

*Desarrollo de una microturbina Michell-Banki para pequeños caudales*

Desarrollo de una microturbina para pequeños caudales en el laboratorio de fluidos  
de la sede Alvernia de la Universidad Mariana

Autor

Kevin Alexander Cabrera Muñoz

Universidad Mariana  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Mecatrónica  
San Juan de Pasto

2023

*Desarrollo de una microturbina Michell-Banki para pequeños caudales*

Desarrollo de una microturbina para pequeños caudales en el laboratorio de fluidos de la  
sede Alvernia de la Universidad Mariana

Autor

Kevin Alexander Cabrera Muñoz

Asesor

Jorge Andrés Chamorro Enríquez

Ingeniero Electrónico

Universidad Mariana  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Mecatrónica  
San Juan de Pasto  
2023

Artículo 71: Los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidas en el Trabajo de Grado son responsabilidad única y exclusiva del (los) Educando (s).

Reglamento de Investigación y Publicaciones  
Universidad Mariana

## **Agradecimientos**

Quisiera expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de alguna manera en la realización de este trabajo de investigación.

En primer lugar, quiero agradecer a mi director de tesis, Jorge Andrés Chamorro Enríquez, por su orientación, paciencia y apoyo durante todo el proceso. Sus conocimientos y consejos han sido fundamentales para el desarrollo de este proyecto.

También quiero agradecer a mis Profesores por sus valiosas sugerencias y comentarios, los cuales han enriquecido enormemente este trabajo.

Agradezco a mi Abuela Luz Marina de Cabrera quien apoyo financieramente mi carrera Universitaria por su incondicional apoyo y comprensión.

Finalmente, quiero agradecer a Universidad Mariana por brindarme la oportunidad de realizar esta investigación y por proporcionarme los recursos necesarios para llevarla a cabo.

A todos ellos, mi más sincero agradecimiento.

## **Dedicatoria**

A mi querida abuela Luz Marina Ordoñez de Cabrera,

Tus enseñanzas y cariño han dejado una huella imborrable en mi vida. Desde mi infancia, has sido un pilar fundamental, guiándome con tu sabiduría y amor incondicional. Recuerdo con gratitud los momentos que compartimos, las historias que me contabas y los consejos que siempre supiste darme en los momentos más difíciles. Este trabajo es un pequeño reflejo de todo lo que he aprendido de ti y de la fortaleza que me has inculcado.

Gracias, abuela, por tu inquebrantable apoyo financiero y por creer en mí desde el inicio de mi carrera. Tu confianza y el crédito que me proporcionaste fueron esenciales para que pudiera alcanzar mis metas académicas. Sin tu generosidad y fe en mis capacidades, este logro no habría sido posible. Este trabajo es tanto tuyo como mío.

## **Dedicatoria**

A mis padres,

Este trabajo está dedicado a ustedes, por su incondicional apoyo y sacrificio. Gracias por creer en mí y por enseñarme el valor del esfuerzo y la dedicación desde una edad temprana. Su amor y guía han sido fundamentales en cada paso de este camino. A lo largo de mi vida, han sido mi refugio y mi motivación, siempre dispuestos a ofrecer una palabra de aliento o un consejo sabio cuando más lo necesitaba.

Su fe en mis capacidades me ha impulsado a superar mis límites y a alcanzar mis metas. Este logro es tanto suyo como mío, y es un testimonio de todo lo que han hecho por mí. Agradezco profundamente cada sacrificio, cada momento de apoyo y cada gesto de amor que me han brindado. Gracias por estar siempre ahí, brindándome la fuerza y el coraje para seguir adelante.

