



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y

APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

**MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE UN PROTOTIPO DE
TURBINA DE RÍO MICHELL-BANKI**

PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTROMECÁNICO

AUTORES:

Carlos Andrés Masapanta Molina

Bryan Estevan Oña Ochoa

TUTOR:

Ing. Luis Miguel Navarrete López M. Sc

Latacunga – Abril 2024



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Nosotros, **Masapanta Molina Carlos Andrés**, con cédula de ciudadanía N° **172682275-0** y **Oña Ochoa Bryan Estevan**, con cédula de ciudadanía N° **050366886-5**, estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica declaramos ser autores de la presente propuesta tecnológica: **“CONSTRUCCIÓN Y SIMULACIÓN DE UNA TURBINA DE RÍO MICHELL BANKI”**, siendo el Ing. Msc. Luis Miguel Navarrete López, tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

.....
Masapanta Molina Carlos Andrés

C.I. 172682275-0

.....
Oña Ochoa Bryan Estevan

C.I. 050366886-5



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: **“MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE UN PROTOTIPO DE TURBINA DE RÍO MICHELL BANKI”**, de Masapanta Molina Carlos Andres y Oña Ochoa Bryan Estevan, de la carrera de Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 19 de Agosto del 2024

ING. Luis Miguel Navarrete López
CI: 1803747284
TUTOR



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

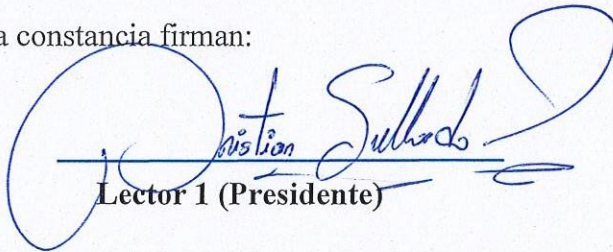
En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la **Facultad de Ciencias de Ingeniería y Aplicadas**; por cuanto, los postulantes: Masapanta Molina Carlos Andrés, con cédula de ciudadanía N° 172682275-0 y Oña Ochoa Bryan Estevan, con cédula de ciudadanía N°. 050366886-5 con el título de Proyecto de titulación:

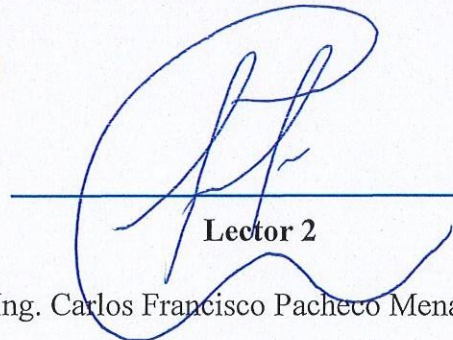
“CONSTRUCCIÓN Y SIMULACIÓN DE UNA TURBINA DE RÍO MICHELL BANKI”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 19 de Agosto 2024

Para constancia firman:

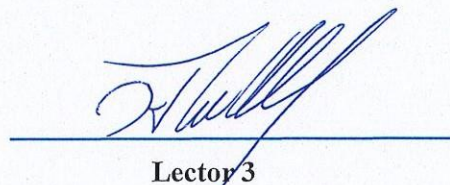

Lector 1 (Presidente)


Lector 2

M.s.c. Ing. Cristian Fabian Gallardo Molina M.Sc. Ing. Carlos Francisco Pacheco Mena

CC: 0502847692

CC: 050307290-2


Lector 3

Dr. Héctor Luis Laurencio Alfonso

CC:175836725-2

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento en primer lugar a Dios, a la virgencita del Cisne y a la virgencita del Quinche, por concederme salud, guiarme y otorgarme el intelecto necesario para llevar a cabo este trabajo y cumplir con este sueño.

A mis padres, Antonio y Maricarmen, les debo mi eterna gratitud por su apoyo incondicional, por ser mi motor y fuerza que me impulsa a superarme día a día. A mis hermanas, Joselyn y Anthonella, quienes fueron mi luz en los momentos de oscuridad, a mi sobrina Cleo, por ser una fuente adicional de inspiración para seguir adelante.

A Evelyn, por ser mi apoyo incondicional en todo momento, por brindarme su cariño, comprensión y amor a lo largo de este camino universitario.

También quiero agradecer a mi compañero de tesis, Estevan Oña, por no solo ser un excelente compañero, sino que también un gran amigo dentro y fuera de las aulas universitarias. Gracias por tu liderazgo y por haber trabajado juntos en este proyecto.

Finalmente, agradezco de corazón a mis amigos, quienes me acompañaron y apoyaron a lo largo de este camino académico, siempre dispuestos a ayudarme en los momentos cruciales, tanto dentro como fuera de la universidad.

Carlos

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento, en primer lugar, a Dios, a la Virgen del Cisne y a la Virgen del Quinche. Gracias por darme salud, guiarme y proporcionarme los conocimientos necesarios para cumplir uno de mis muchos sueños. Sin su divina intervención, este logro no habría sido posible.

A mi madre Mercedes Ochoa y a mis abuelitos Antonio y María, quienes han sido mi pilar fundamental durante todo este proceso, les debo todo. Su apoyo incondicional, sus sabios consejos y su amor inagotable me han sostenido y guiado a lo largo de toda mi formación académica. Su sacrificio y dedicación son la base sobre la cual he construido mis éxitos.

Agradezco a Magdalena Bautista y Milton Cabascango, quienes han sido un gran apoyo durante mi tiempo en la universidad. Sin conocerme, me abrieron las puertas de su casa y me brindaron un apoyo invaluable.

También quiero agradecer de corazón a mi compañero de tesis. Su apoyo moral, su amistad sincera y su disposición para ayudarme sin esperar nada a cambio.

A Poleth Cabascango, quien ha sido un pilar en mi vida universitaria, apoyándome incondicionalmente en el transcurso de la universidad.

Finalmente, agradezco a todos aquellos que, de una u otra manera, han contribuido a mi formación y crecimiento personal. A mis profesores y amigos gracias por sus enseñanzas, su paciencia y su apoyo constante. Este logro es también de ustedes

Bryan.O.

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado en memoria de mis abuelitos paternos y abuelito Materno.

Mis padres, mis hermanas que fueron los que siempre me apoyaron y confiaron en mí y en las metas que me he propuesto.

A todas las personas especiales en mi vida, especialmente a mi familia y amigos, ustedes han sido mi mayor fuente de apoyo, motivación y fortaleza en los momentos más difíciles. Gracias por creer en mí, por darme el ánimo necesario para seguir adelante, y por estar a mi lado en cada paso de este viaje. Su amor, compañía y palabras de aliento fueron fundamentales para que pudiera alcanzar esta meta tan importante en mi vida.

Carlos.

DEDICATORIA

Este logro va dedicado a mi madre que ella sola tuvo la habilidad de sacarme adelante. gracias por creer en mí y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A mis profesores y mentores, quienes con su sabiduría y paciencia me guiaron a lo largo de este camino académico. Su dedicación y pasión por la enseñanza han sido una fuente de inspiración constante.

A mis amigos, por su compañía y por hacer de este viaje una experiencia inolvidable. Gracias por las risas, el apoyo y por estar siempre ahí en los momentos difíciles.

Finalmente, a todos aquellos que de alguna manera contribuyeron a la realización de esta tesis, su apoyo y aliento han sido fundamentales para alcanzar este logro, fueron esenciales en los momentos más desafiantes.

Bryan.O

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “CONSTRUCCIÓN Y SIMULACIÓN DE UNA TURBINA DE RÍO MICHELL-BANKI”

AUTORES:

Carlos Andres Masapanta Molina

Bryan Estevan Oña Ochoa

RESUMEN

Este proyecto muestra una investigación centrada en la evaluación del diseño, funcionamiento y eficiencia de la turbina Michell-Banki como tecnología viable para la generación sostenible de energía hidroeléctrica. En el proyecto se analizó en profundidad sus principios de funcionamiento y su capacidad para aprovechar eficientemente la energía del agua en diferentes condiciones de caudal y flujo. Al desarrollar el prototipo de turbina Michell-Banki, se concretó en su rendimiento en el contexto del crecimiento de las energías renovables. Se realizaron pruebas experimentales en un entorno controlado y utilizaremos herramientas de modelado computacional para optimizar tanto su diseño como su eficiencia. La turbina se construirá con filamento de fibra de carbono y filamento de nailon, materiales seleccionados para mejorar su rendimiento y durabilidad bajo el agua. Además, se investigará las posibles aplicaciones de la turbina en el pico generación para comunidades rurales y su integración en sistemas de energías renovables a gran escala, prestando especial atención a los impactos medioambientales y sociales, como su efecto en los ecosistemas acuáticos y su contribución al desarrollo sostenible en zonas próximas a fuentes de agua.

Palabras Claves: Generación de electricidad, Turbinas Michell Banki, Energías renovables, bajo caudal.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

**THEME: “CONSTRUCTION AND SIMULATION OF A MICHELL-BANKI RIVER
TURBINE”**

AUTHORS:

Carlos Andres Masapanta Molina

Bryan Estevan Oña Ochoa

ABSTRACT

This project shows an investigation focused on the evaluation of the design, operation and efficiency of the Michell-Banki turbine as a viable technology for sustainable hydropower generation. In the project it was analyzed in depth its operating principles and its ability to efficiently harness water energy under different flow and flow conditions. In developing the Michell-Banki turbine prototype, it will focus on its performance in the context of renewable energy growth. Tests we will be conducted in a controlled environment and use computational modeling tools to optimize both its design and efficiency. The turbine will be constructed with carbon fiber filament and nylon filament, materials selected to improve its performance and durability underwater. In addition, it will investigate possible applications of the turbine in pico-generation for rural communities and its integration in large-scale renewable energy systems, paying special attention to environmental and social impacts, such as its effect on aquatic ecosystems and its contribution to sustainable development in areas close to water sources.

Keywords: Electricity generation, Michell Banki Turbines, Renewable energies, low flow.

PAGINAS PRELIMINARES

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	¡Error! Marcador no definido.
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
AGRADECIMIENTO.....	i
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
Tema del Proyecto:	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	3
2.2 Formulación del problema.....	4
2.3 JUSTIFICACIÓN	4
2.4 Objeto y Campo de Acción.....	4
2.4.1 Objeto de Investigación:.....	4
2.4.2 Campo de acción.....	5
2.5 BENEFICIARIOS.....	5
2.6 OBJETIVOS.....	5
2.6.1 Objetivo general.....	5
2.6.2 Objetivos específicos.....	5
2.6.3 SISTEMAS DE TAREAS.....	6
Capitulo II.....	7
3. MARCO TEÓRICO.....	7
3.1 ANTECEDENTES.....	7
3.2 MARCO REFERENCIAL.....	8
3.2.1 TIPOS DE TURBINAS.....	8

1. Turbina de agua.....	8
2. Turbina de gas:.....	8
3. Turbina de vapor:.....	8
3.1.1 RENDIMIENTO DE LAS TURBINAS.....	8
3.2 TIPOS DE TURBINAS HIDRÁULICAS.....	10
3.3 Turbina Francis.....	10
3.4 Turbina Pelton.	10
3.5 Turbina Kaplan	11
3.5.1 Michell-Banki.	11
3.5.2 TABLA DE TIPOS DE TURBINA.	12
3.6 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	13
3.7 FABRICANTES DE TURBINAS MICHELL-BANKI.....	14
3.7.3 TurbiWatt (Francia) [5].	15
3.7.4 Nautilus LLC (Estados Unidos) [5]......	15
3.8 PÉRDIDAS, POTENCIAS Y RENDIMIENTOS.....	16
3.9 3.9 Medición del caudal.....	16
3.10 Eficiencia de la turbina Michell-Banki en función al caudal.....	17
3.11 REGULACIÓN DEL CAUDAL.....	18
3.12 TURBINA MICHELL-BANKI.....	18
3.13 Generación de energía en centrales hidroeléctricas pequeñas.....	19
3.14 Aprovechamiento Energético en Micro centrales.	19
3.15 Diseño conceptual	20
3.16 Selección del número de álabes.	24
3.17 Pérdidas hidráulicas	24
3.18 Pérdidas volumétricas.	24
3.19 Fórmulas para el funcionamiento de la turbina.....	25
3.20 RELACIÓN DE TRANSMISIÓN.....	25
3.21 ALTURA EFECTIVA DISPONIBLE.....	25

3.22	POTENCIA ÚTIL. (P).....	25
3.23	RENDIMIENTO HIDRÁULICO (ηh).....	26
3.24	POTENCIA ÚTIL.	26
3.25	EFICIENCIA DE LA TURBINA.....	27
3.26	VELOCIDAD ANGULAR DEL ROTOR.....	27
3.27	POSICIÓN DEL ALABE.	28
3.28	ÁNGULO CURVATURA DE LOS ÁLABES.	28
3.29	RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO.....	28
3.30	VELOCIDAD DEL AGUA EN EL CAUDAL.....	29
3.31	ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA TUBERÍA.	29
3.32	CAUDAL (Q).....	29
3.33	POTENCIA ÚTIL.	29
3.34	FÓRMULA DE BERNOULLI ($H = y + v^2 \cdot g$) [22].....	30
3.35	g = Gravedad (m/s^2).....	30
3.36	VELOCIDAD DE ROTACIÓN.....	30
3.37	ÁNGULO DE CURVATURA DE LOS ÁLABES.....	30
3.38	CAUDAL EFECTIVO.....	31
4.	METODOLOGÍA.....	31
4.1	Diseño de prototipo.	32
4.2	Elección del mejor diseño.....	32
4.3	Desarrollo del prototipo.....	32
4.4	Diseño CAD.....	32
4.4.1	Aspectos Fundamentales del Modelado CAD.	33
1.	Tipos de Modelado:	33
2.	Técnicas de Modelado:	33
3.	Ventajas del Modelado CAD:	33
4.4.6	Aplicaciones del Modelado CAD:	34
4.4.7	Tendencias en el Modelado CAD:	34

4.5	CAE.....	34
4.5.1	Beneficios del CAE.	35
4.5.2	Software Popular de CAE.	35
4.5.3	Aplicaciones Comunes.	35
4.6	CAM.....	35
4.6.1	Ventajas del CAM.	35
4.6.2	Aplicaciones del CAM	36
4.6.3	Proceso de CAM.....	36
4.7	Simulación CFD.....	36
4.8	SELECCIÓN DE MATERIALES.....	36
4.8.2	Selección de filamentos.	37
1.	Beneficios de los Filamentos	37
3.	Filamento de Nylon	37
4.9	TIPO DE RELLENO.	39
4.9.1	RELLENO EN REJILLA.....	39
4.10	Micro Hydro generador portátil de 12V.	40
4.5	Generador.....	41
4.11	RELACIÓN DE TRANSMISIÓN.....	41
4.12	Carcasa.....	42
4.13	Eje.....	42
4.14	CONSTRUCCIÓN	42
4.15	ARMADO DE LA ESTRUCTURA	42
4.16	INSTALACIÓN DE LA BASE	43
4.17	SOFTWARE	43
4.18	PRUEBAS.....	43
4.19	Elementos de medición.	44
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	44
5.1	Simulación análisis de resultados.....	44

5.2	Diseño conceptual.....	46
5.3	Diseño básico.....	47
5.4	Diseño prototipo Michell-Banki.....	48
5.4.1	Alabe Michell-Banki.....	48
5.5	Cálculos Realizados.....	50
6.	Conclusiones.....	54
7.	Recomendaciones.....	55
8.	Referencias.....	56
Anexo 1	Prototipo de turbina Michell-Banki.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 2	Prototipo de turbina Michell-Banki 2.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 3	Prototipo de turbina Michell-Banki 3.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 4	Prototipo de turbina Michell-Banki 3 con estructura metálica.....	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN.

