la turbina, asumiremos)}$$

$$\mu = \text{Pa} \cdot \text{s (viscosidad dinámica del agua)}$$

Justificación de árbol de transmisión:

1. La expresión se basa en la ecuación general del diámetro de un eje sometido a torsión:

$$r = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T}{\pi \cdot tadm}}$$

6.8. Implementación de un sistema eléctrico con generación

6.8.1. Generación de Energía con Motor-Generador BLDC.

La figura 4.11, se muestra la selección el motor-generador invertir WDC0150Y 1M BLDC debido a su alta eficiencia y diseño sin escobillas, lo que reduce el desgaste mecánico y mejora la durabilidad.

Frente otras opciones:

- En comparación con motores de corriente continua con escobillas (brushed DC), este modelo ofrece menor mantenimiento y mayor eficiencia energética.
- Frente a alternadores convencionales, el BLDC tiene una mejor respuesta a variaciones de carga y mayor control de velocidad.
- Conversión de energía mecánica en energía eléctrica trifásica.



Figura 4.11. Motor-Generador

6.8.2. Rectificador de Corriente.

Para la conversión de corriente alterna a corriente continua, hemos optado por un puente rectificador 2W10, como se muestra en la figura 4.12, que permite rectificar la señal generada por el motor:



Figura 4.12. Rectificador de corriente

- Comparado con puentes rectificadores de menor capacidad, como el W06, el 2W10 maneja mayores corrientes y voltajes, asegurando una conversión más estable.
- Frente a diodos rectificadores individuales, el puente rectificador simplifica el diseño y mejora la eficiencia en la rectificación de onda completa.
- Uso de un puente rectificador 2W10 para convertir la corriente alterna trifásica del generador en corriente continua (CC).

6.8.3. Regulación del Voltaje de Salida.

La figura 4.13, se ha seleccionado un integrado el módulo DC-DC HW674 para regular la salida de voltaje y evitar fluctuaciones que puedan dañar otros componentes electrónicos:

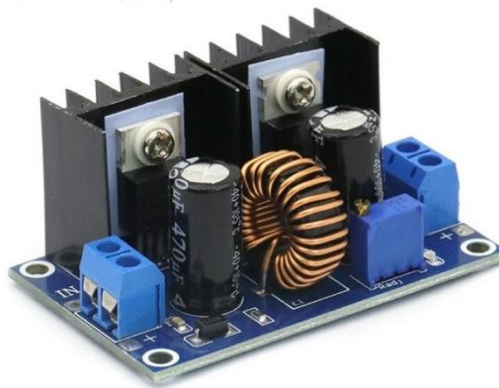


Figura 4.13. Regulación de voltaje

- En comparación con reguladores lineales, este módulo es más eficiente, ya que evita pérdidas de energía en forma de calor.
- Frente a otros convertidores DC-DC menos robustos, el HW674 tiene una mayor capacidad de regulación y estabilidad en el voltaje de salida.
- Implementación del módulo DC-DC HW674 para estabilizar la tensión después de la rectificación.
- Ajuste del voltaje para la carga y almacenamiento en la batería.

6.8.4. Elevación de Voltaje

La figura 4.14 se muestra un módulo DC-DC Step-Up para elevar el voltaje en situaciones donde sea necesario:

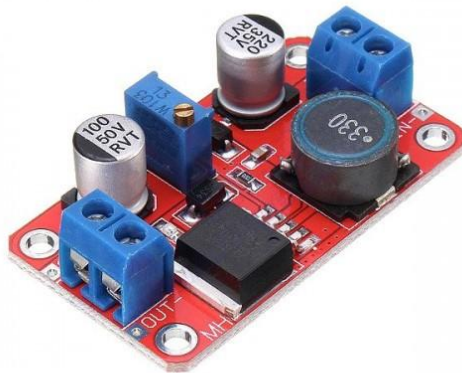


Figura 4.14. Módulo de elevación de voltaje

- Comparado con una fuente de voltaje fija, este módulo permite mayor flexibilidad en la adaptación del sistema.
- Frente a transformadores convencionales, es más ligero y eficiente en la conversión de corriente continua.
- Uso del módulo DC-DC Step-Up para incrementar el voltaje según los requerimientos del sistema.

6.8.5. Aseguramiento del Flujo de Corriente en un solo sentido.

Para mejorar la rectificación y evitar retroalimentaciones indeseadas, se han incorporado diodos MUR420 (4A), que soportan altas corrientes y minimizan pérdidas:



Figura 4.15. Diodo MUR420

- En comparación con diodos estándar como el 1N4007, los MUR420 tienen una recuperación rápida y menor caída de tensión.
- Frente a otros diodos Schottky, estos ofrecen un equilibrio entre velocidad y capacidad de corriente.

- Implementación del diodo rectificador MUR420 (4A) para evitar el retorno de corriente y proteger los componentes.

6.8.6. Almacenamiento de energía.

El sistema utiliza una batería de 12 V 4.5 Ah para almacenamiento de energía que se evidencia en la figura 4.16, permitiendo un suministro estable cuando la turbina no genera suficiente potencia:



Figura 4.16. Batería 12 V

- Comparada con baterías de menor capacidad, como una 12 V 2.3 Ah, esta opción permite una mayor autonomía.
- Frente a baterías de mayor capacidad, como una 12 V 9 Ah, es más ligera y adecuada para el sistema portátil.
- Carga de una batería de 12 V 4.5Ah, que actúa como reserva de energía para alimentar el sistema en ausencia de generación.

6.8.7. Conversión de CC a CA para alimentación de Cargas.

La figura 4.17, se muestra un inversor para la conversión a corriente alterna utilizable, se ha implementado un inversor de 12 V a 110 V (150W, modelo YQ-2000 WD), permitiendo alimentar pequeños dispositivos eléctricos:



Figura 4.17. Inversor

- En comparación con inversores de menor potencia, este modelo permite conectar más dispositivos sin sobrecargas.
- Frente a inversores más grandes, como 300 W o 500 W, es más eficiente y evita desperdicio de energía en sistemas de baja generación.
- Conexión de la batería a un inversor de 12 V a 110 V (150W, modelo YQ-2000WD) para obtener corriente alterna a 110 V.