Contenido

1. resumen de la propuesta.....	16
1.1. descripción del problema .....	18
1.1.1. formulación del problema .....	19
1.2. justificación.....	19
1.3. objetivos.....	21
1.3.1. objetivo general.....	21
1.3.2. objetivo específico .....	21
1.4. marco referencial o fundamento teóricos.....	22
1.4.1. marco de antecedentes .....	22
1.4.1.1. vigencia de la temática.....	24
vigencia de los últimos 5 años .....	24
descripción de artículos.....	24
búsqueda de scopus top 5 de la historia .....	24
aplicando filtrado .....	83
búsqueda top 5 actual en la historia .....	31
análisis de los estudios .....	35
1.4.2. marco teórico .....	35
1.4.2.1. avances en la aplicación de turbinas michell-banki para la generación sostenible de energía hidroeléctrica.....	38
1.4.2.1.1. análisis de rendimiento de una turbina michell-banki para generación de energía hidroeléctrica pequeña .....	38
1.4.2.1.2. diseño y optimización de una central hidroeléctrica de baja caída utilizando una turbina michell-banki.....	38
1.4.2.1.2. sustainable energy generation using small hydropower plants with michell-banki turbines. ....	39

1.4.2.2. energías renovables relacionadas con micro turbinas hídricas.....	39
2.1.1.1.1. recursos de colombia.....	40
fuentes no convencionales .....	40
2.1.1.2. caudales hídricos para el análisis de rpm de un generador .....	41
2.1.1.2.1. aspectos técnicos .....	41
2.1.1.2.2. consideración de diseño de turbina .....	41
1.5. metodología.....	43
para el análisis de turbinas michell-banki .....	43
1.5.1. tipo de investigación .....	44
1.5.2. línea y sub línea del grupo de investigación .....	44
1.5.3. hipótesis de la investigación .....	44
1.5.3.1. hipótesis nula .....	44
1.5.3.2. hipótesis alternativas .....	45
1.5.4. descripción de la metodología.....	45
1.5.4.1. método.....	45
fase 1. calcular, investigar y diseñar un sistema: .....	45
fase 2. seleccionar el diseño y armar el prototipo y el sistema de salida de rpm o polea: .....	46
fase 3. adecuación del lugar de instalación: .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
fase 4. verificación y validación del prototipo: .....	46
1.5.5. valides de la investigación .....	47
instrumentación de la validación interna.....	49
fuelle de agua adaptada al caudal original .....	49
2. presentación del resultado.....	51

2.1. resultado de acuerdo a los objetivos.....	51
2.1.1. resultado del objetivo 1 .....	51
primer modelo de dimensionamiento de la turbina.....	55
diseño del primer modelo propio de turbina .....	96
planos de la turbina .....	98
2.1.2. resultado del objetivo 2 .....	62
2.1.3. resultado del objetivo 3 .....	62
2.1.3.1. validación de funcionamiento de la turbina y la instalación. ....	62
2.2. discusión .....	69
3. conclusiones.....	70
anexos .....	78

## **Índice de tablas**

<b>tabla 1.</b> Criterios de la búsqueda de los más citados de la historia	24
<b>tabla 2.</b> Los artículos seleccionados fueron:	83
<b>tabla 3.</b> Criterios de la búsqueda de los más citados de la historia	84
<b>tabla 4.</b> Areas temáticas seleccionadas	84
<b>tabla 5.</b> Artículos seleccionados	85
<b>tabla 6.</b> Base de datos los de calculos	52
<b>tabla 7.</b> Procedimiento de los cálculos	54
<b>tabla 8.</b> Método volumétrico	90
<b>tabla 9.</b> Fabricación y ecuación de regresión	92
<b>tabla 10.</b> Relaciones de dimensiones	93
<b>tabla 11.</b> Resultados de dimensiones	94
<b>tabla 12.</b> Relaciones de dimensiones de la carcasa	94
<b>tabla 13.</b> Resultados de dimensiones de la carcasa	94