Ilustración 1	plano alabe.....	48
Ilustración 2	Álabes reales en Fibra de carbono.....	49
Ilustración 3	plano del rodete y distribución de los álabes.....	50
Ilustración 4	Rodete y álabes del prototipo real.....	50
Ilustración 5	Datos recolectados en base al caudal.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO.....	1
Tabla 2	Sistema de Tareas del Plan de Titulación.....	6
Tabla 3	Tipos de turbinas.....	12

Tabla 4 Ventajas de la turbina según los fabricantes.....	15
Tabla 5 eficiencia de la turbina Michell-Banki en función al caudal.....	17
Tabla 6 Características principales de las turbinas	20
Tabla 7 características de pérdidas de la turbina Michell-Banki.....	24
Tabla 8 características de pérdidas de la turbina Michell-Banki [23]......	25
Tabla 9 Características del filamento de fibra de carbono	37
Tabla 10 Características del filamento de Nylon.....	38
Tabla 11 Comparativa de filamentos de impresión 3D	38
Tabla 12 Características de los generadores.....	40
Tabla 13 Características del generador.....	41
Tabla 14 Características de los engranajes de relación de transmisión.....	42
Tabla 15 Resultados calculados.....	50

Línea de investigación:

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sub líneas de investigación:

Energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía.

Capítulo I

2. INTRODUCCIÓN

La presente investigación se centra en la evaluación detallada del diseño, funcionamiento y eficiencia de una turbina Michell-Banki, la cual se constituye como una tecnología viable para la generación de energía hidroeléctrica sostenible. De tal manera para el cumplimiento del presente proyecto se llevará a cabo un estudio exhaustivo de los principios de operación de la turbina, centrándose en su capacidad a fin de aprovechar la energía del agua de manera eficiente con una variedad de condiciones de flujo y caudal [2]

La creciente demanda de fuentes de energía renovable ha impulsado la búsqueda de tecnologías accesibles y eficientes para la generación de electricidad en comunidades rurales y regiones con recursos limitados. En este contexto, las turbinas hidráulicas, como la turbina de flujo transversal Michell-Banki, se han destacado como una solución prometedora para la generación de energía hidroeléctrica a pequeña escala. Esta turbina, desarrollada a principios del siglo XX por los ingenieros Anthony Michell y Donát Bánki, es conocida por su diseño simple y su capacidad para operar eficientemente con variaciones en el flujo de agua y la altura de caída [2].

En la actualidad se está viviendo un serio problema debido a la falta de energía eléctrica en todo el mundo y sobre todo debido al agotamiento de los recursos no renovables, además que la población va en aumento en países como Suecia, Dinamarca, Noruega, etc. han optado por utilizar recursos renovables y están desarrollando diferentes tecnologías que aprovechen los recursos hídricos [3].

De tal manera el desarrollo de un prototipo de turbina Michell-Banki, se enfoca en analizar el funcionamiento aprovechando el crecimiento de las energías renovables, que están ganando popularidad en la generación de electricidad, especialmente en la satisfacción de las necesidades energéticas de varios sectores a nivel mundial.

Es así como para el cumplimiento del prototipo de turbina se realizarán pruebas experimentales en un entorno controlado para evaluar el rendimiento real de la turbina bajo diferentes condiciones operativas y se utilizarán herramientas de modelado computacional para optimizar su diseño y mejorar su eficiencia. La construcción de la turbina será netamente a través de filamento PLA+ ya que estará bajo el agua y así se logrará tener un mejor desempeño y alargar su vida útil [4].

Finalmente, se explorarán posibles aplicaciones de la turbina Michell-Banki en contextos específicos, como micro generación en comunidades rurales o la integración en sistemas de energía renovable a gran escala. Tomando en cuenta lo anteriormente mencionado se prestará especial atención a los aspectos ambientales y sociales relacionados con la implementación de esta tecnología, investigando el impacto en los ecosistemas acuáticos locales y su potencial para impulsar el desarrollo sostenible en comunidades cercanas a fuentes de agua [2].

2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.

Actualmente en varias regiones del Ecuador especialmente en las áreas rurales y de difícil acceso la generación de energía eléctrica sigue siendo un gran desafío significativo, esto se da por las fuentes de energía convencionales, las mismas que no siempre son viables debido a los altos costos de infraestructura y mantenimiento, lo cual ha ocasionado que no se disponga de electricidad necesaria para que los habitantes de las áreas rurales puedan desempeñar adecuadamente las diferentes actividades y funciones en sus trabajos o en los sitios donde habitan [3].

Tomando en cuenta los problemas anteriormente mencionados se puede decir que las turbinas de río Michell-Banki se presentan como una de las mejores soluciones para generar energía ya que prometen mucho principalmente por el diseño simple y de bajo costo, además por la capacidad que ofrece para operar en pequeños caudales de agua, los cuales son mucho más eficientes y ayudan al cumplimiento de cualquier actividad [2].

La turbina de acción tipo Michell-Banki es un dispositivo utilizado principalmente en proyectos hidroeléctricos de baja escala. Sus principales ventajas radican en su diseño sencillo y fácil construcción, lo que la hace atractiva para la producción a gran escala debido a su relación costo-beneficio. Estas turbinas pueden diseñarse con capacidades que van desde 1 kW hasta 750 kW, y alcanzan una eficiencia máxima del 82% [5].

2.2 Formulación del problema.

En zonas aledañas con acceso limitado a la electricidad, las soluciones energéticas convencionales son costosas y lógicamente complicadas. Se ha diseñado un prototipo de turbina Michell-Banki que genera 12 voltios, ofreciendo una opción accesible y eficiente para estas regiones.

2.3 JUSTIFICACIÓN

El sector energético es crucial para la economía, ya que proporciona elementos esenciales para todas las actividades productivas y bienes de consumo en los hogares. La energía es vital para mejorar las condiciones sociales y económicas de un país y es fundamental para la generación de riqueza. Sin embargo, a pesar de su importancia para el desarrollo, la energía es solo un medio para alcanzar objetivos como la buena salud, altos niveles de calidad de vida, una economía sostenible y un medio ambiente limpio.

En el Plan Maestro de Electricidad 2016-2025, se establece que Ecuador promueve el uso de energías renovables, debido a sus beneficios ambientales y su vinculación con el desarrollo sostenible del sector eléctrico. Entre estas fuentes se destacan la energía hidroeléctrica, eólica, biomasa y geotérmica [6].

El uso de energías renovables en el sector eléctrico ecuatoriano es fundamental para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover una generación más limpia. Aprovechando los recursos hídricos de manera eficiente, se puede generar energía eléctrica sin modificar el curso del agua y cuidando el entorno.

En el contexto ecuatoriano, podríamos explorar la implementación de microturbinas hidroeléctricas en canales de riego existentes. Estas turbinas aprovecharán el flujo de agua sin alterar el curso natural del río o afectar el entorno. Además, podríamos diseñar un sistema de monitoreo inteligente para optimizar la eficiencia de estas microturbinas y garantizar un uso sostenible de los recursos hídricos [7].

2.4 Objeto y Campo de Acción.

2.4.1 Objeto de Investigación:

Micro centrales de generación hidráulica.

2.4.2 Campo de acción.

2510.91 Recursos Renovables.

3306.02 Aplicaciones Eléctricas.

2.5 BENEFICIARIOS.

Beneficiarios Directos: Personas de sectores alejados que cuenten con pequeños ríos de bajo caudal.

Beneficiarios Indirectos: Población alejada del Oriente.

2.6 OBJETIVOS.

2.6.1 Objetivo general.

- Diseñar un prototipo experimental de turbina Michell-Banki para realizar pruebas en canales de bajo caudal y aprovechar la energía hidroeléctrica.

2.6.2 Objetivos específicos.

- Realizar una revisión bibliográfica de las turbinas Michell-Banki, sus fabricantes y aplicaciones en sistemas de micro hidroeléctrica.
- Desarrollar un prototipo de la turbina Michell-Banki utilizando un software CAD-CAE para la construcción del prototipo físico, con materiales apropiados y técnicas de fabricación como la impresión 3D.
- Simular el comportamiento hidráulico de la turbina Michell-Banki mediante herramientas de dinámica de fluidos computacional (CFD) para evaluar su rendimiento.

2.6.3 SISTEMAS DE TAREAS.

Tabla 2 Sistema de Tareas del Plan de Titulación.

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Realizar una revisión bibliográfica de las turbinas Michell-Banki, sus fabricantes y aplicaciones en sistemas de micro hidroeléctrica.	Se realizará la revisión de libros, tesis, artículos y especificaciones de fabricantes que produzcan turbinas Michell-Banki.	<ul style="list-style-type: none"> - Lista de ventajas y desventajas de la turbina según sus fabricantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Método bibliográfico. • Recopilación de datos. • Análisis del funcionamiento de las turbinas.
Desarrollar un prototipo de la turbina Michell-Banki utilizando un software CAD-CAE para la construcción del prototipo físico, con materiales apropiados y técnicas de fabricación como la impresión 3D.	<ul style="list-style-type: none"> - Se realizará un diseño mediante el software fusión 360. - Se obtendrán impresiones de los prototipos en una máquina 3D. -Se ensamblará el prototipo en un laboratorio/taller. 	<ul style="list-style-type: none"> - Prototipo funcional de la turbina ensamblado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipos computacionales. • Software de diseño • Software de simulación.
Simular el comportamiento hidráulico de la turbina Michell-Banki mediante herramientas de dinámica de fluidos computacional (CFD) para evaluar su rendimiento.	Se desarrollará la simulación del rendimiento de la turbina utilizando el software SolidWorks.	<ul style="list-style-type: none"> - Funcionamiento de la turbina. - Generación de energía. 	<ul style="list-style-type: none"> • Software de simulación. • Desarrollo de práctica.

Capítulo II

3. MARCO TEÓRICO.

3.1 ANTECEDENTES.

- A nivel internacional, las investigaciones sobre turbinas Michel Banki han abordado su eficiencia, la mejora del diseño y la viabilidad económica. Diversos estudios que se han realizado se ha evaluado las aplicaciones en la generación de energía sostenible, mejorando la producción de manera eficiente y rentable, se ha explorado su integración de distintos sistemas, destacando su relevancia en los sectores de energía renovable a nivel global [8].
- En la tesis de la Universidad Politécnica Salesiana (Ecuador): con el tema titulado “Diseño y simulación de una turbina Michell-Banki para una hidroeléctrica con capacidad de 3000 Watts “, se analizó el funcionamiento de la turbina para aprovechar la energía hidráulica [9]. El presente tema tiene como fin estimular la implementación de sistemas que ayuden a generar energía para así reducir las necesidades de los habitantes y aportar con un buen servicio donde no exista carencia de energía eléctrica y las personas que habitan en estos sectores puedan desempeñar adecuadamente sus funciones o actividades.
- Según la página Multidisciplinary Digital Publishing Institute, en la provincia de Cotopaxi se cuenta con abundantes recursos hídricos, lo que ha llevado a realizar estudios y poder identificar las mejores vacaciones para instalar la turbina. Estos estudios nos ayudan a evaluar la viabilidad técnica y económica de implementar proyectos hídricos de pequeña escala [10].

Tomando en consideración los temas anteriormente mencionados se puede establecer que las turbinas Michell-Banki contribuyen de manera significativa ya que ayudan a estimular energía necesaria en cualquier área en especial en las áreas rurales en las que se pretende aportar la energía. De tal manera el presente prototipo es una propuesta para dar a conocer los beneficios de implementar turbinas que ayuden a la sociedad.

3.2 MARCO REFERENCIAL.

3.2.1 TIPOS DE TURBINAS.

1. Turbina de agua.

También conocida como turbina hidráulica, son utilizadas para la generación de energía eléctrica a partir del flujo de agua en ríos.

Los principales tipos de turbina son:

- **Turbina Pelton:** Ideal para altas caídas de agua. Utiliza una rueda con cucharas para recibir el chorro de agua y convertirlo en energía mecánica.
- **Turbina Francis:** Adecuada para caídas medias. Tiene un diseño más versátil y eficiente.
- **Turbina Kaplan:** Óptima para caídas bajas y flujos variables. Sus palas son ajustables para adaptarse a diferentes condiciones.

Estas turbinas son esenciales en la generación de energía hidroeléctrica.

2. Turbina de gas:

- Funciona con aire comprimido o gases como el vapor de agua o el dióxido de carbono.
- Se utilizan en plantas de energía y aplicaciones industriales.

3. Turbina de vapor:

- Utiliza vapor de agua sobrecalentado para girar las palas de la turbina.
- Ampliamente utilizada en centrales eléctricas que queman carbón, gas natural o petróleo.

Dentro del prototipo la turbina cumple un papel fundamental para la generación de energía su funcionamiento se basa generalmente en transformar la energía cinética del agua en energía mecánica rotacional, el funcionamiento [11].

3.1.1 RENDIMIENTO DE LAS TURBINAS.

El rendimiento de las turbinas hidráulicas en aplicaciones de bajo caudal depende principalmente del tipo de turbina utilizada y las condiciones específicas del sitio.

En general:

- **Turbinas Pelton:** Estas turbinas son altamente eficientes en condiciones de bajo caudal y alta altura de caída, con eficiencias que pueden llegar al 85% o más. Son ideales para aplicaciones en montañas o en lugares con grandes diferencias de altura, pero con un flujo de agua limitado [12].
- **Turbinas Michell-Banki** (o turbinas de flujo cruzado): Son adecuadas para situaciones de bajo caudal y moderada altura de caída. Su eficiencia es menor que la de las Pelton, generalmente entre el 60% y el 80%, pero son más simples y económicas de construir y mantener, lo que las hace adecuadas para proyectos de pequeña escala en ríos de bajo caudal.
- **Turbinas Kaplan:** Aunque generalmente se utilizan en caudales más altos, las turbinas Kaplan pueden ser diseñadas para trabajar en bajo caudal, pero su eficiencia tiende a ser menor en estas condiciones, oscilando alrededor del 70% al 85%.

3.1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS TURBINAS.

En la figura 1. Se representa las clasificaciones de las turbinas esto tomando tres criterios básicos.

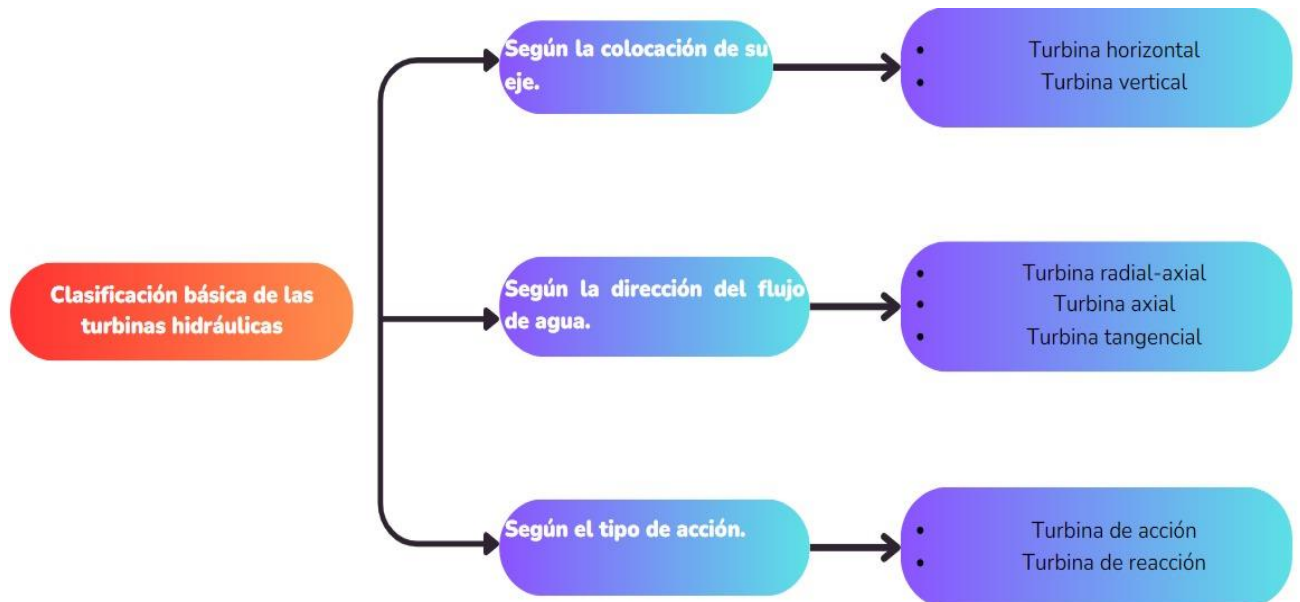


Figura 1 Clasificación básica de las turbinas hidráulicas

En la presente tesis para trabajar se seleccionó la turbina Michell-Banki, la misma que se encuentra en la clasificación según la variación de presión estática como turbina de acción.