6.8.8. Instrumentación y Medición de Parámetros Eléctricos.

Multímetro digital para mediciones de voltaje y corriente:

Métodos de medición

1. Voltaje en CC (VDC): Se mide colocando el multímetro en paralelo con la salida de cada módulo de conversión (rectificador, regulador, step-up y batería).
2. Corriente en CC (ADC): Se mide colocando el multímetro en serie en el circuito antes de la batería y antes del inversor.
3. Corriente en el inversor: Se mide con una pinza a perimétrica de CC en la entrada del inversor para conocer el consumo de la batería.

6.8.9. Características del Acero ASTM A36:

La composición química del acero A36 tiene un bajo contenido de carbono (generalmente alrededor del 0.26% de carbono), lo que le otorga una buena capacidad de soldabilidad, confortabilidad y capacidad de endurecimiento.

Propiedades mecánicas:

- Resistencia a la tracción: Aproximadamente 400-550 MPa.
- Límite elástico: Alrededor de 250 MPa.
- Alargamiento: Al menos 20% en 200 mm de longitud.
- Aplicaciones: Este acero se utiliza en una amplia gama de aplicaciones estructurales, como vigas, columnas, puentes, y en la fabricación de equipos y maquinaria. Es ideal para estructuras que requieren un material de alta resistencia sin una necesidad extrema de endurecimiento.

6.9. Proceso de soldadura smaw

Para la fabricación y ensamblaje, hemos utilizado una soldadora SMAW (Soldadura por Electrodo Revestido) debido a su versatilidad y facilidad de uso en trabajos estructurales:

La soldadura SMAW (Shielded Metal Arc Welding), como se evidencia en la figura 4.18, también conocida como soldadura manual por arco con electrodo revestido, es un proceso en el que un electrodo consumible recubierto genera el arco eléctrico y la fusión del material base. La escoria generada por el recubrimiento del electrodo protege la soldadura durante el proceso de enfriamiento.



Figura 4.18. Soldadura

- Comparada con la soldadura MIG, la SMAW no requiere gas protector y es más adecuada para trabajos en exteriores, lo que la hace ideal para la construcción de la turbina.
- Frente a la soldadura TIG, que ofrece mayor precisión, pero es más lenta y requiere mayor destreza, la SMAW permite un ensamblaje más rápido y eficiente en estructuras de acero.

6.9.1. Parámetros de Soldadura para un tubo de 1 Pulgada de Diámetro y 2 m de Espesor.

Electrodo recomendado:

- Tipo: E6011
- Diámetro: 2.0 mm (5/64") o 2.5 mm (3/32")

Corriente de soldadura:

- Para electrodo de 2.0 mm: 40 - 75 A

6.9.2. Proceso de corte.

La figura 4.19, se selecciona una amoladora común para los cortes y desbastes de las piezas metálicas, asegurando acabados precisos y adecuados para la soldadura.

El corte de un tubo galvanizado a 45° con una amoladora angular normal es un proceso que requiere precisión y cuidado para evitar cortes irregulares o desperdicio de material. Este procedimiento se usa comúnmente en estructuras metálicas, marcos, barandas y soportes.



Figura 4.19. Amoladora

- A diferencia de herramientas como la sierra de banco, que aunque precisa es menos versátil para cortes en distintos ángulos, la amoladora permite mayor flexibilidad en el trabajo.
- Frente a un esmeril de banco, que está limitado a trabajos estacionarios, la amoladora es portátil y facilita la preparación de piezas en diferentes ubicaciones.
- Herramientas y Materiales Necesarios
- Escuadra de 45°
- Marcador indeleble o lápiz de marcado

Para cortar un tubo galvanizado a 45° con una amoladora angular normal, es esencial medir y marcar correctamente, sujetar bien el material, usar un disco de corte fino, y realizar un corte progresivo sin forzar la herramienta.

6.10. Justificación del tamaño de la turbina

Las dimensiones de la turbina deben permitir:

- Aprovechar una buena porción del flujo sin bloquear excesivamente la acequia
- Maximizar la captura de energía sin generar resistencia excesiva.
- Mantener un diseño compacto y portátil para fácil instalación en ubicaciones remotas.

Para justificar estas dimensiones, podemos analizar la ocupación de la turbina en la acequia y su relación con el área del flujo.

6.11. Análisis de flujo de agua y simulación

Se interpretó el flujo y simulación que nos permite evaluar su rendimiento y eficiencia en condiciones específicas de operación, que caracteriza por su geometría helicoidal, aprovechando la energía del flujo de agua mediante el uso de la fuerza de corriente de agua, a través de simulaciones utilizando software Qblade, es posible observar cómo interactúa las corrientes.

Esto permite optimizar el diseño de la turbina, ajustando parámetros como el ángulo del alavés, la forma de hélices, y la orientación respecto al flujo para maximizar la captación de energía.

7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

7.1. Dimensionamiento de las palas de la turbina.

- Las turbinas se dimensionan usando estas imágenes porque nos ayudan a entender cómo el aire o el agua fluyen alrededor de las aspas (álabes de turbina), permitiéndonos optimizar su diseño para generar más energía.
- Las gráficas obtenidas en alabe representan los coeficientes aerodinámicos del perfil Naca 0018 en función del ángulo de ataque (α). Se interpretó estos parámetros y su significado en el contexto de una turbina hidrocínética como la Gorlov.
- Coeficiente de Sustentación.
- Coeficiente de Sustentación (CL).
- El coeficiente de sustentación (CL) es una medida adimensional que representa la fuerza de sustentación generada por un perfil aerodinámico en relación con la densidad del fluido, la velocidad y el área de referencia.