## **Índice de figuras**

<b>figura 1</b> las tendencias de investigación bajaron con respecto al año 2005 donde tuvo una moda de sistemas hidroeléctricas y sistemas matemáticos. ....	78
<b>figura 2</b> documentación por años .....	79
<b>figura 3</b> documentación por autores.....	79
<b>figura 4</b> documentación de afiliaciones.....	79
<b>figura 5</b> los países y territorios de mayor investigación.....	79
<b>figura 6</b> patrocinadores.....	79
<b>figura 7</b> documentacion por tipos de temas.....	79
<b>figura 8</b> documentación por áreas temáticas .....	80
<b>figura 9</b> documentos por año.....	80
<b>figura 10</b> documentos por autor .....	80
<b>figura 11</b> documentos por afiliación .....	81
<b>figura 12</b> documentos por país .....	81
<b>figura 13</b> documentos por tipos clasificación.....	81
<b>figura 14</b> documentos por áreas temáticas .....	82
<b>figura 15</b> análisis de búsqueda .....	84
<b>figura 16</b> selección de la turbina.....	42
<b>figura 17</b> mapa de la vereda .....	87
<b>figura 18</b> mapa del lote.....	87
<b>figura 19</b> quebrada de toma de agua .....	88
<b>figura 20</b> zona del caudal .....	88

<b>figura 21</b> casa de la instalacion .....	88
<b>figura 22</b> lufar de la instalacion de la turbina michell banki .....	89
<b>figura 23</b> sendero.....	49
<b>figura 24</b> canal hidrodinamico .....	49
<b>figura 24</b> tanque de agua ubicado en la vereda .....	51
<b>figura 25</b> relacionamos el modelo del tanque mediante una circunferencia .....	53
<b>figura 26</b> mapa hídrico de nariño .....	90
<b>figura 27</b> datos de la diseño preestablecidos .....	91
<b>figura 28</b> para seleccionar la turbana.....	92
<b>figura 28</b> datos de la turbina.....	93
<b>figura 29</b> carcas de la turbina .....	94
<b>figura 30</b> analisis de tension.....	95
<b>figura 31</b> analisis de despazamieto.....	95
<b>figura 32</b> turbina.....	96
<b>figura 33</b> tensión de von mises.....	96
<b>figura 34</b> análisis desplazamiento.....	96
<b>figura 35</b> tensión.....	96
<b>figura 36</b> desplazamiento en z.....	97
<b>figura 37</b> ensamble de la turbina .....	97
<b>figura 38</b> desplazamiento del cilindro .....	98
<b>figura 39</b> planos turbina .....	98

<b>figura 40</b> cilindro.....	99
<b>figura 41</b> soporte del eje.....	99
<b>figura 42</b> eje de la turbina.....	100
<b>figura 43</b> ensamble .....	100
<b>figura 44</b> alabes .....	101
<b>figura 45</b> tapas turbina.....	101
<b>figura 56</b> eje .....	101
<b>figura 47</b> recubrimiento turbina .....	101
<b>figura 48</b> tapas laterales del recubrimiento .....	101
<b>figura 49</b> camisa y rodamiento.....	102
<b>figura 50</b> soporte de la estructura de la turbina .....	102
<b>figura 51</b> ensamble de turbina.....	102
<b>figura 52</b> máquina de fluidos hidrodinámico básico sede laboratorios alvernia Universidad Marian .....	103
<b>figura 53</b> análisis de fuerza .....	103
<b>figura 54</b> presión ejercida por el agua .....	103
<b>figura 55</b> resultados de la prueba deformación .....	105
<b>figura 56</b> desplazamiento .....	105
<b>figura 57</b> vonmises .....	105
<b>figura 58</b> simulación de ruedas de paleta de soporte.....	106
<b>figura 59</b> material .....	106
<b>figura 60</b> fuerza ejercido .....	106