3.2 TIPOS DE TURBINAS HIDRÁULICAS.

3.3 Turbina Francis.

Está diseñada para manejar caídas de agua de medianas a altas. El flujo de agua entra radialmente y luego se dirige a través de una serie de álabes dispuestos en espiral. Esta turbina es adecuada para una amplia variedad de instalaciones hidroeléctricas [13].

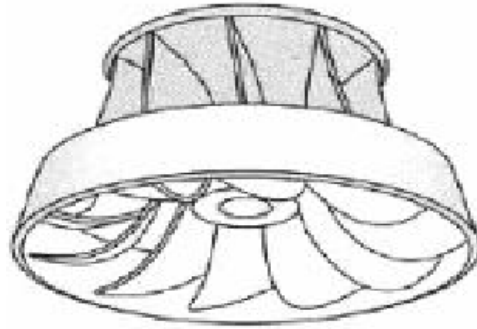


Figura 2 Turbina Francis

Fuente [14].

3.4 Turbina Pelton.

La turbina Pelton es adecuada para caídas de agua elevadas y caudales bajos. El agua es dirigida a través de inyectores y choca con los álabes de la turbina, que tienen forma de cucharas.

Esta turbina es ideal para ubicaciones con grandes caídas y caudales reducidos, como en regiones montañosas [15].



Figura 3 Turbina Pelton

Fuente [14].

3.5 Turbina Kaplan

La turbina Kaplan está diseñada para manejar caídas de agua bajas y caudales elevados. Cuenta con palas ajustables que permiten un control eficiente del flujo de agua. Estas turbinas son comúnmente utilizadas en grandes centrales hidroeléctricas donde se requiere procesar grandes volúmenes de agua con caídas bajas [15].

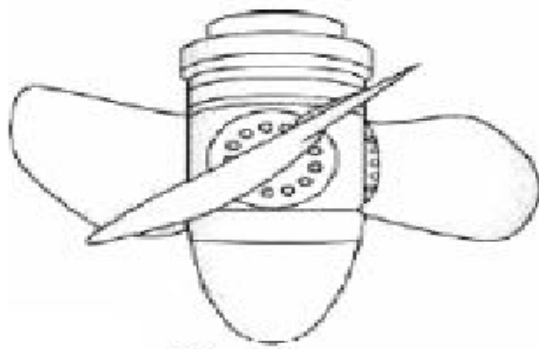


Figura 4 Turbina Kaplan

Fuente [14].

3.5.1 Michell-Banki.

En una turbina de flujo transversal, el fluido fluye de manera diagonal a través de los álabes. El agua entra en el borde de la turbina y sale por el interior, pasando dos veces para lograr alta eficiencia y limpiar el rotor de residuos.

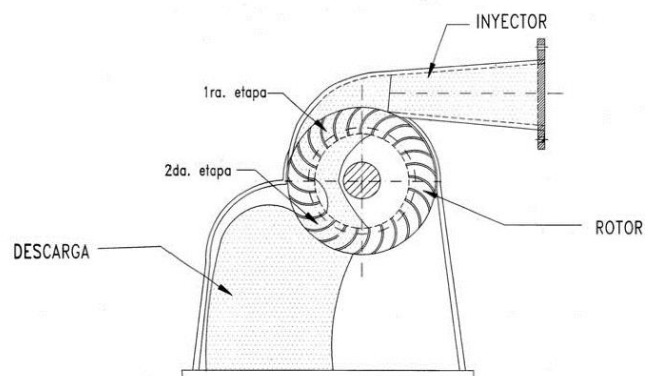


Figura 5 Michell-Banki

Fuente [16]

3.5.2 TABLA DE TIPOS DE TURBINA.

Tabla 3 Tipos de turbinas

Fuente [17].

Turbina Hidráulica	Tipo de Energía	Aplicaciones comunes	Rango de caída de agua (m)	Rango de flujo (m^3/s)	Ventajas	Desventajas
Turbina Pelton	Energía Cinética	Centrales de alta montaña	300 – 1500	0.5 – 1.5	Alta eficiencia en caídas altas y bajos caudales	No apta para caídas bajas o caudales altos
Turbina Francis	Energía Cinética y Potencial	Centrales con rangos medios de caída	10 – 300	1 – 100	Versátil, funciona en un amplio rango de caídas y caudales.	Menor eficiencia en caídas extremas (muy altas o bajas)
Turbina Kaplan	Energía Potencial	Centrales de baja caída y alto caudal	2 – 20	10 - 700	Alta eficiencia en bajas caídas y altos caudales	No eficiente para caídas altas
Turbina Michell-Banki	Energía Cinética	Centrales de baja a media caída	2 - 100	0.1 – 10	Eficiencia dentro de un rango estricto de variación de cargas y caudal	Menos eficiente fuera de su rango óptimo, no es específica para alturas de más de 800 m.
Turbina Turgo	Energía Cinética	Centrales de media a alta caída	50 – 250	0.2 - 3	Simplicidad y menor costo comparado con la Pelton	Menor eficiencia que la Pelton en caídas muy altas
Turbina Bulbo	Energía Potencial	Centrales en ríos con muy baja caída	1 -15	20 – 700	Adecuada para ríos con caídas mínimas y altos caudales	Limitada a caídas extremadamente bajas.

Como se puede observar en la tabla 3, son algunas de las turbinas que tomamos en consideración antes de realizar el prototipo, sin embargo, nos centraremos en la turbina Michell-Banki que nos brinda mayor eficiencia dentro de un rango estricto de variación de cargas y caudal [17].

3.6 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

La turbina Michell-Banki, es importante considerar que se divide en dos etapas, también se la conoce como una ‘turbina de doble efecto’. Sin embargo, el rendimiento no variará significativamente, incluso si el rotor se divide en partes iguales (por ejemplo, 1/3, 2/3 o el rodete completo).

Es importante tener en cuenta, ya que se basa en el aprovechamiento de la energía cinética y potencial del agua para generar energía mecánica, que puede ser convertida en electricidad. Esta turbina es eficiente en condiciones de bajo caudal y a baja altura de caída, esto le hace ideal para pequeños sistemas hidroeléctricos [1].

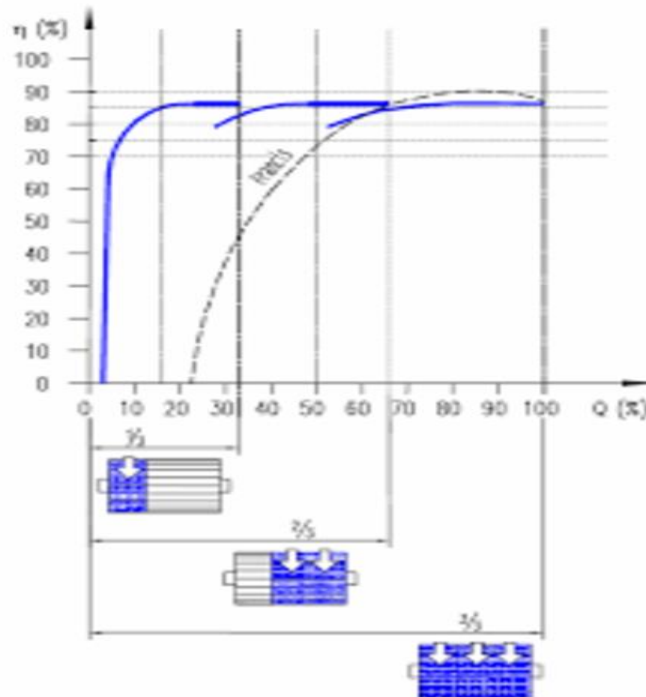


Figura 6 Flujo transversal parcial de la turbina Michell-Banki.

Fuente [18].

En la figura 6 muestra un flujo transversal parcial en este tipo de turbina. Ya que el agua ingresa a la turbina a través de una boquilla o tobera que se dirige hacia las palas del rotor. La tobera está diseñada específicamente para acelerar el agua y dirigirla en un ángulo específico hacia los

álabes de la turbina que esté a su vez optimiza la transferencia de energía [18].

La característica distintiva que tiene este tipo de turbina Michell-Banki es el flujo cruzado del agua a través del rotor ya que, desde un lado, atraviesa las palas en dirección perpendicular al eje del rotor y posteriormente sale por el otro lado. Todo esto se divide en dos fases las cuales son importantes para que cumpla su funcionamiento [18].

El agua entra a alta velocidad y golpea los álabes de la parte externa del rotor, este movimiento transfiere parte de su energía cinética causando que gire, después de que pasa por el centro del rotor el agua vuelve a atravesar los álabes en dirección opuesta el cual sigue el movimiento del rotor transfiriendo nuevamente energía al rotor antes de salir [18].

La voluta está diseñada específicamente para que el agua entre a presión y se aproveche al máximo el movimiento, este movimiento rotacional luego puede ser utilizado para conectar a un generador eléctrico, la energía mecánica se convierte en energía eléctrica [18].

El diseño y los materiales necesarios para construir una turbina Michell-Banki son menos costosos que otro tipo de turbina, empezando por la selección del material que lo convierte en una opción eficaz para la generación de energía en pequeños sistemas hidroeléctricos.

3.7 FABRICANTES DE TURBINAS MICHELL-BANKI.

Estos son algunos fabricantes de turbinas Michell-Banki, junto con información sobre los caudales, eficiencia y rendimiento:

3.7.1 Ossberger GmbH + Co. KG (Alemania) [5].

- Caudales: Desde pequeños hasta unos 10 m³/s.
- Altura de caída: De 2 a 40 metros.
- Eficiencia: Generalmente entre 60% y 80%.
- Rendimiento: Están diseñadas para optimizar el rendimiento en aplicaciones de bajo caudal y alturas moderadas. Son robustas y de fácil mantenimiento, lo que las hace ideales para micro y minicentrales hidroeléctricas.

3.7.2 Global Hydro Energy (Austria) [5].

- Caudales: Adecuadas para pequeños y medianos caudales.

- **Altura de caída:** Varía dependiendo del modelo, pero se diseñan para ser eficientes en alturas bajas a moderadas.
- **Eficiencia:** Sus turbinas Michell-Banki están diseñadas para maximizar la eficiencia en una amplia gama de condiciones, generalmente en el rango del 70% al 80%.
- **Rendimiento:** Enfocadas en aplicaciones pequeñas y medianas, estas turbinas ofrecen un buen rendimiento en sitios con caudales variables y alturas de caída modestas.

3.7.3 TurbiWatt (Francia) [5].

- **Caudales:** Adecuadas para caudales bajos, diseñadas para proyectos de pequeña escala.
- **Altura de caída:** Ideal para alturas modestas, típicamente en el rango bajo a moderado.
- **Eficiencia:** Cerca del 70%.
- **Rendimiento:** Especializadas en microturbinas, estas turbinas son fáciles de instalar y mantener, ofreciendo un rendimiento confiable en condiciones de bajo caudal.

3.7.4 Nautilus LLC (Estados Unidos) [5].

- **Caudales:** Diseñadas para aplicaciones de bajo a medio caudal.
- **Altura de caída:** Desde 1 hasta 50 metros.
- **Eficiencia:** Alcanza eficiencias del 60% al 75%.
- **Rendimiento:** Especialmente útiles en aplicaciones rurales y de pequeña escala, donde el acceso a recursos hidroeléctricos es limitado.

3.7.5 Ventajas de la turbina Michell-Banki según los fabricantes.

Tabla 4 Ventajas de la turbina según los fabricantes

	Global Energy	Hydro Ossberger	TurbiWatt	Nautilus LLC
Alta Versatilidad	X	X		
Adaptabilidad	X	X		
Simplicidad en el Diseño			X	X
Mantenimiento			X	X

Buen Rendimiento en Bajo Caudal		X		
Resistencia a la Obstrucción				X

3.8 PÉRDIDAS, POTENCIAS Y RENDIMIENTOS.

Las máquinas no son 100% eficientes en la transformación de energía, por lo tanto, la potencia de entrada no coincide con la potencia de salida. Esto sugiere que en algún punto del proceso hubo pérdidas de energía, las cuales pueden manifestarse de diversas formas.

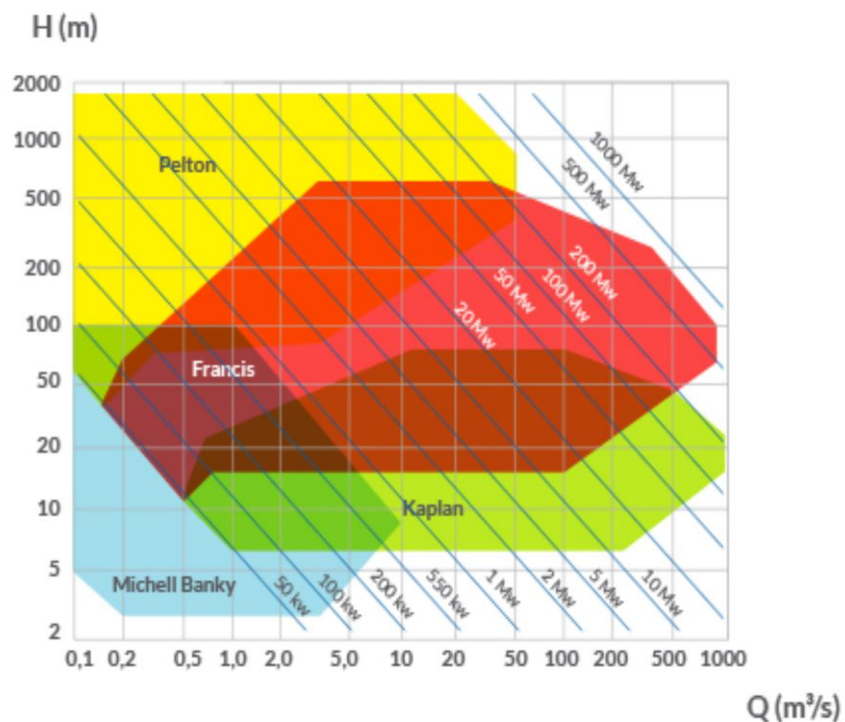


Figura 7 Pérdidas, potencias y rendimientos.

Fuente [19].

La figura 7 presenta un análisis comparativo del rendimiento de diversos tipos de turbinas, resaltando que no existen fabricantes que ofrezcan turbinas capaces de generar 12 voltios y operar con un caudal de 0.00405 m³/s. Esto se debe a que nuestro prototipo se encuentra fuera del rango de caudal y altura comúnmente manejado por las turbinas comerciales [19].

3.9 3.9 Medición del caudal.