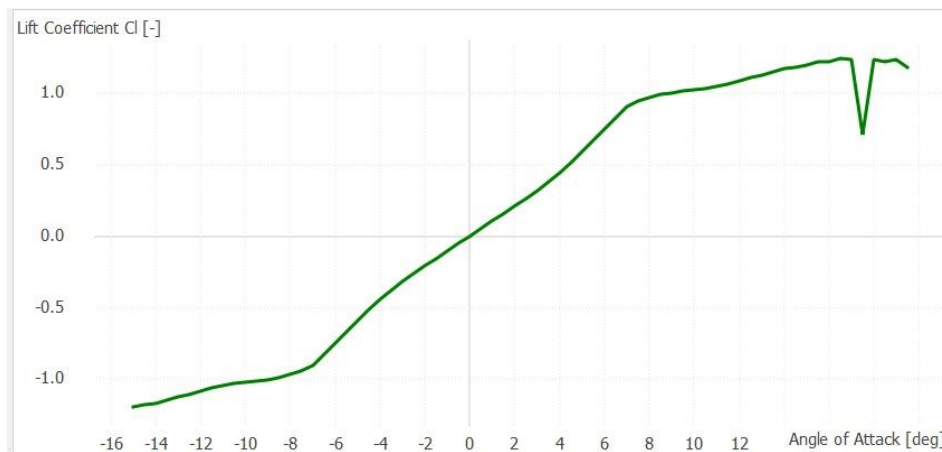


Figura 5.1. Simulación del coeficiente de sustentación

7.1.1. Interpretación de la Gráfica.

Se analizó el ángulo de ataque (α) aumenta, CLC_LCL, que se muestra en la figura 5.1, también aumenta de manera casi lineal hasta un valor máximo cercano a 12°.

Se observa una caída brusca en CL, lo que indica el fenómeno de pérdida de sustentación (stall). Esto sucede cuando el flujo se separa del perfil, reduciendo drásticamente la sustentación.

- Coeficiente de arrastre: El coeficiente de arrastre (CDC_DCD) es una medida adimensional que representa la fuerza de resistencia ejercida por el fluido sobre el perfil aerodinámico.

Para ángulos de ataque pequeños CD es bajo, lo que indica que el perfil tiene baja resistencia al avance, lo cual es ideal para mejorar la eficiencia.

A medida que α aumenta, el arrastre crece lentamente hasta aproximadamente 12° , donde de repente experimenta un pico muy pronunciado.

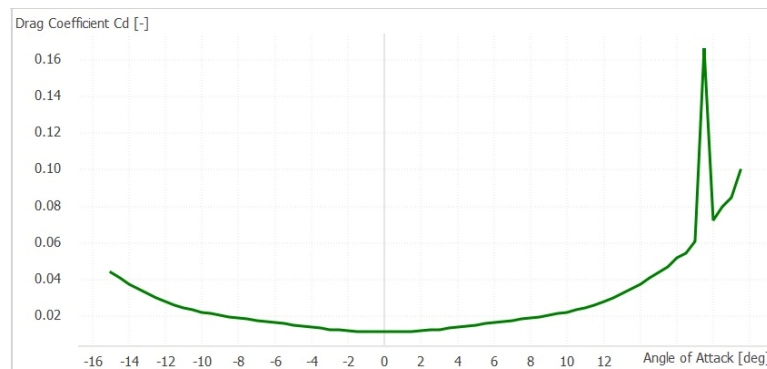


Figura 5.2. Simulación del coeficiente de arrastre

Los resultados obtenidos en QBlade muestran que se muestra en la figura 5.2, el perfil NACA 0018 tiene buen rendimiento aerodinámico para ángulos de ataque entre 10° donde la relación sustentación/arrastre es óptima.

Para ángulos superiores a 12° , el flujo se separa y se produce una caída de sustentación junto con un aumento drástico en el arrastre, lo que reduce la eficiencia de la turbina.

- Capa Límite ("Boundary Layer"): Muestra la evolución de la capa límite sobre el perfil alar. Las líneas rojas indican el crecimiento de esta capa a lo largo del perfil. Si la capa límite se separa del perfil como se muestra en la figura 5.3, se puede generar pérdida de eficiencia aerodinámica.

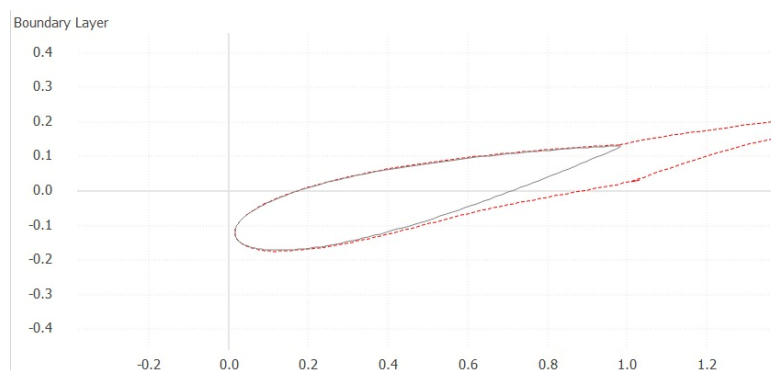


Figura 5.3. Simulación de la Capa de límite

Interpretación:

1. La línea negra representa la forma del perfil.
2. Las líneas rojas discontinuas indican el crecimiento de la capa límite en la superficie superior e inferior.
3. En la parte posterior del perfil se observa un incremento en la separación de la capa límite, lo que puede indicar desprendimiento de flujo, lo que afecta la eficiencia del perfil.
4. Muestra la distribución de la capa límite alrededor del perfil alar.

Permite identificar regiones de separación del flujo y evaluar mejoras en el diseño del perfil, optimizando el rendimiento y reduciendo el arrastre aerodinámico en la turbina.