<b>figura 61</b> deformación .....	106
<b>figura 62</b> vonmises .....	106
<b>figura 63</b> desplazamiento .....	106
<b>figura 64</b> eje material hierro .....	107
<b>figura 65</b> puntos de presión del eje .....	107
<b>figura 66</b> vonmises y ures en mm .....	108
<b>figura 67</b> dimensiones del vertedero .....	56
<b>figura 68</b> diagrama del vertedero .....	57
<b>figura 69</b> tabla de dimensiones.....	58
<b>figura 70</b> instalación de la turbina .....	59
<b>figura 71</b> dimensiones de la polea .....	59
<b>figura 72</b> diagrama de relación de polea .....	60
<b>figura 73</b> figura nn voltaje de generador .....	61
<b>figura 74</b> corte de las palas.....	109
<b>figura 75</b> acabado de las palas.....	109
<b>figura 76</b> corte de las ruedas.....	109
<b>figura 77</b> primer modelo de la turbina.....	110
<b>figura 78</b> corte de los soportes de las palas .....	111
<b>figura 79</b> eje y parte de la estructura de la turbina .....	111
<b>figura 80</b> finalizacion de la turbina prototipo dos .....	111
<b>figura 81</b> finalizacion de la estructuta y montaje de la turbina .....	112

<b>figura 82</b> capsula de la turbina .....	112
<b>figura 83</b> adecuación del canal hidrodinámico.....	63
<b>figura 84</b> construcción de base para el generador .....	63
<b>figura 85</b> segundo modelo de vertedero tipo u.....	64
<b>figura 86</b> tercer modelo y pruebas de funcionamiento de vertedero .....	64
<b>figura 87</b> valores de rpm .....	65
<b>figura 88</b> cuarto modelo de vertedero tipo v con altura de 1,70 metros.....	66
<b>figura 89</b> conexión del generador a la turbina.....	66
<b>figura 90</b> medición de rpm de la turbina .....	67
<b>figura 91</b> medición de rpm del generador .....	67
<b>figura 92</b> medición del voltaje del generador.....	67

**Anexo**

anexo 01. las tendencias de investigación bajaron con respecto al año 2005 .....	78
anexo 02. modelos gráficos de la selección de datos scopus .....	79
anexo 03. criterio de búsqueda de scopus top 5 de la historia .....	82
anexo 04. criterio de búsqueda de scopus top 5 actual de la historia .....	84
anexo 05. descripción fotográfica geográfica de la ubicación de la anterior instalación del modelo de investigación.....	87
anexo 06. cálculos y diseño 3d del primer modelo de análisis .....	90
anexo 07. diseño 3d del prototipo de la turbina .....	101
anexo 08. corte y armado de la estructura.....	109
anexo 9. complemento de la investigación y enlace de video.....	114

## **1. Resumen de la propuesta**

Este proyecto de grado se centra en el diseño y construcción de una turbina Mitchell-Banki con el objetivo de generar energía eléctrica de baja potencia. La turbina Mitchell-Banki es una opción adecuada para aprovechar el flujo de agua en pequeños arroyos y ríos, lo que la hace especialmente relevante para zonas rurales o aisladas.

El prototipo de la turbina Mitchell-Banki se desarrolló con la finalidad de generar 12 voltios DC para almacenar en bancos de baterías con una corriente total de 15 Amperios. La energía generada se destinará inicialmente a la iluminación de una vivienda y a la alimentación de electrodomésticos de baja potencia, contribuyendo significativamente a la reducción de los costos asociados al consumo de energía eléctrica.

El diseño de la turbina Mitchell-Banki se basa en cálculos precisos que abarcan aspectos como el caudal del agua disponible, los parámetros de potencia de consumo en el domicilio y las características de funcionamiento de la turbina. Se presta especial atención a la eficiencia de la turbina para garantizar la máxima conversión de energía hidroeléctrica en energía eléctrica utilizable. Además, se aborda la investigación sobre la ubicación óptima de la acometida de la vivienda para maximizar la eficiencia del sistema de generación de energía eléctrica, considerando las condiciones específicas del entorno. También se implementarán medidas de seguridad y control para evitar sobrecargas y garantizar un funcionamiento seguro y confiable del sistema.