Se utilizó diversos métodos para poder determinar el flujo de los ríos a lo largo del año. Algunos

de los métodos más comunes incluyen:

- **Método de la solución de sal:** Este método se basa en la dilución de una solución de sal para estimar el caudal.
- **Método de recipiente:** Consiste en medir el tiempo que tarda un recipiente en llenarse con agua del río
- **Método de área de velocidad:** Calcula el caudal multiplicando el área transversal del río por la velocidad del agua.
- **Método de la sección de control y regla graduada:** Se utiliza para medir el caudal en una sección específica del río mediante una regla graduada.
- **Método del vertedero y pared delgada:** Se basa en la altura del agua sobre un vertedero o una pared delgada para estimar el caudal.

En este punto se debe tener en cuenta las características de los diferentes métodos antes mencionados para poder aplicarlos de la mejor manera. [5]

3.10 Eficiencia de la turbina Michell-Banki en función al caudal.

Tabla 5 eficiencia de la turbina Michell-Banki en función al caudal

Operativa	(%) Caudal	(%) Funcionamiento	Observación
Caudal Bajo	20%	60%	La eficiencia es moderada, si el flujo es el adecuado
Caudal Medio	50%	85%	La eficiencia es máxima ya que la turbina opera en su óptimo punto
Caudal Alto	80%	75%	La eficiencia es ligeramente menor debido a que existen pérdidas en el flujo transversal

Caudal Máximo	100%	70%	La eficiencia disminuye por vibraciones, turbulencias y pérdidas de energía.
------------------	------	-----	--

En la tabla 5, se puede observar la forma en que la turbina Michell-Banki trabaja para aprovechar el flujo transversal para la obtención de energía. Esta turbina, permite que el agua pase a través de los álabes del rotor en dos etapas ya explicadas, lo que aumenta significativamente la eficiencia en la conversión de la energía cinética del agua en energía mecánica útil esta viabilidad en la eficiencia crucial, para entender cómo optimizar el uso de la turbina Michell-Banki en diferentes entornos y aplicaciones asegurando un rendimiento energético máximo y una operación sostenible a largo plazo.

3.11 REGULACIÓN DEL CAUDAL.

Para regular el caudal, se pueden emplear diversos sistemas de control, como tubos, toberas y orificios con distintas características. Estos componentes nos permiten ajustar la velocidad del flujo de manera eficiente [20].

3.12 TURBINA MICHELL-BANKI.

La turbina de flujo transversal conocida como turbina Michell-Banki se desarrolló a principios del siglo 20 esta turbina se basa más en principios de gráficos que nos permiten aprovechar al máximo la eficiencia de energía del agua para generar electricidad [2].

Desde su invención la turbina de río Michell-Banki ha sido objeto de numerosas investigaciones y mejoras a lo largo de los años, ya que se ha venido realizando estudios para optimizar su diseño y poder aumentar la eficiencia al máximo, lo que permite su aplicación en diversos contextos especialmente en proyectos de energía renovable hidroeléctricas a pequeña y mediana escala [2].

Las características generales de la turbina Michell-Banki se destaca por su ingenioso diseño y su facilidad de construcción algunas principales y más notables es la capacidad para operar en un amplio rango de velocidades con independencia del diámetro de la turbina respecto al caudal del agua cabe recalcar su buen rendimiento en las turbinas de pequeño tamaño esto nos permite también regulación del caudal y la potencia mediante álabes ajustables [2].

Esta turbina es ideal para generar energía eléctrica en pequeñas y medianas instalaciones hidroeléctricas, además, se puede utilizar en aplicaciones mecánicas ya que nos proporciona energía para realizar diversas tareas en talleres y otro tipo de instalaciones [2].

Hoy en día las turbinas Michell-Banki son utilizadas en instalaciones hasta de 6 MW. demostrando su versatilidad como su eficiencia además su capacidad para adaptarse es increíble a diferentes condiciones de servicio las convierte en la opción más viable para proyectos hidroeléctricos en diversas regiones [2].

3.13 Generación de energía en centrales hidroeléctricas pequeñas.

La turbina Michell-Banki es ideal para proyectos hidroeléctricos de pequeña escala, donde el flujo de agua es relativamente bajo. Su diseño es eficiente en condiciones de baja presión y caudales fluctuantes, haciendo que sea una opción adecuada para estos sistemas.

3.14 Aprovechamiento Energético en Micro centrales.

Esta turbina también se aplica en micro centrales hidroeléctricas, donde se busca generar electricidad a partir de corrientes de agua con bajo flujo. Es eficaz para utilizar el potencial de ríos pequeños, presas con baja caída o incluso en el tratamiento de aguas residuales.

Tabla 6 Características principales de las turbinas

Fuente [5].

TURBINA		Inventor y año de la patente	Ns (rpm,HP,m)	Q m ³ /s	H m	P kW	η_{max} %
ACCIÓN	PELTON	Lester Pelton (EE.UU.) 1880	1 Ch: 30	0,05 - 60	30 - 1800	2 - 300000	91
			2 Ch: 30 - 50				
			3 Ch: 30 - 50				
4 Ch: 50 - 70							
	TURGO	Eric Crewdson (G. Bretaña) 1920	60 - 260	0,025 - 10	15 - 300	5 - 8000	85
	MICHELL-BANKI	A.G. Michell (Australia) 1903 - D. Banki (Hung) 1917 - 1919	40 - 160	0,025 - 5	1 - 50 (200)	1 - 750	82
REACCIÓN	Bomba Rotatoria	Dionisio Papin (Francia) 1689	30 - 170	0,05 - 0,25	10 - 250	5 - 500	80
	FRANCIS	James Francis (G. Bretaña) 1848	L: 60 - 150	1 - 500	2 - 750	2 - 750000	92
			N: 150 - 250				
			R: 250 - 400				
	DERIAZ	P. Deriaz (Suiza) 1956	60 - 400	500	30 - 130	100000	92
	KAPLAN y de hélice	V. Kaplan (Australia) 1912	300 - 800	1000	5 - 80	2 - 200000	93
	AXIALES.		300 - 800	600	5 - 30	100000	93
	Tubular	Kuhne - 1930					
Bulbo	Hugenin - 1933						
Generador Periférico	Harza - 1919						

3.15 Diseño conceptual

El objetivo es diseñar una simulación para analizar el comportamiento del fluido, del rotor y del generador. Se basa en principios hidráulicos y aerodinámicos para generar energía a partir de flujos de agua con esto se busca contribuir a la sociedad ya que este prototipo de turbina es de fácil fabricación, transporte e instalación en pequeños ríos de bajo caudal [21].

Para alcanzar este objetivo, es esencial dimensionar adecuadamente la estructura del prototipo, así como seleccionar los materiales, el generador adecuado y disponible dentro del mercado. De esta manera, se logrará implementar una solución robusta y eficiente.

Para cumplir con los objetivos planteados se puede reducir el diseño conceptual a un diagrama en donde se visualizará en 3 etapas. La figura 8 muestra la interacción de la turbina, en este caso la entrada, la voluta, el generador, y la salida de energía.

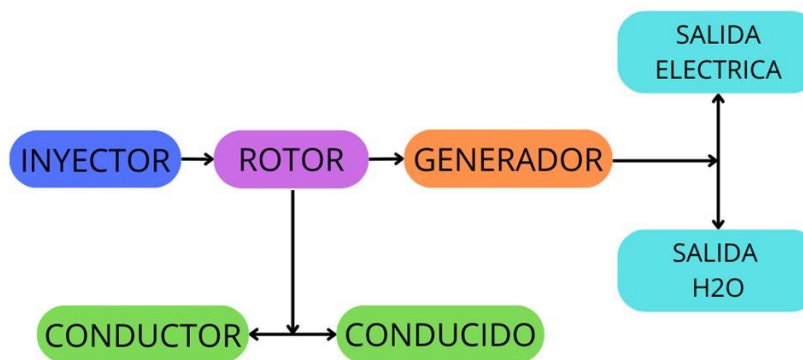


Figura 8 Diseño de la propuesta en bloques

La primera etapa consiste en construir un inyector capaz de captar el mayor caudal posible. Este debe ser resistente y firme para soportar la fuerza del flujo entrante, además, es esencial que el diseño del inyector permite un mantenimiento sencillo y eficiente, garantizando así su durabilidad y funcionamiento óptimo a largo plazo. También se debe considerar el uso de materiales sólidos a la corrosión para prolongar la vida útil del inyector.

La segunda etapa será diseñar un rotor que genere movimiento mediante el flujo de agua hacia las palas de la turbina, ya que este es un prototipo de flujo transversal para aprovechar el máximo de su rendimiento ya que el eje que transmite la energía de la turbina al generador. Debe ser sólido para soportar las fuerzas de operación, lo que conlleva a que el número y la disposición de los álabes de la turbina, debe estar a un cierto ángulo de inclinación para que gire y no choque y se quede estático lo que buscamos es una eficiencia en el diseño para esto se debe diseñar conductos que canalizan el agua hacia las palas de la turbina en este caso es la boquilla, esto debe minimizar las pérdidas por fricción y tubería, ya que debemos considerar el uso de difusores de energía cinética del agua en presión, esto se replica si fuera un prototipo a mayor escala, en este caso solo se trata de diseñar la turbina para aprovechar lo máximo del caudal para la generación de energía.

La tercera etapa incluye la construcción de un prototipo a escala o un complemento basado en el diseño conceptual. Utiliza técnicas de fabricación adecuadas para asegurar la precisión y calidad del prototipo. Realizaremos pruebas para verificar el rendimiento del prototipo ya que ajustaremos el diseño según los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas.

La cuarta etapa contará con engranajes en este caso el conductor y el conducido, para que nos pueda garantizar la generación de energía mediante el flujo constante ya que parte de la transferencia de movimiento de los dos elementos mecánicos, donde actúa como el conductor (el que suministra energía) y el otro engrane es el conducido (el que recibe la energía). Este principio es fundamental en la conversión de energía mecánica en energía eléctrica, especialmente en sistemas de generadores eléctricos a pequeña escala para optimizar el funcionamiento.

Este componente que inicialmente genera el movimiento ayudando al rotor de la turbina que gira debido al flujo de agua es el conductor, este componente que recibe el movimiento desde el conductor en un generador eléctrico, ya que el conducido será el que mediante el rotor genera movimiento y a su vez electricidad, ya que está conectado con un eje a la turbina (conductor) y este transmite el movimiento rotacional al eje generador (conducido). Este movimiento puede variar dependiendo la velocidad o el torque del movimiento incluso también del diseño.

La eficiencia de la generación de energía depende de la velocidad de rotación del conducido, ya que la relación de transmisión entre el conductor y el conducido puede ajustarse para optimizar la generación de energía este mecanismo nos asegura la generación de energía efectiva y es aplicable a múltiples fuentes de energía.

La quinta etapa contará con el generador este será diseñado especialmente para el trabajo bajo el agua y su resistencia debe ser creada para ser duradera con componentes resistentes al desgaste, ya que estará incluido al prototipo este estará bajo el agua en funcionamiento, el objetivo es obtener electricidad necesaria para poder cargar dispositivos de baja potencia, así como luces, radio, etc. Que utilicen 12V con el fin de que sea de fácil movilización en campamentos o entornos donde se pueda obtener energía con el prototipo. Es importante considerar no solo la capacidad de corriente y la potencia, sino también la eficiencia, el tipo de generador y las condiciones operativas para asegurarnos de que sea el adecuado para el trabajo específico.

Utilizando los datos de las pruebas obtenidos para identificar áreas de mejora en el diseño, realizando ajustes en base a los resultados de las pruebas para optimizar el rendimiento y la eficiencia de la turbina. El diseño conceptual de una turbina Michell-Banki es un proceso recurrente que implica la integración de varios conocimientos, en este caso mecánicos y materiales para crear un prototipo eficiente y funcional [21].

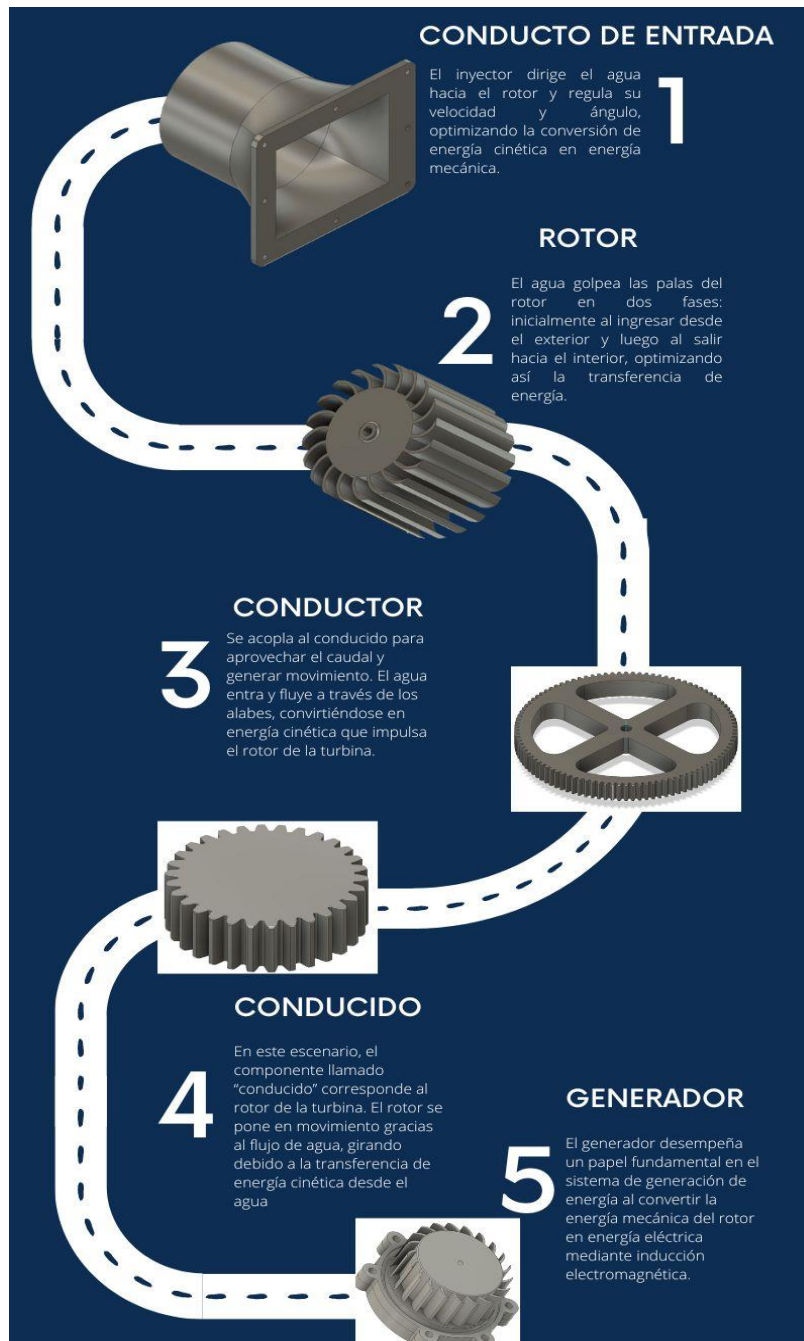


Figura 9 Diseño básico de funcionamiento.

El proceso de generación consta de cinco etapas bien definidas que podemos visualizar en la Figura 9, Se dirige el agua hacia los álabes, produciendo movimiento con el conductor de esta manera, se logra un ángulo óptimo para aprovechar al máximo la energía.

3.16 Selección del número de álabes.

Tabla 7 características de pérdidas de la turbina Michell-Banki.

Número de Álabes (N)	Diámetro del Rotor (m)	Potencia Hidráulica (W)	Potencia Mecánica (W)	Comentarios
10	0.078	11.56	4.06	Eficiencia promedio
12	0.078	11.56	4.06	Mejor distribución del flujo
15	0.078	11.56	4.06	Mejora en la regulación
20	0.078	11.56	4.06	Máximo número recomendado

3.17 Pérdidas hidráulicas

Las pérdidas de energía en una turbina, que afectan la eficiencia, se deben a varios factores. Primero, la fricción entre el fluido y las paredes de la turbina además de las partículas del fluido contribuyen a las pérdidas. Por último, los cambios de dirección del fluido dentro de la turbina también generan pérdidas, conocidas como pérdidas superficiales y pérdidas de forma [22].