- Distribución de Presión ("Pressure Distribution"): Se representó cómo la presión varía a lo largo del perfil. Las líneas rojas muestran zonas de alta presión (flujo más lento), y las azules, zonas de baja presión (flujo más rápido) como se evidencia en la figura 5.4. Una mayor diferencia de presión genera más sustentación.

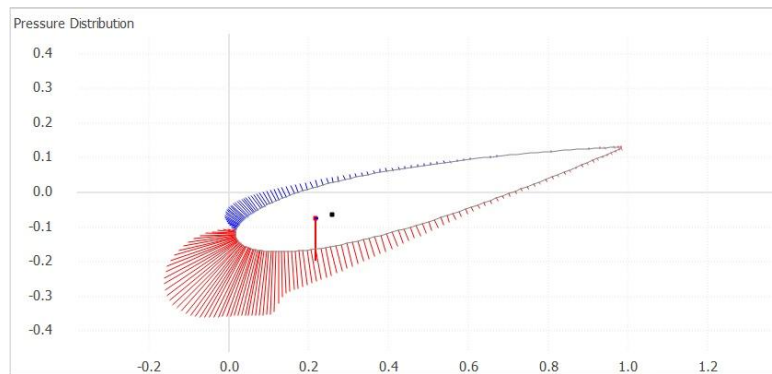


Figura 5.4. Simulación de distribución de presión

Interpretación:

1. Representa la distribución del coeficiente de presión (C_p) sobre el perfil.
2. Las líneas rojas y azules indican el campo de presión:
3. Rojo: zonas de mayor presión (baja velocidad).
4. Azul: zonas de menor presión (alta velocidad).
5. La mayor diferencia de presión ocurre cerca del borde de ataque.

Ayuda a determinar la eficiencia del perfil alar, permitiendo ajustar el ángulo de ataque para maximizar la sustentación y minimizar la resistencia, lo que mejora el desempeño de la turbina Gorlov en tu proyecto de energía hidroeléctrica portátil.

7.2. Diseño e integración del ensamble completo.

Para validar el funcionamiento del sistema hidroeléctrico portátil, se realizó el ensamblaje completo en Fusión 360 como se muestra en la figura 5.5, integrando todos los componentes clave: turbina Gorlov, estructura de soporte, árbol de transmisión y chumaceras.

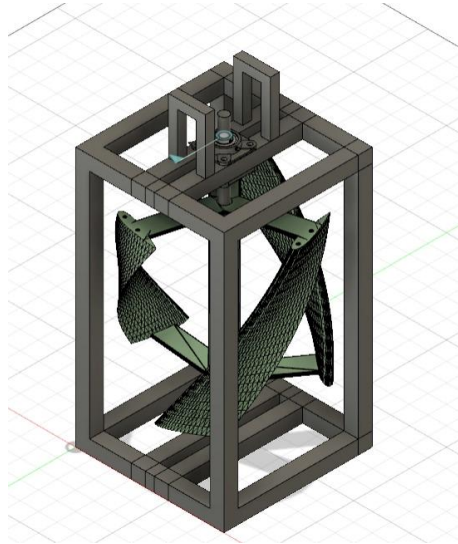


Figura 5.5. Ensamble completo

Integración de la Turbina Gorlov:

- Se alineó correctamente con el eje de transmisión para garantizar una rotación eficiente con el flujo de agua.

Instalación del Árbol de Transmisión:

- Se insertó el eje de 2.5 cm de diámetro y 65 cm de largo a través de las chumaceras, asegurando que quede bien alineado.

Posicionamiento de las Chumaceras:

- Se importaron los modelos CAD prediseñados de las chumaceras y se montaron sobre la estructura.

Montaje de la Estructura de Soporte:

- Se ensambló la estructura de 70 cm x 40 cm, diseñada para soportar la turbina y el eje de transmisión.

Este ensamble en Fusión 360 nos permite visualizar el sistema en su totalidad, verificar su compatibilidad y optimizar el diseño antes de la fabricación, asegurando una instalación eficiente en el entorno de prueba.

7.3. Relación del tamaño de la turbina con el área del canal

La sección transversal de la acequia es:

$$\text{Aacequia} = \text{ancho} \times \text{profundidad} = 1,00 \cdot 0,80 = 0,80m^2 \quad (16)$$

El área efectiva que ocupa la turbina es:

$$A_{\text{turbina}} = \text{altura} \times \text{diametro} = 0,40 \cdot 0,36 = 0,144m^2 \quad (17)$$

La turbina ocupa un 18% del área del flujo total, lo que significa que:

- No bloquea excesivamente el canal, permitiendo que el flujo pase libremente.
- Se mantiene un buen balance entre captación de energía y mínima obstrucción.

7.4. Cálculo dl perfil de velocidades en una canal

Para analizar el comportamiento del flujo en un canal de 80 cm de profundidad y 1 metro de ancho, se determina el perfil de velocidades considerando la influencia de la fricción en el fondo y las paredes laterales. Donde su profundidad es 80 cm y el ancho 100 m, su velocidad medio flujo es 0.6 m/s y la pendiente de longitudinal del canal es 0,001.

- Cálculo del Radio Hidráulico R.

El radio hidráulico es la relación entre el área de flujo y el perímetro mojado con los datos obtenidos son:

$$A = 0.8 \times 1 = 0,8 m^2 \quad (18)$$

$$P = 1 + 2(0,8) = 2.6 m \quad (19)$$

$$\frac{0.8}{2.6} = 0,308 m$$

Cálculo de la Velocidad de Fricción U.