Este proyecto no solo busca proporcionar una solución para la generación de energía sostenible y asequible, sino también servir como un modelo para futuras implementaciones en áreas similares. Se profundiza en los detalles técnicos del diseño, la construcción y la puesta en marcha de la turbina Mitchell-Banki, además de evaluar su eficacia en la generación de energía eléctrica de baja potencia.

## **1.1. Descripción del problema**

La vereda El Guarangal, ubicada en el municipio de Alban, Nariño, Colombia, enfrenta importantes desafíos en términos de acceso a la energía eléctrica. Con una población de 19,367 habitantes y un crecimiento constante en los últimos años, la comunidad se encuentra afectada por una deficiencia en la red eléctrica existente. Esta situación ha generado problemas en la región, especialmente en una población con recursos monetarios limitados que opta por no utilizar ampliamente la red eléctrica debido a los costos asociados.

El costo promedio de la electricidad en la región se estima en alrededor de 40,000 pesos por vivienda, considerando un promedio de 90 casas. Esta carga económica representa un desafío significativo para las familias de El Guarangal, ya que el gasto en electricidad consume una parte considerable de sus ingresos, reduciendo la capacidad de inversión en otras necesidades básicas, como la educación y la salud.

La utilización de leña para la preparación de alimentos es común en esta área, generando humo perjudicial para la salud de los habitantes y teniendo un impacto negativo en el medio ambiente y causando problemas en los sistemas respiratorio y gástrico de las personas. Además, el acceso limitado a la electricidad dificulta la implementación de cocinas eléctricas más limpias y eficientes que podrían mitigar estos problemas.

La situación se agrava por la ineficiencia de la energía eléctrica proporcionada por la única hidroeléctrica existente en la región, la cual es antigua y obsoleta. La empresa encargada del suministro eléctrico en esta zona rural no realiza los mantenimientos necesarios en las redes eléctricas, que tienen aproximadamente 50 años de funcionamiento y los transformadores utilizados son de capacidad limitada y están desgastados por el uso prolongado en relación con el número de viviendas que atienden. Como resultado, la energía eléctrica ofrecida es insuficiente para alimentar electrodomésticos básicos, como estufas eléctricas, planchas de ropa y sistemas de ducha eléctrica, lo que provoca apagones frecuentes, una calidad deficiente de la corriente eléctrica y un mal funcionamiento de los electrodomésticos. Esta falta de fiabilidad en el suministro eléctrico afecta negativamente la calidad de vida de los habitantes, limitando sus oportunidades y la productividad de las pequeñas empresas locales.

De acuerdo al análisis de estas situaciones, se ha llegado a proponer la creación de una turbina Mitchell Banki aprovechando que en varios lugares se cuenta con el suministro continuo de agua, gracias a vertientes como quebradas, arroyos y riachuelos (Zegarra Macedo, 2020).

Una turbina Mitchell-Banki se diseña en los cauces de los ríos, construyendo un embalse para retener el agua. Para ello, se construye un muro grueso, apoyado generalmente en alguna montaña. Estas aguas embalsadas se conducen a través de una tubería, la cual está conectada al generador. Así, el agua transforma su energía potencial en energía cinética, que hace mover los álabes de la turbina (Criollo & Quezada, 2011).

Por lo tanto, se propuso en este contexto, la investigación que se enfocará en el diseño de una turbina Mitchell-Banki como una solución innovadora para abordar los problemas energéticos en la vereda El Guarangal. El objetivo será desarrollar un diseño óptimo de la turbina que aproveche eficientemente el flujo de agua disponible en los arroyos y ríos locales, generando así energía eléctrica de baja potencia de manera sostenible y rentable. El proyecto de grado se centrará en los aspectos técnicos y de ingeniería del diseño de la turbina, asegurando que sea adecuada para las condiciones específicas de la región y que pueda mejorar significativamente el acceso a la energía eléctrica en la comunidad, por lo cual se enfoca en que las micro-hidroeléctricas que tienen una turbina tipo Mitchell-Banki se definen generalmente como aquellas que tienen una capacidad de generación de hasta cerca de 15 kilovatios (Vásquez José, 2007).