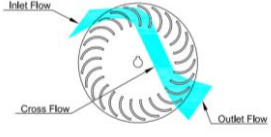
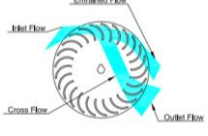
3.18 Pérdidas volumétricas.

Las pérdidas de caudal en un sistema se deben a fugas, ya sea por holguras en las partes móviles o juegos. Estas pérdidas, también conocidas como pérdidas intersticiales, pueden clasificarse en dos tipos: pérdidas interiores (q_i) y pérdidas exteriores (q_e).

- **Pérdidas interiores (q_i):** Estas son especialmente relevantes, ya que afectan significativamente el rendimiento de ciertas bombas. Se producen debido a fugas internas en el sistema.
- **Pérdidas exteriores (q_e):** Estas ocurren cuando hay una fuga de fluido entre el eje de la bomba y la carcasa. Para resolver este problema, se utiliza una caja de empaquetadura que contiene prensaestopas con pernos. Esta caja permite comprimir el eje contra los

prensaestopas y sellar la junta.

Tabla 8 características de pérdidas de la turbina Michell-Banki [23].

Etapa del Flujo	Descripción	Diagrama
Primera Etapa	El fluido entra por el inyector y golpea los álabes del rotor en la primera etapa. El flujo es transversal ya que afecta la mitad del rotor.	 <p>[23].</p>
Segunda Etapa	Después del giro del rotor, el fluido sigue su trayectoria hacia la parte interna del rotor posteriormente vuelve a cruzar un segundo alabe de paletas en la dirección contraria	 <p>[23].</p>

3.19 Fórmulas para el funcionamiento de la turbina

Para que el prototipo de la turbina Michell-Banki sea eficiente, es esencial aplicar varias fórmulas, ya que estas fórmulas nos ayudarán en el diseño y la mejor optimización de esta.

3.20 RELACIÓN DE TRANSMISIÓN.

$$i = \frac{N_c}{N_d} \quad (1)$$

3.21 ALTURA EFECTIVA DISPONIBLE

$$H_{baja} = H_{turbina} - H_{fuente} \quad (2)$$

3.22 POTENCIA ÚTIL. (P)

Mataix C. Indica que, es el aumento de la potencia en el fluido que tiene en la turbina. [22]

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \quad (3)$$

Donde:

Q = Caudal efectivo que mueve la turbina (m^3/s)

ρ = Densidad absoluta (kg/m^3)

g = Aceleración de la gravedad (m/s^2)

H = Altura neta (m)

Se utilizó para calcular la potencia útil.

3.23 RENDIMIENTO HIDRÁULICO (η_h)

Como se muestra en [22]. la ecuación se expresa de la siguiente manera.

$$\eta_h = \frac{h}{H_u} \quad (4)$$

Se usó para calcular el rendimiento hidráulico.

Donde:

H = Altura neta (m)

H_u = Altura útil (m)

3.24 POTENCIA ÚTIL.

$$P_{\text{util}} = n \cdot P_{\text{tuberia}} \quad (5)$$

P_{util}: Potencia útil, que es la potencia realmente aprovechada o utilizada por el sistema. Se mide en vatios (W).

n: Este puede representar varios factores dependiendo del contexto, pero comúnmente podría ser el número de unidades (como turbinas o motores), el número de revoluciones por minuto (rpm), o algún otro factor multiplicador relacionado con el sistema.

$P_{\text{tubería}}$: Potencia asociada con la tubería, que podría ser una medida de potencia calculada para el flujo a través de la tubería o relacionada con el rendimiento de la tubería en un sistema.

3.25 EFICIENCIA DE LA TURBINA

$$n_t = \frac{P_{\text{out}}}{P_h} \quad (6)$$

n_t : Eficiencia de la turbina. Representa la proporción de la potencia hidráulica que se convierte en potencia útil por la turbina.

P_{out} : Potencia útil o potencia de salida de la turbina. Esta es la potencia que la turbina entrega a la carga o al sistema externo.

P_h : Potencia hidráulica disponible. Es la potencia calculada a partir de la altura efectiva y el caudal del fluido antes de considerar las pérdidas en la turbina.

3.26 VELOCIDAD ANGULAR DEL ROTOR.

$$\omega = \frac{2\pi \cdot N}{60} \quad (7)$$

ω = Velocidad angular en radianes por segundo (rad/s)

N = Velocidad en revoluciones por minuto (rpm)

π = 3.14159 (constante matemática)

60 = Número de segundos en un minuto

Torque

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (8)$$

T : Momento o par motor (en Newton-metros, Nm). Representa la fuerza rotacional que actúa sobre un eje.

P: Potencia (en vatios, W). Es la tasa a la que se realiza trabajo o se transfiere energía.

ω : Velocidad angular (en radianes por segundo, rad/s). Es la rapidez con la que gira un objeto alrededor de un eje.

3.27 POSICIÓN DEL ALABE.

$$\alpha = \theta - \beta \quad (9)$$

θ = Ángulo del álab con respecto al eje del rotor.

β = Ángulo del flujo respecto al eje del rotor.

3.28 ÁNGULO CURVATURA DE LOS ÁLABES.

$$\text{Angulo de curvatura} = \arctan\left(\frac{D - R}{R}\right) \quad (10)$$

D: Valor superior o diferencia en altura que estás considerando.

R: Valor de referencia o base sobre la cual se mide la diferencia.

3.29 RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO.

$$n_u = \frac{Q}{Q + q_e + q_i} \quad (11)$$

n_u : Proporción útil o eficiencia.

Q: Caudal o flujo útil.

q_e : Caudal de entrada externo. Este es el flujo o cantidad de recurso que entra al sistema desde una fuente externa y no se utiliza directamente o tiene una utilidad reducida.

q_i : Caudal de entrada interno o caudal perdido. Este representa el flujo que se pierde dentro del sistema o que no contribuye a la utilidad directa del sistema.

3.30 VELOCIDAD DEL AGUA EN EL CAUDAL.

$$v = \frac{d}{t} \quad (12)$$

v : Velocidad del agua.

d : Distancia recorrida o el desplazamiento del agua.

t : Tiempo en el que se ha recorrido la distancia

3.31 ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA TUBERÍA.

$$A = \pi \cdot r^2 \quad (13)$$

A : Área de la sección transversal (en metros cuadrados, m²).

r : Radio de la tubería (en metros, m).

π : 3,14159.

3.32 CAUDAL (Q)

$$Q = v \cdot A \quad (14)$$

Q : es el caudal o flujo volumétrico.

v : es la velocidad del flujo del fluido.

A : es el área de la sección transversal de la tubería o conducto.

3.33 POTENCIA ÚTIL.

$$Pu = \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot n \cdot m \quad (15)$$

Pu : Potencia Útil

n : Número de Revoluciones por Minuto (rpm):

m : Momento o Par Motor.

$\frac{2\pi}{60}$: Factor de Conversión

3.34 FÓRMULA DE BERNOULLI ($H = y + \frac{v^2}{2 \cdot g}$) [22].

La ecuación muestra la energía total por unidad de peso en fluido incompresible y en movimiento.

$$H = y + \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (16)$$

Se usó para calcular la altura total alcanzada.

Donde:

y = Profundidad (m)

v = Velocidad del fluido (m/s)

3.35 g = Gravedad (m/s²)

3.36 VELOCIDAD DE ROTACIÓN.

Se indica en la siguiente fórmula.

$$N = \frac{39,85\sqrt{H}}{De} \text{ (rpm)} [22] \quad (17)$$

Se usó para calcular la velocidad de rotación

Donde:

H = Energía específica o salto efectivo. (m)

De = Diámetro del rodete (m)

3.37 ÁNGULO DE CURVATURA DE LOS ÁLABES.

La OLADE indica la fórmula para calcular el ángulo de curvatura, para el caso de estudio se utilizará el valor de 73°

$$\phi = \text{arc tg} \cdot \left[\frac{V_{m2}}{U_2} \right] [22]. \quad (18)$$

Donde:

V_{m2} = Representa el flujo del fluido a través del álabe.

U_2 = velocidad del fluido en la dirección de rotación del álabe.

El ángulo de admisión del inyector al rotor es variable, pero es aconsejable utilizar 120° . Se puede calcular de la siguiente manera.

$$Z\alpha = \frac{\delta}{360} \cdot Z \quad [22] \quad (19)$$

Donde:

δ = Representa el ángulo de admisión del inyector al rotor.

Z = Número de álabes.

3.38 CAUDAL EFECTIVO.

$$Qa = \frac{Q}{Za} \quad (20)$$

Q : Caudal o flujo volumétrico

Za : Este puede representar varios factores dependiendo del contexto, como el número de unidades en un sistema, el número de secciones en las que se divide el caudal, o un coeficiente de ajuste.

Qa : Caudal ajustado o caudal por unidad.

Capítulo III

4. METODOLOGÍA

En el presente documento se detallan de manera exhaustiva los métodos, materiales y componentes empleados en la construcción de un prototipo de turbina Mitchell-Banki, diseñada específicamente para su utilización en ríos de bajo caudal.

4.1 Diseño de prototipo.

Para realizar este proyecto se inició con el diseño y el estudio necesario para poder elegir cada uno de sus componentes y del mismo modo tomamos referencias de las turbinas, con el fin de replicar a menor escala y que sea fácil de transportar.

4.2 Elección del mejor diseño

Se llevó a cabo un análisis profundo de diversos diseños de turbinas para ríos, lo que permitió desarrollar un modelo optimizado que se ajusta de manera precisa a los objetivos del proyecto. El diseño destaca por su capacidad para cumplir con las funciones requeridas, enfocándose así en la eficiencia en entorno de bajo caudal.

4.3 Desarrollo del prototipo

A continuación, nos enfocamos en la definición clara de los objetivos del prototipo, los cuales se describen en las siguientes secciones. Establecer estos objetivos nos permitirá optimizar las funcionalidades del diseño y garantizar que cumpla con los requisitos específicos del proyecto. En estas etapas se abordarán los aspectos clave que guían el desarrollo y la implementación del prototipo, asegurando su eficacia y eficiencia:

- **Tipo de energía:** Para este proyecto tenemos como finalidad la generación de energía mecánica se convierte en energía cinética, este movimiento rotatorio es lo que puede ser utilizado para generar electricidad en un generador acoplado a la turbina.
- **Dimensiones de la Máquina:** Hay que tomar en cuenta las dimensiones con las que se trabajara ya que se trata de un modelo robusto pero compacto, lo que se haría muy fácil trasladarlo y pueda hacer en cualquier río de bajo caudal.
- **Caudal requerido:** El prototipo requiere de un buen caudal ya que el micro generador trabaja a buen flujo y movimiento constante.

4.4 Diseño CAD.

Continuando con el proyecto, utilizamos software de diseño asistido por computadora (CAD) para crear un modelo 3D del prototipo de turbina Michell-Banki y así visualizarlo de manera anticipada. En esta fase contamos con varias herramientas de diseño como es SolidWorks, Fusión 360, Catia son ampliamente utilizadas para el diseño.

4.4.1 Aspectos Fundamentales del Modelado CAD.

- **SolidWorks:** Es un software especializado en el modelado en 3D y simulación, ya que es muy utilizado especialmente en ingeniería mecánica y diseño de productos.
- **Fusión 360:** Es un programa de modelado CAD que se basa en la nube que combina diseño, ingeniería y manufactura en una sola plataforma.

1. Tipos de Modelado:

- **Modelado 2D:** Se involucra principalmente en la creación de representaciones bidimensionales, adecuadas para planos, diagramas y diseños básicos.
- **Modelado 3D:** Nos permite el desarrollo de modelos tridimensionales, que se pueden manipular en un entorno virtual para una visión más detallada y precisa de los objetos.

2. Técnicas de Modelado:

- **Modelado de Sólidos:** Nos ayuda con la generación de modelos tridimensionales con volúmenes definidos, utilizando métodos como extrusión, revolución y lofting.
- **Modelado de superficies:** Se centra en la creación de formas complejas y suaves mediante el uso de superficies en lugar de sólidos.
- **Modelado Basado en Nubes de Puntos:** Emplea datos de escaneo 3D para construir modelos a partir de las coordenadas de los puntos escaneados.

3. Ventajas del Modelado CAD:

- **Precisión:** Permite la creación de modelos con alta precisión que cumplen con especificaciones exactas.
- **Simulación y Análisis:** Proporciona herramientas para simular cómo se comportará un diseño bajo diferentes condiciones, incluyendo análisis estructural, térmico y dinámico.
- **Visualización:** Facilita la visualización tridimensional y el renderizado realista de modelos, ayudando en la toma de decisiones.

- **Modificación Rápida:** Permite realizar ajustes y mejoras en el diseño de manera ágil, promoviendo la iteración y optimización del producto.

4.4.6 Aplicaciones del Modelado CAD:

- **Arquitectura:** Utilizado para elaborar planos de edificios, visualizar interiores y exteriores, y planificar infraestructuras.
- **Ingeniería:** En el diseño de componentes mecánicos, sistemas eléctricos y estructuras, así como en la simulación de su rendimiento.
- **Diseño Industrial:** Para desarrollar productos que van desde artículos de consumo hasta maquinaria industrial, considerando tanto funcionalidad como estética.
- **Manufactura:** Preparación de modelos para procesos de fabricación, como mecanizado, impresión 3D y corte láser.

4.4.7 Tendencias en el Modelado CAD:

- **Modelado Paramétrico:** Utiliza parámetros y restricciones para crear modelos que pueden ser fácilmente modificados y actualizados.
- **CAD en la Nube:** Ofrece herramientas basadas en la nube que permiten acceso y colaboración en tiempo real desde diferentes ubicaciones.
- **Integración con Fabricación Aditiva:** Establece un vínculo directo entre el diseño CAD y la impresión 3D, facilitando la creación de prototipos y piezas finales.

4.5 CAE.

La Ingeniería Asistida por Computadora (CAE) utiliza software especializado para realizar simulaciones y análisis de ingeniería. Esto incluye:

- **Análisis de Elementos Finitos (FEA):** Evalúa el comportamiento de materiales y estructuras bajo diversas condiciones.
- **Dinámica de Fluidos Computacional (CFD):** Simula el flujo de fluidos y la transferencia de calor.
- **Análisis Multicuerpo (MBD):** Estudia el movimiento y las interacciones de sistemas mecánicos complejos.

4.5.1 Beneficios del CAE.

- Reducción de Costos: Permite identificar y corregir problemas en la fase de diseño, evitando errores costosos en la fabricación.
- Optimización del Diseño: Mejora el rendimiento y la eficiencia de los productos.
- Aceleración del Desarrollo: Reduce el tiempo necesario para llevar un producto desde el concepto hasta el mercado.

4.5.2 Software Popular de CAE.

- ANSYS: Utilizado para FEA y CFD.
- Solidworks Simulation: Integrado en el software de diseño solidworks.
- Autodesk CFD: Especializado en simulaciones de fluidos.

4.5.3 Aplicaciones Comunes.

- Automotriz: Diseño y prueba de componentes de vehículos.
- Aeroespacial: Simulación de condiciones de vuelo y análisis estructural.
- Electrónica: Evaluación de la disipación de calor en dispositivos electrónicos.

4.6 CAM.

CAM utiliza tecnología computacional para controlar y optimizar los procesos de fabricación. Esto incluye la creación de instrucciones y programas que guían máquinas CNC (Control Numérico por Computadora) para producir piezas y productos con alta precisión.