La velocidad de fricción está relacionada con la tensión cortante en el fondo con los datos obtenido es:

$$\tau_0 = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,308 \cdot 0,001 = 3,02 Pa \quad (20)$$

$$U = \sqrt{\frac{\rho}{\tau_0}} \quad (21)$$

$$U = \sqrt{\frac{1000}{3.02}} = 0,055 m/s$$

- Cálculo del Perfil de Velocidades

A partir de la ecuación logarítmica:

$$U(y) = \frac{U}{k} \ln\left(\frac{y}{y_0}\right) \quad (22)$$

Con los valores previamente calculados:

Velocidad de fricción: $U = 0,055 \text{ m/s}$

Constante de von Kármán: $k = 0,41$

Rugosidad del canal: $0,001 \text{ m}$

Tabla 5.1. Perfil de velocidad

Altura y (m)	0,01	0,05	0,10	0,30	0,50	0,70	0,80
Velocidad U(y) (m/s)	0,12	0,25	0,34	0,47	0,54	0,58	0,60

7.4.1. Cálculo de Fijado para el árbol con dos Chumaceras y Turbina.

Dos chumaceras en la parte superior, separadas por un tubo cuadrado de 1 pulgada (que actúa como soporte estructural) y una turbina de 4 kg suspendida en la parte inferior. El análisis de las fuerzas y los momentos se centrará en cómo estas fuerzas afectan a las chumaceras y al eje. Sus datos iniciales son Masa de la Turbina de 4 kg, Aceleración de la gravedad es 9.81 m/s^2 , Longitud del eje es 0.65, Peso de la turbina de 13,74 N, Posición de la Turbina es 0,05 parte inferior, Posición de las chumaceras de 0,0254 m o 1 pulgada y Distancia total desde el extremo inferior hasta el punto de las chumaceras de 0,60 m.

- Cálculo de Momento y Fuerzas en las Chumaceras.

El momento M generado por la carga de la turbina sobre las chumaceras se calcula como el peso de la turbina multiplicado por la distancia desde la turbina hasta las chumaceras:

$$13,74\text{N} \cdot 0,60\text{m} = 8,244\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} \quad (23)$$

- Equilibrio de Fuerzas y Momentos.

Para determinar las reacciones en las chumaceras, usamos el principio de equilibrio:

$$\frac{8,244}{0,60} = 13,74 \text{ N} \quad (24)$$

1. Ahora, usando el equilibrio de fuerzas:

$$13,74 - 13,74 = 0 \text{ N} \quad (25)$$

Esto indica que toda la carga está siendo soportada por la chumacera inferior, mientras que la chumacera superior no tiene una reacción significativa en este caso, lo que se sugiere que la turbina está más cerca de la chumacera inferior.

- Cálculo del Esfuerzo Axial.

El esfuerzo axial es el estrés generado en el eje debido a la fuerza axial (que es el peso de la turbina):

$$13,74 \text{ N} \quad (26)$$

- El área de la sección transversal:

$$A = 5,07 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (27)$$

$$\sigma = \frac{13,74}{5,07 \cdot 10^{-4}} = 27,1 \cdot 10^3 \text{ Pa} = 27,1 \text{ kPa} \quad (28)$$

7.4.2. Obtención de números de Reynolds

Para calcular el Número de Reynolds (Re) de una turbina hidrocínética Gorlov en una acequia, utilizamos la siguiente ecuación:

- Donde:

$$\rho = 1000 \text{kg/m}^3 \text{ (densidad del agua)}$$

$$v = 0,60 \text{m/s} \text{ (velocidad del agua en la acequia)}$$

$$D \text{ (diámetro característico de la turbina } 36 \text{ cm} = 0,36 \text{ m)}$$

$$\mu = 0,001 \text{Pa} \cdot \text{s} \text{ (viscosidad dinámica del agua)}$$

- Cálculo del Número de Reynolds
- Sustituyendo los valores en la ecuación:

$$\mathbf{Re} = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,60 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,36 \text{ m}}{0,001 \text{Pa} \cdot \text{s}} \quad (29)$$

$$\mathbf{Re} = \frac{216}{0,001} = 216,000$$

- $Re > 4000$ indica flujo turbulento (lo cual es el caso aquí).

7.4.3. Justificación del árbol de transmisión

Radio para el árbol de transmisión.

Donde:

1. d = diámetro del eje (m o mm)
2. T = torque aplicado (Nm)
3. τ_{adm} = esfuerzo cortante admisible del material (Pa o MPa)
4. π = constante matemática

$$r = \sqrt[3]{\pi \cdot \frac{2,563 \text{ Nm}}{2 \cdot \frac{350 \text{ MPa}}{2} \cdot 10^6}} \cdot 1000 = 12,70 \text{ mm} \quad (30)$$

Se identifica que:

1. $T=563 \text{ Nm}$ → Es el torque transmitido.
2. $\tau_{adm}=350 \text{ MPa}$ (Megapascals) → Esfuerzo cortante admisible del material.
3. Multiplicación por 1000 → Convierte el resultado de metros a milímetros.

4. El resultado obtenido es 12.70 mm, lo que equivale aproximadamente 1 pulgada = 25.4 mm.

Factor de seguridad:

El diámetro calculado (12.7 mm) es el mínimo teórico para soportar el torque aplicado sin exceder el esfuerzo cortante admisible.

7.4.4. Justificación de diámetro de turbina.

Las dimensiones de la turbina Gorlov mencionadas (40 cm de altura y 36 cm de ancho) son adecuadas para un sistema de pequeña escala, como el que estás desarrollando en el canal de riego, debido a los siguientes factores:

- Condiciones del flujo de agua: La turbina Gorlov es particularmente eficaz en sitios con bajas velocidades de flujo y agua con movimientos suaves, como las que suelen encontrarse en canales de riego de pequeña escala. El flujo en estas condiciones no es tan potente como el de ríos o grandes cuerpos de agua, por lo que se requieren turbinas más pequeñas que puedan aprovechar estas características de flujo de manera eficiente sin necesidad de grandes dimensiones.
- Disponibilidad de espacio y facilidad de instalación: Las dimensiones más pequeñas permiten que la turbina se adapte mejor a entornos donde el espacio es limitado. Además, una instalación más compacta es más fácil de mantener y transportar, lo cual es crucial en zonas remotas. En este caso, el diseño más pequeño se ajusta mejor a las limitaciones del canal de riego y su entorno.