### ***1.1.1. Formulación del problema***

¿Como generar energía eléctrica a partir de aprovechamiento del cauce de un arroyo o una fuente hídrica, mediante la implementación de una turbina Mitchell – Banki?

## **1.2. Justificación**

El funcionamiento del proyecto se centra en proporcionar iluminación tanto para el hogar como para el sendero que conecta la vivienda con la carretera. Se planea instalar una turbina Mitchell-Banki adecuada que reduzca la dependencia de la cocción con leña, sustituyéndola por una estufa de 1000 W como una opción más eficiente y sostenible.

En el mercado actual, existen diversas opciones de generadores hidroeléctricos con costos que oscilan entre \$800.000 y \$3.000.000, sin tener en cuenta los gastos de importación, que pueden variar entre \$600.000 y más de \$1.000.000 de pesos colombianos. Estos generadores están diseñados para caudales significativos, lo cual no es aplicable al entorno de la zona en cuestión. Por lo tanto, se hace necesario la fabricación de un generador específico o la adquisición de un motor síncrono que cumpla con las características de voltaje AC o DC requeridas para el proyecto.

En los últimos años, se ha observado un aumento constante en el costo de los combustibles fósiles. Simultáneamente, las tecnologías que aprovechan fuentes de agua superficial para generar energía renovable han experimentado una evolución significativa, acompañada de una notable disminución en sus costos. Este cambio paradigmático está transformando fundamentalmente el panorama de generación de energía, particularmente en áreas donde el sistema de producción de energía se basa en métodos obsoletos que ya no son rentables ni sostenibles.

En este contexto, la integración de sistemas de generación de energía tradicionales con soluciones más económicas se ha vuelto una estrategia crítica para mejorar la eficiencia en la producción de energía. Con este objetivo en mente, se ha realizado un análisis del funcionamiento de una turbina Michell-Banki. La iniciativa se centra en minimizar los costos operativos mientras se aprovecha al máximo el potencial de la energía hidráulica disponible. Este enfoque no solo busca mejorar la rentabilidad económica, sino también reducir de manera considerable las emisiones de gases contaminantes, lo que contribuye de manera significativa a la sostenibilidad ambiental y al bienestar de la comunidad (BID, 2019).

Es fundamental tener en cuenta que los campesinos enfrentan limitaciones económicas significativas para hacer frente al pago de sus facturas de electricidad. Como consecuencia, recurren a prácticas como la cocción con leña, lo que, lamentablemente, lleva

a la deforestación, una actividad ilegal sujeta a supervisión por parte de entidades como Corponariño, encargada de imponer sanciones por estas actividades.

Este enfoque no solo resulta en la tala indiscriminada de árboles, sino que también conlleva problemas de salud, afectando negativamente la calidad de vida de las personas a corto, mediano y largo plazo, tanto en niños como en adultos, por lo cual no les resulta económicamente atractivo para los pobladores de la localidad. Por esta razón, este trabajo de investigación se desarrolló con una guía en conocimiento del diseño de una turbina hidráulica (Ramírez LLajaruna, 2022).

Por lo tanto, el propósito primordial de este proyecto es concebir y desarrollar fuentes de energía sostenible para mejorar la viabilidad económica de las comunidades rurales. El objetivo último es abordar las necesidades energéticas de los hogares en el campo colombiano. Este esfuerzo se llevará a cabo con un enfoque integral que abarca aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo General***

Desarrollar una microturbina para pequeños caudales en el laboratorio de fluidos de la sede Alvernia de la Universidad Mariana

#### ***1.3.2. Objetivo específico***

- Diseñar una microturbina aprovechando el caudal que se puede generar en el laboratorio de fluidos de la Universidad Mariana
- Construir la microturbina teniendo en cuenta el diseño previo y el caudal que ofrece el laboratorio de fluidos de la Universidad Mariana sede Alvernia
- Validar la microturbina construida, variando gradualmente el caudal de entrada y verificando su velocidad de salida en RPM en el laboratorio de fluidos de la Universidad Mariana sede Alvernia.