4.6.1 Ventajas del CAM.

- Precisión y Consistencia: Permite fabricar piezas con alta precisión y repetibilidad.
- Eficiencia: Reduce el tiempo de producción y minimiza el desperdicio de materiales.
- Flexibilidad: Facilita la producción de piezas complejas y personalizadas.

- Integración: Se puede integrar con otros sistemas como CAD (Diseño Asistido por Computadora) para un flujo de trabajo más eficiente.

4.6.2 Aplicaciones del CAM

- Industria Automotriz: Fabricación de componentes de motores y carrocerías.
- Aeronáutica: Producción de piezas de alta precisión para aviones.
- Medicina: Creación de prótesis y dispositivos médicos personalizados.
- Electrónica: Fabricación de circuitos impresos y componentes electrónicos.

4.6.3 Proceso de CAM

- Diseño: Se crea un modelo 3D de la pieza utilizando software CAD.
- Programación: El software CAM genera el código G necesario para guiar las máquinas CNC.
- Simulación: Se simula el proceso de fabricación para detectar posibles errores.
- Producción: Las máquinas CNC ejecutan el código para fabricar la pieza.

4.7 Simulación CFD

Mediante el uso del Software de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD), se observó el comportamiento del flujo de agua a través del prototipo de turbina.

Una vez realizado este análisis podemos comprobar si nuestro prototipo de turbina Michell-Banki necesita algún ajuste para que el caudal sea el óptimo para su funcionamiento así podremos lograr evitar que se pierda la eficacia en generación de energía.

4.8 SELECCIÓN DE MATERIALES

4.8.1 Elementos reales y diseño.

Se consideraron elementos que sean reales y se encuentren disponibles en el mercado nacional además deberán cumplir con el diseño tanto interno como externo de la turbina.

4.8.2 Selección de filamentos.


1. Beneficios de los Filamentos

La elección de estos materiales se basa en su durabilidad, resistencia y propiedades mecánicas. Para esto la fibra de carbono nos ofrece una mayor dureza además de igual resistencia que el acero, sin sobrecalentamiento debido a su naturaleza sintética y ligereza.

2. Filamento de Fibra de Carbono.

Para la base estructural y el rotor usamos el filamento de carbono, debido a la gran durabilidad y rigidez estas son buenas características importantes que lo hacen destacar en aplicaciones de alta precisión y rendimiento.


Tabla 9 Características del filamento de fibra de carbono

MATERIAL	CARACTERÍSTICAS
 A photograph showing several spools of carbon fiber filament. The spools are arranged in a row, with some showing the filament wound around them. The filament appears as a dark, thin line against the lighter background of the spools.	<ul style="list-style-type: none">• Gran durabilidad• Rigidez• Buena resistencia a la corrosión• Ligereza• Acabado superficial

3. Filamento de Nylon

Para el interior de la turbina en este caso los engranajes y los soportes laterales están impresos del filamento de Nylon debido a la durabilidad, firmeza y robustez.

Tabla 10 Características del filamento de Nylon

MATERIAL	CARACTERÍSTICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Gran durabilidad • Robustez • Resistencia al desgaste • Flexibilidad necesaria para soportar tensiones mecánicas. • Soporta vibraciones.

Se realizó un cuadro comparativo de los filamentos ocupados para este prototipo.

Tabla 11 Comparativa de filamentos de impresión 3D

Características	Fibra de Carbono	Nylon
Composición	Es una Mezcla de polímeros (como PLA o Nylon) con fibras de carbono cortas	Es un polímero sintético basado en poliamidas.
Resistencia	Tiene una alta rigidez y resistencia a la tracción lo que le hace ideal para la fabricación de piezas estructurales.	Tiene una alta resistencia a la tracción y al impacto lo que le hace flexible y duradero
Peso	Es ligero, fácil de impresión 3D	Es uno de los materiales más ligeros entre los filamentos comunes.
Resistencia al calor	Su resistencia a la temperatura alta es moderada.	Tiene una alta resistencia al calor, superior a otros filamentos de impresión
Resistencia a la abrasión	Su resistencia es alta, ideal para piezas sometidas al desgaste	Su resistencia es aún mejor que otros filamentos comunes.
Flexibilidad	Su flexibilidad es baja ya que está compacta para trabajos, que se ejercen fuerza ya que el material impreso es rígido	Es muy flexible en cuanto a diseño de piezas al igual que es muy resistente al trabajo

Facilidad de impresión	Su impresión es un poco más trabajosa ya que requiere una boquilla endurecida y buena configuración	Su Impresión es difícil ya que tiende a deformarse con el calor de la punta de impresión y requiere cierta configuración y un entorno controlado.
Acabado superficial	La superficie mate y rugosa debido a las fibras de carbono	Es algo suave y brillante y es muy buen ya que puede absorber la humedad.
Durabilidad	Es muy alta ya que mayor mete es usada en aplicaciones de alta carga y desgaste.	Es igual muy alta, es muy buena a la absorción de humedad.
Rigidez	Muy alta, excelente para las aplicaciones que requieren piezas rígidas y de larga durabilidad	Media a baja ya que es un material flexible.

La fibra de carbono es ideal para aplicaciones que requieren rigidez alta y resistencia a la tracción, al momento de imprimir puede ser más costosa debido a la fricción del material.

El nylon nos ofrece un excelente equilibrio entre flexibilidad, resistencia al impacto y durabilidad, aunque requiere un ambiente de impresión.

Como se puede observar en la fotografía # está el ensamble del prototipo de turbina Michell-Banki la fibra de carbono y el nylon fueron escogidos para este trabajo ya que los dos cumplen con las funciones adecuadas para el trabajo que se le exige, en cuanto a la durabilidad, rigidez, peso y resistencia hacen que el prototipo sea muy eficiente ya que con el tiempo no necesitaría ningún mantenimiento.

4.9 TIPO DE RELLENO.

La impresión 3D con filamento de fibra de carbono requiere una cuidadosa selección del tipo de relleno para optimizar la resistencia, peso y tiempo de fabricación de la pieza. El relleno interno puede variar en patrones para mejorar estos aspectos.

4.9.1 RELLENO EN REJILLA.

En esta tesis, se eligió utilizar el relleno tipo rejilla debido a su eficiencia en el uso de material, lo que conlleva beneficios tanto ecológicos como económicos. En este patrón de relleno, el plástico se dispone en una estructura de rejilla cúbica que se cruza a ángulos de 90 grados.

4.10 Micro Hydro generador portátil de 12V.

Para la elección del generador, optamos por un modelo hermético de 12V, ideal para dispositivos de baja potencia como cargar celulares y encender focos. Este generador también es adecuado para aplicaciones que requieren corriente continua. Su ventaja principal es que puede operar bajo el agua sin dañarse, aunque su voltaje puede fluctuar entre 10 y 11.44V dependiendo de la carga.

La velocidad de operación necesaria para producir 12V puede variar, y la eficiencia de los generadores pequeños suele estar entre el 55% y el 88%, según el diseño y las condiciones de flujo.

Para controlar el proceso de generación, se compararon diferentes tipos de generadores micro hidráulicos portátiles en términos de potencia, voltaje, potencia de salida y frecuencia, para evaluar sus aspectos técnicos.

Tabla 12 Características de los generadores.


Tipo de turbina	Potencia	Voltaje	Potencia de salida	Frecuencia
Beduan	10 vatios	12V	12 vatios	50 Hz
Wonofa	10 vatios	12V	10 vatios	50 Hz
BQLZR	3.5 vatios	12V	35 vatios	50 Hz
Walfront	36 vatios	24V	12 vatios	-----

Como se puede observar en la tabla 12, todos los generadores tienen diferentes características, sin embargo, para la presente investigación se seleccionó el Micro Hydro generador Beduan, puesto que este nos da el voltaje nominal de trabajo de potencia de salida, además que tiene un precio accesible.

4.5 Generador

Para este proyecto se usó un micro generador hidráulico Beduan de 12V seleccionado debido a una combinación de factores clave ya que destaca por su capacidad de energía de manera eficiente que este presenta y a su fácil instalación para el trabajo que vaya a ser utilizado.


Tabla 13 Características del generador.

DISPOSITIVO	CARACTERÍSTICAS
	<ul style="list-style-type: none">• Eficiencia• Facilidad de instalación• Costo• Compatibilidad con sistemas existentes

4.11 RELACIÓN DE TRANSMISIÓN.

Al analizar cómo mejorar el rendimiento del prototipo de turbina Michell-Banki se optó por realizar un mecanismo ya que este es un proceso de transferir energía y movimiento de un componente a otro dentro de un sistema de engranes, se optó por la facilidad de cálculo y facilidad de diseño, esto consiste en un parámetro clave que define cómo se relacionan las velocidades angulares, así como también los torques y las fuerzas que están entre dos o más engranes del sistema.

Tabla 14 Características de los engranajes de relación de transmisión

MATERIAL	CARACTERÍSTICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Durabilidad del material • Transferencia eficiente de movimiento • Adaptabilidad a diferentes aplicaciones • Compatibilidad con diferentes componentes

Posterior de haber realizado los estudios correspondientes sobre la relación de transmisión es crucial en el diseño ya que mejora y optimiza los resultados finales a la investigación. Así como también se comprendió el cálculo y la aplicación de esta relación por que mejora la eficiencia de máquinas y mecanismos.

4.12 Carcasa.

Se tomaron en cuenta varios diseños de la carcasa, pero se optó por hacer una relación de transmite para aprovechar al máximo el caudal.

4.13 Eje

La selección del eje de la turbina se realizó considerando que la turbina transmite su potencia al generador por intermedio de un acoplamiento o un sistema de transmisión por engranajes.

4.14 CONSTRUCCIÓN

Una vez elegidos cada uno de los componentes que mejor se adaptan a nuestro prototipo se procedió con la construcción de este, para esto se detalló paso a paso el proceso de ensamblaje.

4.15 ARMADO DE LA ESTRUCTURA

Para la parte estructural tenemos lo siguiente.

- Fabricamos las piezas que se realizaron en el diseño CAD, mediante una impresora 3D, que tiene una composición del 90% de material de carbono, con la finalidad de que logre obtener piezas robustas y resistentes

- Realizamos el ensamble con pernos de 0.5mm para que su ajuste y su ensamble sea eficiente y no exista pérdidas de fluido posteriormente se hizo un recubrimiento con silicón gris, para asegurarnos que no haya pérdida de flujo.
- Procedemos a con la instalación del rodete en la parte interior de la turbina existen guías la cual hace que su ensamble sea fácil y no de mayor problema, posteriormente colocamos las tapas del rodete y ensamblamos el mecanismo para que este mejore su rendimiento.
- Una vez armado el prototipo de la turbina procedemos a instalar el generador.

4.16 INSTALACIÓN DE LA BASE

Una vez armado la parte del prototipo de turbina Michell-Banki procedemos con el montaje:

- Instalamos y aseguramos nuestro prototipo a una altura de 20cm para que este no esté tan al fondo y reciba todas las impurezas que trae el río.
- Después de esto se procede a verificar que las guías de las bases estén a un buen nivel sin que afecte la posición de la turbina.
- Una vez finalizado el montaje se ajustó las tuercas para que esté a una altura adecuada y esté listo para su funcionamiento.

4.17 SOFTWARE

Se tiene en cuenta los programas que facilitan el estudio del comportamiento de un fluido, con eso se observa el flujo del fluido dentro del prototipo, los programas utilizados se detallan a continuación:

- **Extensión CFD:** El software de Autodesk brinda un estudio detallado del fluido, su comportamiento interno y su fluidez
- **SolidWorks:** El software representa el recorrido del flujo, su temperatura, su fuerza y su dimensión al 100% en el recorrido del fluido dentro del prototipo.

4.18 PRUEBAS

Tras completar con el ensamble y las pruebas realizadas en ríos de bajo caudal se procede a evaluar su funcionalidad, asegurándose de que la base del prototipo esté estable para que su funcionamiento sea de mejor manera.

Una vez que el prototipo está puesto en funcionalidad se obtiene los valores que varían ya que

el fluido era demasiado bajo y existían pérdidas de caudal se trabajó con la altura de la base del prototipo el cual su trabajo es eficiente si toda la turbina trabaja sumergida por completo y no a mitad de sumergida.

También se realizó pruebas en ríos de medio caudal, lo cual no funcionó en su totalidad debido a que existían pérdidas significativas y su voltaje no era estable.

4.19 Elementos de medición.

- **Multímetro:**

Para la recolección de los datos de voltaje, corriente y frecuencia de la corriente eléctrica.

Capítulo IV

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El prototipo de la turbina Michell-Banki en un río de bajo caudal se centra en evaluar que tan factible es la generación de energía eléctrica, de modo que se puede enfocar en el análisis de algunos aspectos fundamentales; para verificar su funcionamiento, rendimiento y la eficiencia de la turbina bajo diferentes condiciones operativas. Este análisis se llevó a cabo después de las pruebas realizadas tanto en el análisis CFD como en las pruebas experimentales.

5.1 Simulación análisis de resultados

Esta técnica nos ayuda a verificar el diseño mecánico dentro el software, así como de la simulación del proceso que se va a realizar además nos ayudará a comprobar que se encuentre dentro de los parámetros para su correcto funcionamiento, también nos ayuda a controlar el proceso de la velocidad en la que ingresa el fluido, resistencia del material, entre otros, esto a fin de que el prototipo trabaje de manera eficiente.

Lo que conlleva en una simulación transitoria, verificar que las variables clave como la velocidad y la presión han alcanzado un comportamiento oscilante estable o un estado variable al funcionamiento de este con la comparación de resultados es asegurarnos que el fluido sea el adecuado.

Este proceso detallado nos permite realizar un análisis exhaustivo y efectivo de los resultados de la simulación CFD de un prototipo de turbina Michell-Banki, ayudando a optimizar el diseño y mejorar la eficiencia generada.

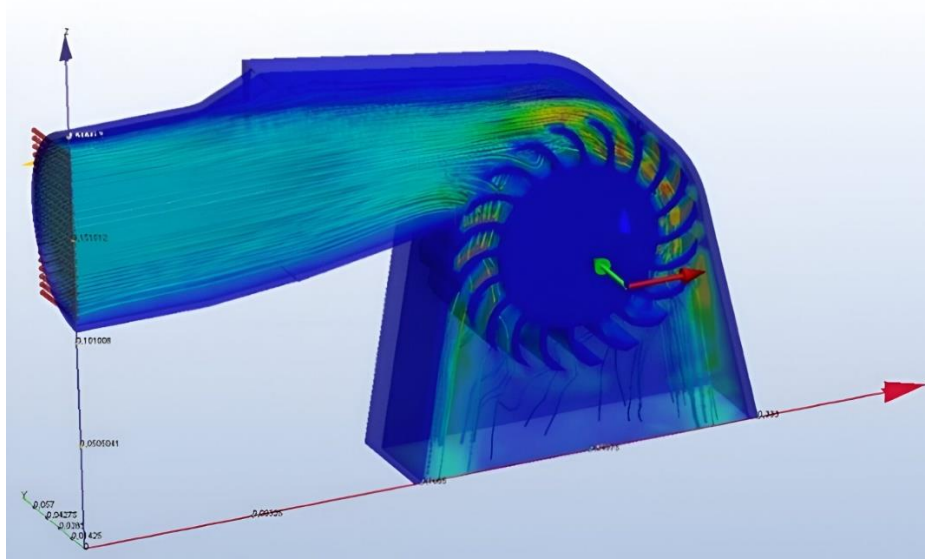


Figura 10 Prototipo de turbina Michell-Banki, simulación fluido y rodete

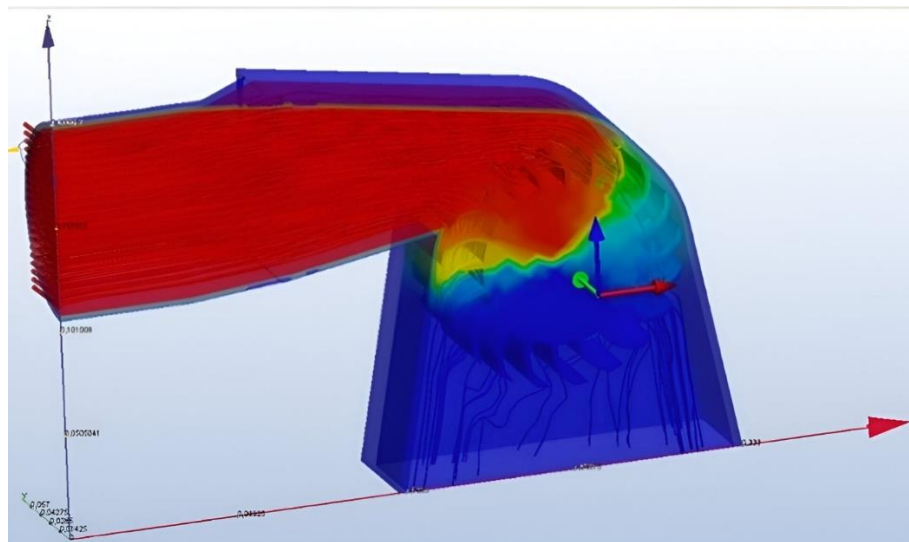


Figura 11 Prototipo de turbina Michell-Banki, simulación CFD.