7.4.5. Comparación a diferentes velocidades

- Velocidades referenciales:

Tabla 5.2. Comparación de velocidad

Velocidad (m/s)
0,60
0,80
1,00
1,20
1,50

- Velocidad respecto al Número de Reynolds:

Tabla 5.3. Numero de Reynolds

Velocidad (m/s)	N (rev/min)
0,60	216
0,80	288
1,00	360
1,20	432
1,50	540

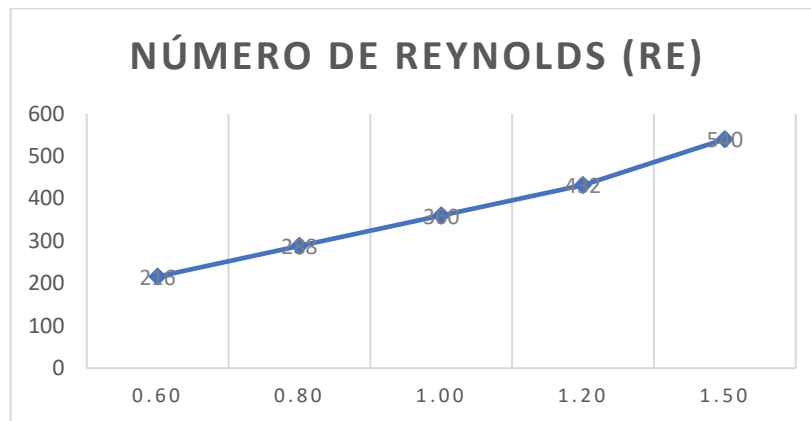


Figura 5.6. Gráfico de números de Reynolds

7.4.6. Cálculo de Voltaje generado en un generador

Tenemos que considerar que la relación entre la velocidad de rotación y el voltaje generalmente sigue una proporcionalidad directa. Esto significa que, si a 80 (rev/min) el generador genera 6V, el voltaje generado a diferentes (rev/min) debería ser proporcional.

7.4.7. Relación entre Profundidad y Potencia Generada

Los datos obtenidos muestran que la turbina alcanza su máxima generación de energía cuando está sumergida a 25 cm, logrando producir los 100 W necesarios para alimentar los 20 focos de 5 W cada uno.

- A 25 cm, la turbina alcanzó 83.1 (rev/min), permitiendo generar la potencia necesaria para cubrir la demanda de iluminación.
- Los resultados confirman que una mayor profundidad mejora la eficiencia de la turbina, ya que el flujo en niveles más bajos tiene mayor velocidad y energía disponible.

7.4.8. Costo de fabricación

Los costos de fabricación de un sistema con componentes como tubos, motor inverter, cables y dispositivos electrónicos se desglosan en distintos elementos clave para la construcción del equipo. La Tabla 5.4, nos indica los gastos incluyen tanto materiales físicos (como los tubos y las baterías) como elementos electrónicos necesarios para el control y la transmisión de energía. A continuación, se presenta un resumen de los costos asociados a cada parte del proyecto.

Tabla 5.4. Costos de fabricación.

Elemento	Costo (\$)
Tubos (2.5 x 12)	30,00
Árbol de transmisión (1m)	13,00
Impresión 3D	40,00
Chumaceras (x2)	15,00
Motor Inverter (Nuevo)	45,00
Motor Inverter (Usado)	10,00
Cable N14 (5 metros)	4,00
Bornes para ensamble (x20)	3,00
Puente rectificador de voltaje (por unidad)	0,25
Elevador de voltaje	15,00
Regulador de voltaje	13,00
Diodo rectificador (por unidad)	0,50
Batería 12V 4.5 A/h	15,00
Inversor de voltaje	10,00
Software diseño mecánico (Educativo)	0,00
Software diseño de turbina gratuito	0,00
Total	213,00

En términos generales, los costos de los materiales y componentes son razonables, considerando la durabilidad y la función que desempeñan en el sistema. Si bien algunos componentes como la impresión 3D y el motor inverter nuevo representan una inversión más alta, otros elementos como los cables, bornes y diodos rectificadores son de bajo costo. En general, el gasto total no es elevado en comparación con la vida útil esperada de los componentes, por lo que la fabricación del sistema es una opción económica para proyectos de mediana o larga duración.

7.4.9. Tiempo de construcción

Basándonos en las tareas principales, podemos hacer una estimación aproximada del tiempo total:

Tabla 5.5. Tiempo total

Tarea	Tiempo Real (Horas)
Fabricación de la turbina Gorlov (40 cm x 36 cm)	48,00
Corte y ensamblaje de la estructura de soporte (70 cm x 40 cm)	8,00
Mecanizado del árbol de transmisión (2.5 cm x 65 cm)	5,00
Montaje de chumaceras y ajuste del eje	3,00
Ensamblaje final y ajustes	2,00
Pruebas iniciales y ajustes finales	4,00
Tiempo Total de Construcción:	70,00

7.4.10. Relación de tensión en función al número de revoluciones

Se concluyó una relación proporcional entre las revoluciones por minuto (rev/min) y el voltaje generado en el sistema como se muestra en la Tabla 5.6, medida que la velocidad de rotación aumenta, el voltaje generado también lo hace de forma lineal. Esto indica que el generador responde de manera directa al aumento de las (rev/min), generando más voltaje conforme incrementa su velocidad. Este comportamiento es esperado en generadores de corriente alterna o similar, donde la relación entre velocidad y voltaje sigue un patrón proporcional.

Tabla 5.6. Relación de tensión en función al número de revoluciones

n (rev/min)	Tensión (V)
100	7,50
200	15,00
300	22,00
400	30,00
500	37,50
600	45,00
700	52,50
800	60,00
900	67,50
1000	75,00

El voltaje aumenta de manera constante con cada incremento de 100 (rev/min), pasando de 7,50 V a 75 V al llegar a 1000 (rev/min) como se evidencia en la figura de 5.7, donde surge en el generador es adecuado para aplicaciones donde se requiera un voltaje variable que dependa de la velocidad de rotación, permitiendo un control efectivo de la energía generada según la demanda.

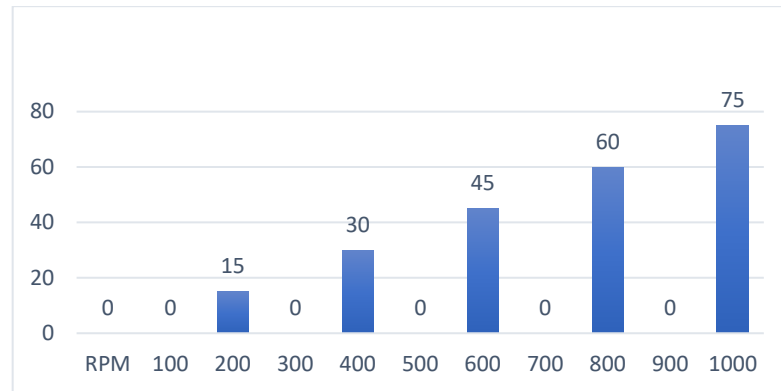


Figura 5.7. Gráfico de relación de tensión en función al número de revoluciones

7.4.11. Comparaciones reales de la velocidad del flujo y las (rev/min)

- Los cálculos mostraron que la velocidad del agua aumenta con la profundidad:
 $m \rightarrow 0,12 \text{ m/s}$
 $0.05 \text{ m} \rightarrow 0,25 \text{ m/s}$
 $0.10 \text{ m} \rightarrow 0,34 \text{ m/s}$
- A medida que el agua fluye más rápido en niveles más profundos, la turbina recibe mayor energía, lo que se refleja en el incremento de las (rev/min).
- La relación entre la velocidad del agua y las (rev/min) obtenidas confirma que el flujo más rápido en zonas más profundas impulsa la turbina con mayor eficiencia.

7.4.12. Tendencias observadas en las (rev/min)

Se interpretó una relación positiva entre la velocidad del agua y las (rev/min) de la turbina, a menor profundidad (15 cm), las (rev/min) son más bajas (62,1), lo que sugiere que el flujo en esa zona tiene menor velocidad y energía disponible, a mayor profundidad (25 cm), las (rev/min) aumentan significativamente (83,1), lo que confirma que el flujo más veloz en esta región transmite más energía a la turbina.

7.4.13. Importancia de la Ubicación Óptima

Los resultados indican que sumergir más la turbina permite aprovechar mejor el flujo de agua y mejorar su desempeño.

Tabla 5.7. Valores reales de (rev/min)

Profundidad (cm)	(rev/min) Obtenidas
15	62,10
20	68,30

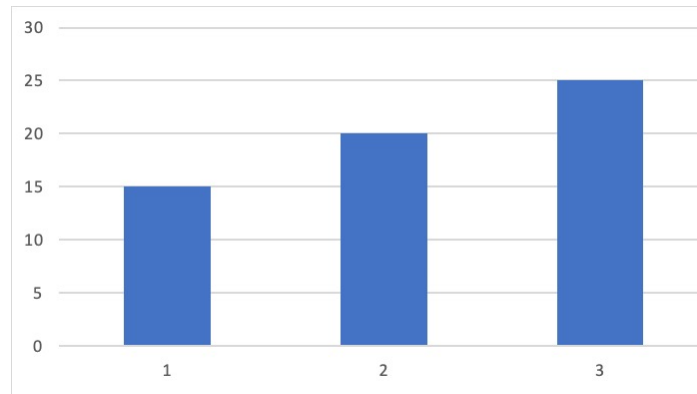


Figura 5.8. Gráfico de valores reales de (rev/min)

7.4.14. Descripción de datos reales.

Se realizó pruebas experimentales realizadas en la acequia de Manzana pamba utilizando nuestra hidroeléctrica portátil demostraron que el sistema es capaz de generar un voltaje de 5 V promedio, en condiciones de caudales bajos. Se observó que la eficiencia varía en función del caudal disponible y la carga conectada al sistema como se muestra en la tabla 5.8, donde sus condiciones óptimas, el voltaje de salida obtuvo un valor estable de 5 V, con una oscilación mínima de 1 %, lo que indica una regulación adecuada, esto lo controlamos gracias a nuestros módulos reguladores.

Durante las pruebas de portabilidad e instalación, el sistema fue ensamblado y puesto en funcionamiento en un tiempo promedio de 4 minutos, lo que demuestra su facilidad de uso en entornos remotos. Además, los materiales seleccionados mostraron una resistencia adecuada a la exposición prolongada al agua y la intemperie, con un desgaste mínimo después de 5 horas de operación continua, ya que es el tiempo esperado para la carga máxima de la batería.

Para evaluar la capacidad del sistema en la carga de dispositivos electrónicos, se realizó una prueba utilizando la energía generada por la turbina hidrocínética para alimentar un inversor y cargar un teléfono celular con un cargador de 20 W.

Las mediciones realizadas indicaron que la turbina hidrocínética produjo una potencia promedio de 60 W con un caudal de 5 L/s y una velocidad de flujo de 0.60 m/s. Esta energía fue entregada a un inversor de 12 V a 110 V, con una eficiencia del 85 %, lo que resultó en una salida efectiva de 51 W.

Durante la prueba de carga, se conectó un teléfono con una batería de 5000 mAh, registrándose los siguientes datos:

Tabla 5.8. Pruebas de Carga

Tiempo (min)	Carga de batería (%)	Potencia entregada (W)	Voltaje de salida (V)
0	10%	20W	9V
10	25%	19.5W	8.9V

Se identificó que el celular alcanzó el 100% de carga en 60 minutos, con una potencia promedio de 18.9W entregada al dispositivo, lo que indica una eficiencia aceptable del sistema. Se observó una ligera caída en el voltaje a medida que la carga aumentaba, pero sin afectar significativamente el tiempo total de carga.