En la simulación nos muestra cómo se simula el flujo constante de agua. La variación de color influye en el movimiento del agua mientras sea diferente el color del agua varía la aceleración del caudal.

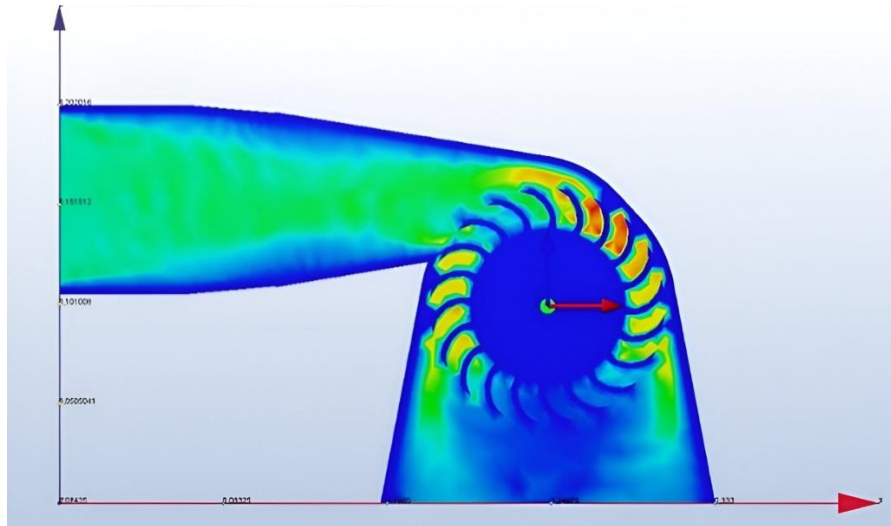


Figura 12 Análisis final del prototipo de turbina Michell-Banki

5.2 Diseño conceptual.

Se trata de aprovechar los recursos renovables que nos brinda el medio ambiente y con esto poder generar energía eléctrica mediante una turbina del río Michell-Banki.

Para lograr el objetivo de poder construir y simular la turbina que sea capaz de generar energía a partir de flujo de agua sin necesidad de tener una estructura de gran complejidad es necesario realizar un correcto dimensionamiento, así como también seleccionar los materiales que sean capaz de resistir a los diferentes factores que se pueden presentar.

Este diseño busca establecer las bases para la fabricación, simulación y eventual prueba del prototipo.

Está investigación tiene como prototipo principal para la generación de energía en pequeña escala ya que contaremos con condiciones en las que opera la turbina, como el caudal del agua disponible, la altura de caída y la potencia eléctrica esperada

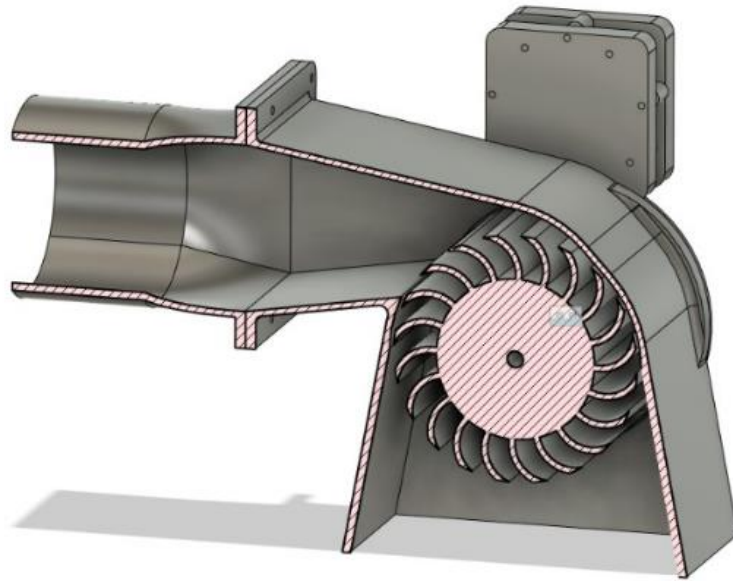


Figura 13 Diseño conceptual del prototipo de turbina Michell-Banki

5.3 Diseño básico.

Para el diseño básico debemos tener en cuenta los diferentes funcionamientos que tienen las piezas dentro del prototipo. Diseño sencillo y aprovechamiento de energía a pequeña escala, ya que implica un sistema funcional que pueda convertir la energía cinética del agua en energía mecánica o eléctrica.

En este caso las dimensiones varían ya que se puede hacer diferente medida para diferente caudal, en este caso deberíamos tener en cuenta el diámetro, longitud, número de álabes, material, las formas de los álabes, el espesor, la forma el diseño, el eje, los separadores.

Este diseño básico proporciona los fundamentos para construir un prototipo funcional de una turbina Michell-Banki, permitiendo evaluar su rendimiento y realizar las mejoras según los resultados obtenidos.

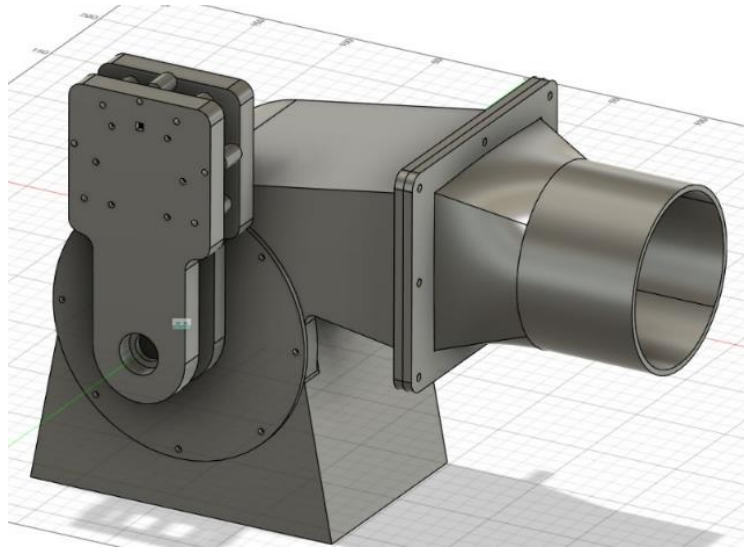


Figura 14 Diseño básico del prototipo de turbina Michell-Banki

5.4 Diseño prototipo Michell-Banki

5.4.1 Alabe Michell-Banki

Para la propuesta tecnológica en el diseño de los álabes nos basamos en el libro de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas, con base a este texto se diseñó cada una de las medidas de los álabes. Teniendo las medidas se procedió a la fabricación de la pieza en los planos.

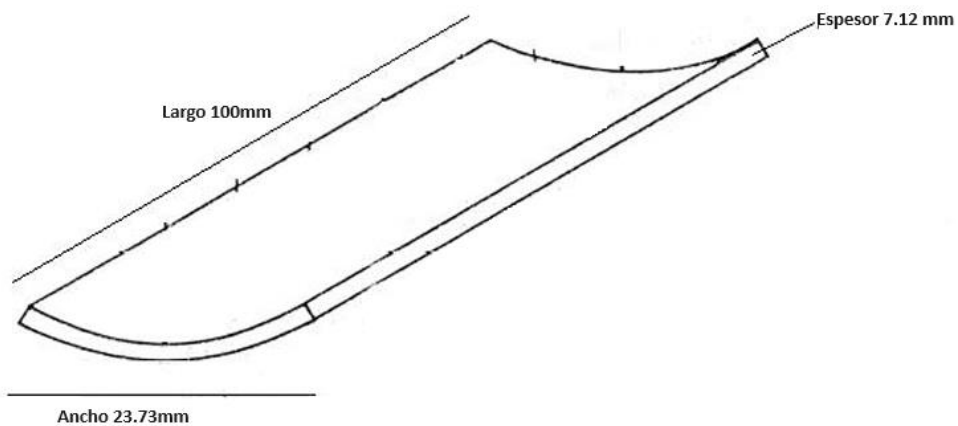


Ilustración 1 plano alabe.

Este modelo fue elaborado en fibra de carbono de un espesor de 7.12mm, ya que es resistente y nos permite mejores acabados. Este material es más económico y no tiene corrosión ni oxidación. La impresión se realizó en una impresora 3D Bambu Lab y garantizar su precisión

y acabados para conseguir la forma de la curva y que todos los álabes queden exactamente iguales.

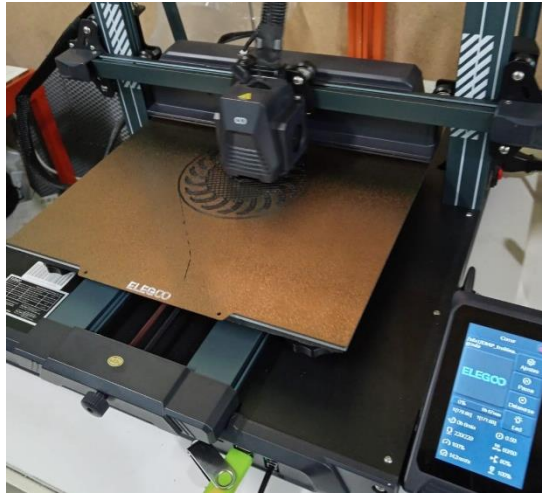


Ilustración 2 Álabes reales en Fibra de carbono

La razón por la que se optó en realizar el prototipo en fibra de carbono fue por el costo y la resistencia de material ya que soporta el permanente golpe de chorro del caudal en los álabes sin causar daños.

5.4.2 Rodete Michell-Banki.

Para la elaboración de los álabes nos basamos en el libro de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas.

En base al libro calculamos cada una de las medidas del diámetro (ver ilustración 3) para poder realizar la pieza isométrica del rodete y generar los planos, con los que se procedió a fabricar el rodete en impresión 3D.

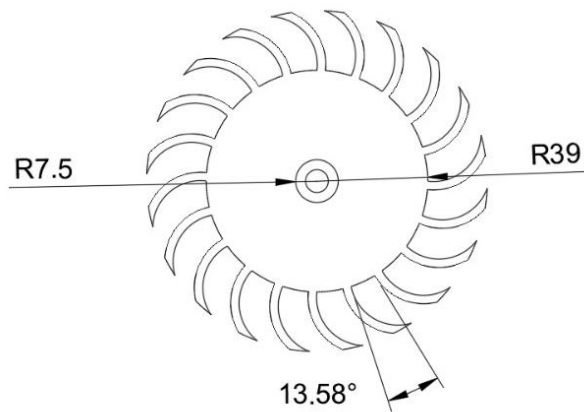


Ilustración 3 plano del rodete y distribución de los álabes

El material con el que se fabricó el rodete es de fibra de carbono, ya que al igual que los álabes, se encuentra en permanente contacto con el agua. Al momento del diseño del rodete se tomó en cuenta los álabes para garantizar su rigidez y que estos no se fisuren o se rompan.



Ilustración 4 Rodete y álabes del prototipo real


5.5 Cálculos Realizados


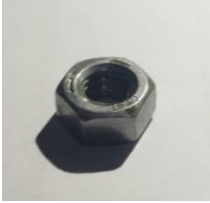


Tabla 15 Resultados calculados

Altura efectiva	(1)	$H_{\text{neta}} = 0.2925\text{m}$
Potencia hidráulica	(2)	$P = 3.40\omega$

Rendimiento hidráulico.	(3)	$n_h = 35,3\%$
Potencia útil	(4)	$P_{util} = 1,20\omega$
Eficiencia de la turbina	(5)	$n_t = 35\%$
Velocidad angular del rotor	(6)	$\omega = 314,16\text{rad/s}$
Torque	(7)	$T = 0,052\text{Nm}$
Velocidad angular del roto	(8)	$\text{rpm} = 375,3$
Posición del alabe	(9)	$R_c = 0,828\text{m}$
Rendimiento volumétrico	(10)	$n_u = 33,6\%$
Angulo curvatura de los álabes	(11)	22°
Velocidad del agua en el caudal	(12)	$v = 0,5\text{m/s}$
Área de la sección transversal de la tubería	(13)	$A = 0,0081\text{m}^2$
Caudal (Q)	(14)	$Q = 0,00405\text{m}^3/\text{s}$
Potencia útil $P_{util}(1000\text{rpm})$	(15)	$\omega = 104,71\omega$
Torque	(16)	$T = 0,0955 \text{ Nm}$
Potencia activa	(17)	$Pa = 10,0007 \text{ wats}$
Potencia útil (2m)	(18)	$P = 1,428 \text{ W}$
Eficiencia hidráulica	(19)	$\eta_h = 70\%$
Eficiencia volumétrica	(20)	$\eta_u = 40,3\%$
Altura total	(21)	$H = 2,01\text{m}$
Velocidad del rotor.	(22)	$468,98 \text{ rpm}$
Ángulo de la curva da los álabes	(23)	22°
Caudal efectivo	(24)	$Q = 0,00405$

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI					
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA					
FICHA DE:	MÁQUINA		EQUIPO	X	SISTEMA
			INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA		
					
CARACTERÍSTICAS GENERALES					
DIMENSIONES		111,9X300X225,5 MM			
PESO		1,264 KG			
REVOLUCIONES		375,3 rpm.			
TORQUE		0,052 NM			
POTENCIA		1,20 W			
DIÁMETRO DEL EJE		8 MM			
CAUDAL		0,00405			

Prototipo de turbina de río Michell Banki					
Cantidad	Componente	Imagen	Material	Precio unitario	Precio total
1	Rollo de filamento Nylon		Fibra de carbono	35	25
Costo total para la cantidad necesaria				5	5
Costo total basado en el tiempo de impresión				5	35

1	Rollo de filamento de Nylon		Nylon	100	100
Costo total para la cantidad necesaria				20	25
Costo total basado en el tiempo de impresión				30	15
6	Pernos m3x40		Acero galvanizado	0,15	0,90
6	Tuercas de presión m3		Acero galvanizado	0,15	0,90
6	Rodelas planas m3		Acero galvanizado	0,20	1,2
2	Rodamientos 608z		Acero Prensado	1,10	2,20
1	Eje de 8mm		Acero	1,35	1,35
Total					211,55