8. CONCLUSIONES

- La turbina se sumerge más en el flujo del canal, la velocidad de rotación (rev/min) aumenta. Esto sugiere que la mayor inmersión en el flujo de agua o el medio de trabajo proporciona una mayor cantidad de energía o fuerza que impulsa la turbina, lo que mejora su rendimiento.
- La turbina alcanzó su máxima velocidad de rotación de 83.1 (rev/min) a una profundidad de 25 cm. Esto indica que, dentro del rango probado, la inmersión más profunda (25 cm) favorece el máximo rendimiento de la turbina, y podría ser el punto de mayor eficiencia en términos de velocidad de giro.
- La relación entre la velocidad de rotación (rev/min) y el voltaje generado es lineal, lo que muestra que el generador responde directamente al aumento de las (rev/min). Además, a mayor profundidad en el flujo de agua, la turbina genera más (rev/min) debido a un mayor flujo de agua, lo que mejora su eficiencia. Esto resalta la importancia de ubicar la turbina en profundidades óptimas para maximizar su rendimiento.

9. RECOMENDACIONES

- Ajustar la profundidad de la turbina para ubicar la turbina a una profundidad de 25 cm puede maximizar su rendimiento, ya que se alcanzan las (rev/min) más altas en esa profundidad.
- Optimizar el diseño del generador para aprovechar la relación lineal entre las (rev/min) y el voltaje para desarrollar generadores que ajusten eficientemente el voltaje según la variabilidad de las (rev/min).
- Evaluar diferentes profundidades de pruebas a mayores profundidades podría revelar si existe una inmersión más profunda que aún optimice el rendimiento y eficiencia de la turbina.

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] B. Y. C. Celedon, «DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA TURBINA HIDROKINÉTICA DE EJE HORIZONTAL».
- [2] F. Pérez-Andújar, «Tecnologías de propulsión eólica e hidrógeno: aplicación al buque Catherine y estudio económico, reducción de consumos y emisiones. Impacto medioambiental», *Wind and hydrogen propulsion technologies: application to the Catherine ship and economic study, reduction of consumption and emissions. Environmental Impact*, mar. 2023, Accedido: 1 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/28434>
- [3] K. Y. Restrepo Zapata, «Turbinas hidrocineéticas utilizadas para la generación de energía: Características, principio de funcionamiento e impactos ambientales asociados», jun. 2021, Accedido: 18 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.tdea.edu.co/handle/tdea/2016>
- [4] S. C. B. Avellaneda y N. D. R. Salinas, «i FABRICACIÓN DE UN MODELO DE TURBINA TIPO GORLOV A ESCALA DE LABORATORIO».
- [5] «TURBINAS HIDROKINÉTICAS UNA ALTERNATIVA PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA», ResearchGate. Accedido: 1 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/322835380_TURBINAS_HIDROKINETICAS_UNA_ALTERNATIVA_PARA_GENERACION_ELECTRICA
- [6] «Turbinas hidrocineéticas de eje horizontal: una revisión de la literatura», ResearchGate. Accedido: 2 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/326730227_Turbinas_hidrocineéticas_de_eje_horizontal_una_revisión_de_la_literatura
- [7] «Turbinas Hidrocineéticas de Eje Vertical Helicoidal». Accedido: 2 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://1library.co/document/zkx4memy-turbinas-hidrocineéticas-de-eje-vertical-helicoidal.html>
- [8] J. C. Pineda-Ortiz y E. L. Chica-Arrieta, «Métodos numéricos para el desarrollo de una turbina hidrocineética tipo Gorlov», *Rev. UIS Ing.*, vol. 19, n.º 3, pp. 187-205, abr. 2020, doi: 10.18273/revuin.v19n3-2020018.
- [9] M. A. E. León, «DESIGN AND SIMULATION OF A ROTOR FOR A 15 KW HYDROKINETIC TURBINE APPLIED TO THE HUALLAGA RIVER».
- [10] M. Pérez y G. José, «Influencia de parámetros dimensionales en potenciales energéticos de turbinas hidrocineéticas Gorlov», vol. 3, 2017.

- [11] «Abarca Isuiza Nilson Brandy.pdf». Accedido: 19 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/11728/Abarca%20Isuiza%20Nilson%20Brandy.pdf?sequence=12&isAllowed=y>
- [12] C. Cardona-Mancilla *et al.*, «Turbinas hidrocínicas de eje horizontal: una revisión de la literatura», *Tecnol. Cienc. Agua*, vol. 9, n.º 3, pp. 180-197, jun. 2018, doi: 10.24850/j-tyca-2018-03-08.
- [13] «Turбина - Enciclopedia de Energía». Accedido: 20 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://energyeducation.ca/Enciclopedia_de_Energia/index.php/Turбина
- [14] «PinedaJuan _ 2022_ DesarrolloTurбинаGorlov.pdf». Accedido: 19 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/28314/1/PinedaJuan%20_%202022_%20DesarrolloTurбинаGorlov.pdf
- [15] «Generador eléctrico», Endesa. Accedido: 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.fundacionendesa.orghttps://fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educacion/recursos/generador-electrico>
- [16] T. E. Cando Cando y J. D. Murillo Rivera, «Análisis del comportamiento de un motor asíncrono.», ago. 2023, Accedido: 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/11421>
- [17] «Chumaceras - Que son, Tipos, Clasificación, Nomenclaturas...» Accedido: 19 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://brr.mx/chumaceras/>
- [18] «Surtidora Nacional de Rodamientos». Accedido: 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.snr.com.mx/blog/chumaceras/>
- [19] «content.pdf». Accedido: 20 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/520697ff-eba6-429f-808e-6fc219487715/content>
- [20] de Marzo, «AUTOR: DIEGO MAURICIO RIVADENEIRA MOYA».