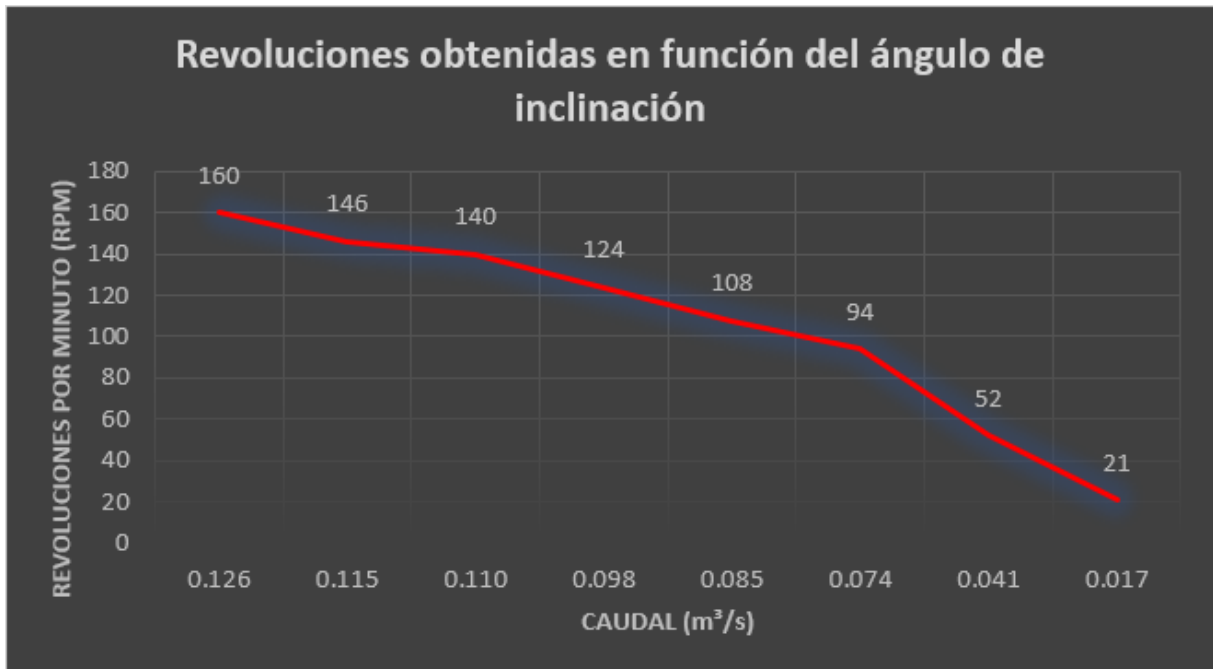


Ilustración 5 Datos recolectados en base al caudal

6. Conclusiones

- La revisión bibliográfica realizada, se concluye que no existe un prototipo de turbina Michell-Banki diseñado específicamente para operar en el rango de capacidad mencionado ($0.00405\text{m}^3/\text{s}$). Además, no se ha encontrado evidencia de modelos de turbinas Michell-Banki que generan una potencia de (10 Watts) en pico turbinas, debido a que las pico turbinas generan de 1 hasta (10 Watts). Esto indica que el diseño óptimo para la generación de energía es a mayor escala y no a escala reducida.
- El análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD) se comprobó el estudio del comportamiento del fluido dentro de la turbina, además del torque del torque (0,052Nm) la eficiencia de la turbina ($\eta_t = 35\%$) la velocidad del rotor (468,98 rev/min). Estos son algunos de los valores más importantes que nos muestra el funcionamiento del prototipo de turbina en caudales bajos.
- El prototipo experimental de la turbina Michell Banki, se diseñó para funcionar en ríos de bajo caudal, los resultados demostraron que a pesar de tener un bajo caudal se logró generar los 3.8 V estables con una potencia de 1.428 Watts estos valores nos indican que el prototipo de la turbina Michell Banki cumple con el objetivo de generar energía en ríos de bajo caudal.

7. Recomendaciones

- Se recomienda que a partir de nuestro prototipo los álabes del rodete se deben considerar en diámetro con la voluta ya que los álabes representan la curvatura necesaria para que este fluya con el caudal y no sea un choque entre el caudal y los álabes esto influirá en que perderá caudal considerable y este no será óptimo en el funcionamiento.
- Se recomienda realizar una modelación computacional de los álabes utilizando el software de su preferencia. Esto permitirá determinar los ajustes necesarios para lograr un diseño eficiente de la turbina Michell Banki para bajo caudal. Además, considera optimizar los ángulos de ataque y entrada del álabe para mejorar aún más la eficiencia y obtener valores óptimos esto es crucial para maximizar la eficiencia de la turbina.
- Se recomienda considerar la modificación de la geometría de las palas y otros componentes clave para mejorar la captación de energía del flujo reducido. Además, se sugiere experimentar con diferentes ángulos de inclinación y formas de las palas para maximizar la eficiencia en condiciones de bajo caudal.

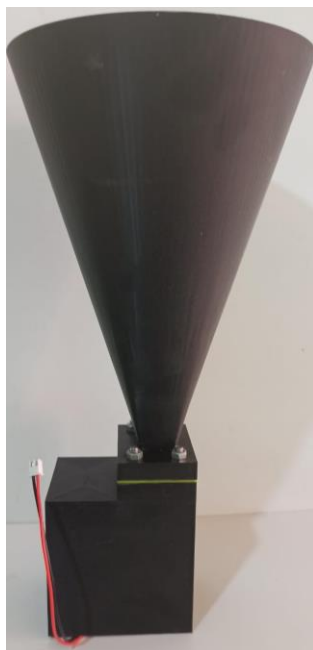
8. Referencias

- [1] Amancio R, «turbina de flujo transversal o Michell Banki,» [En línea]. Available: http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/mitchel_banki.pdf.
- [2] Romero Freddy, «Revista UIS Ingenierías,» 18 Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/5537/553768365003/html/>.
- [3] «Ecuador's Energy Sector Opportunities,» 8 Diciembre 2021. [En línea]. Available: https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00Z2WQ.pdf.
- [4] Tetra Tech, «Scaling Up Renewable Energy,» 8 Diciembre 2021. [En línea]. Available: https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00Z2WQ.pdf.
- [5] Ibañez Lénin, «Diseño y Construcción de una mini turbina Hidráulica,» Enero 2019. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29767/1/Tesis%20I.%20M.%20517%20-%20Ib%c3%a1%c3%blaz%20Sol%c3%ads%20Len%c3%adn%20Edwin.pdf>.
- [6] Llambo Henry, «Plan Maestro de Electricidad,» 22 Junio 2019. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/398006431/PME-2016-2025-V-WEB>.
- [7] International Trade Administration, «Electric Power and Renewable Energy,» 8 Febrero 2024. [En línea]. Available: <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/ecuador-electric-power-and-renewable-energy>.
- [8] Vicenso S., «Diseño óptimo de Banki Michell mediante pruebas de dinamica de fluidos computacional y análisis hidrodinamico,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/6/5/2362>.
- [9] Macas H., «Repositorio Institucional Universidad Salesiana,» Julio 2018. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15902>.
- [10] Arico C, «Análisis hidrodinamico,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/6/5/2362>.

- [11] Sarmiento Javier, «Escuela Politecnica Nacional,» marzo 2020. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20949/1/CD%2010472.pdf>.
- [12] García Hèctor, «Universidad Nacional Autónoma de Mèxico,» Abril 2014. [En línea]. Available: https://www.ingenieria.unam.mx/deptohidraulica/publicaciones/pdf_publicaciones/SELECYDIMENSIONAMIENTODETURBINAS.pdf.
- [13] Dincer I, «ScienceDirec,» [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/hydraulic-turbines>.
- [14] Ibarra A., «Linked in,» Abril 2024. [En línea]. Available: https://es.linkedin.com/posts/andresibarra95_hidroel%C3%A9ctricas-t%C3%A9rmicas-turbina-activity-7117886606736281601-kb0Q.
- [15] Dimitrios E, Sistemas integrales de energía, Chile, 2028.
- [16] C. Jorge, «Ficha tècnica Turbina Michell Banki,» [En línea]. Available: <https://carlosmartinezc.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/01/fichatecnica2-turbina-michell-bankl.pdf>.
- [17] «Energía solar,» [En línea]. Available: <https://solar-energia.net/energias-renovables/energia-hidraulica/turbinas-hidraulicas/turbina-francis>.
- [18] «Soluciones prácticas,» [En línea]. Available: <https://carlosmartinezc.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/01/fichatecnica2-turbina-michell-bankl.pdf>.
- [19] «La energía hidráulica,» [En línea]. Available: <https://www.eve.eus/Conoce-la-Energia/Que-sabes-de/La-energia-hidraulica?lang=es-es>.
- [20] Peña C., «Hidraulica Balcon,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.hidraulicabalcon.com/que-es-regulador-de-caudal/>.
- [21] A. Michels, «Sistemas hidroelectricos pequeños,» 1 Enero 2013. [En línea]. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4471-5104-3_5.

- [22] C. Mataix, «Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas,» de *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*, Madrid, Ediciones del castillo, S.A., 1986.
- [23] Pelaez Diego, «Study of the Effect of the Geometrical,» Junio 2014. [En línea]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/47242052.pdf>.
- [24] P. L, Energía termodinámica, Bogotá, 2018.
- [25] «Tecnologías y tipos de impresoras 3D,» 2018. [En línea]. Available: <https://markforged.com/es/resources/learn/3d-printing-basics/3d-printing-introduction/3d-printer-types-technologies>.
- [26] Sicnova, «Guía para elegir filamentos para impresoras 3D,» 14 febrero 2014. [En línea]. Available: <https://sicnova3d.com/blog/experiencias-3d/guia-filamentos-impresoras-3d/>.
- [27] 24 Marzo 2023. [En línea]. Available: <https://www.tme.eu/es/news/library-articles/page/51976/filamentos-para-impresion-3d-tipos-caracteristicas-y-uso-en-prototipado/#:~:text=Es%20un%20tipo%20de%20filamento,altas%20temperaturas%20que%20el%20ABS..>
- [28] Molina A., Julio 2023. [En línea]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/guia-patrones-relleno-impresion-3d-170720232/#!>
- [29] Robert L. Mott, Mecánica de fluidos, México: Pearson Educación, 2006.
- [30] [En línea]. Available: <https://protoandgo.com/relleno-en-la-impresion-3d-definicion-y-tipos/>.

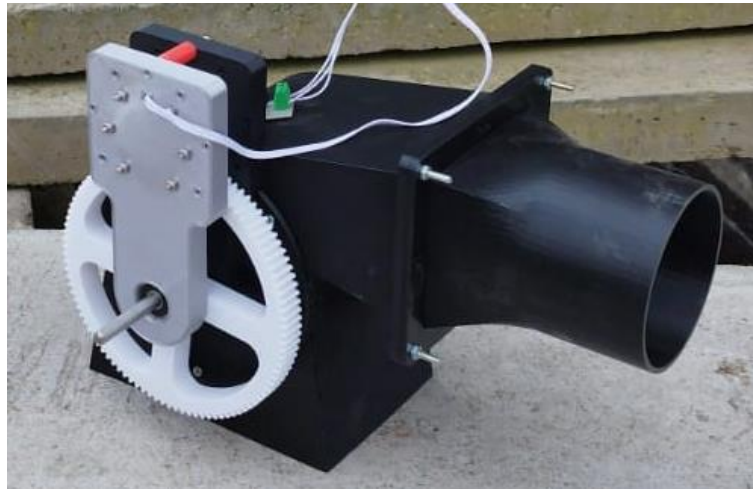
Anexo 1 Prototipo de turbina Michell-Banki



Anexo 2 Prototipo de turbina Michell-Banki 2

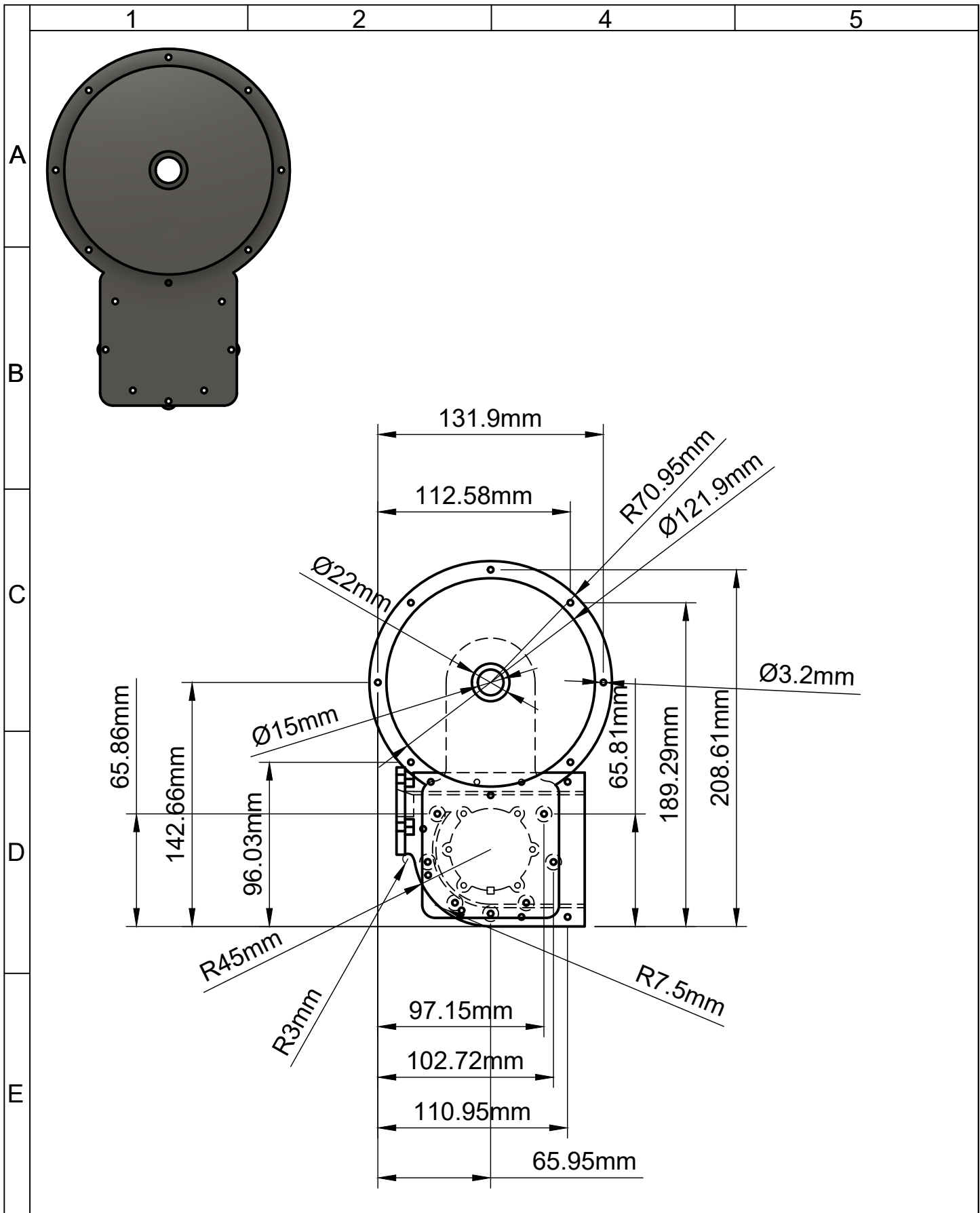



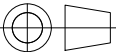
Anexo 3 Prototipo de turbina Michell-Banki 3



Anexo 4 Prototipo de turbina Michell-Banki 3 con estructura metálica.





				Tolerancia	Peso	Materiales	
				±0.5 mm	20 Kg	Filamento de fibra de carbono	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
			Dib.	16/08/2024	Carlos Masapanta	Soporte principal	1.3
			Rev.		Estevan Oña		
			Pro.		Ing. Luis Navarrete		
				 Ingeniería Electromecánica		Número de Dibujo	Marca de registro
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Dibujo 3 de 8	
						Sustitución	