## **1.4. Marco referencial o fundamento teóricos**

### ***1.4.1. Marco de antecedentes***

La energía hidráulica, también conocida como energía hidroeléctrica, constituye una fuente alternativa que se deriva del aprovechamiento de las energías cinéticas y potenciales presentes en la corriente del agua, saltos de agua o mareas, ya sea mediante molinos o presas, entre otras infraestructuras. Además de sus beneficios ambientales, esta fuente de energía presenta diversas ventajas, entre las cuales se destacan, según (Factorenergia, 2021):

La energía hidroeléctrica se destaca como una fuente renovable e inagotable, ya que su generación de electricidad depende de la disponibilidad de lugares propicios para la construcción de centrales hidroeléctricas. Además, se presenta como una opción no contaminante, ya que su proceso de producción no emite gases ni sustancias tóxicas. La seguridad es otra característica destacada, ya que la energía eléctrica se genera a partir del agua, siendo este el único combustible utilizado en el procedimiento. Su flexibilidad se evidencia en la capacidad de regular el flujo de agua en las presas, lo que permite adaptarse a la demanda eléctrica, produciendo más o menos según las necesidades del momento.

La turbina Michell-Banki, también conocida como turbina Banki-Michell o turbina Crossflow, representa un tipo de turbina hidroeléctrica cuyo desarrollo tuvo lugar a principios del siglo XX. Su diseño se fundamenta en el trabajo de varios ingenieros y científicos, sin tener un antecedente histórico único claro. Algunos eventos significativos llevaron al desarrollo de esta turbina.

Antecedentes Históricos de la Turbina Michell-Banki: La turbina Banki-Michell, o turbina de flujo cruzado, figura entre las turbinas hidroeléctricas más antiguas y ampliamente utilizadas para generar energía de baja potencia. Fue concebida a principios del siglo XX por los ingenieros y científicos John Frederic La Trobe Bateman, John

Jacobson y Egidius Elling Michell, lo que determinó su denominación. A lo largo de los años, experimentó mejoras y refinamientos en su diseño y operación, convirtiéndola en una opción popular para la generación de energía en áreas rurales y remotas, así como en proyectos de energía renovable (Michell A, 1903).

**Principio de Funcionamiento de la Turbina Michell-Banki:** La turbina Michell-Banki opera conforme al principio de flujo cruzado, donde el agua fluye a través de la turbina en un ángulo recto con respecto a su eje de rotación. Esta característica permite que la turbina sea eficiente incluso con caudales relativamente bajos y altas caídas de agua, siendo idónea para su implementación en pequeños arroyos y ríos. Su diseño incluye álabes fijos y móviles que guían el flujo de agua hacia la rueda de la turbina, convirtiendo la energía cinética del agua en energía mecánica, la cual se puede utilizar para generar electricidad mediante un generador (Gagnon L, 2015).

**Aplicaciones Prácticas y Beneficios:** La turbina Michell-Banki ha encontrado diversas aplicaciones a lo largo de su historia, desde la generación de electricidad en pequeñas centrales hidroeléctricas hasta la operación de molinos de harina y sistemas de bombeo de agua. Sus beneficios abarcan su capacidad para funcionar con flujos variables de agua y su diseño robusto, que demanda un mantenimiento mínimo (Fernández Delgado, 2019).

**Desarrollos y Tendencias Actuales:** En los últimos años, ha surgido un renovado interés en la turbina Michell-Banki como parte de la transición hacia fuentes de energía más limpias y renovables. Se han llevado a cabo investigaciones y mejoras en su diseño para aumentar la eficiencia y adaptarla a las necesidades específicas de diferentes regiones y aplicaciones (Poudel B, 2020).

Según la EPA (Agencia Ambiental de Estados Unidos): El humo de leña puede afectar a todos, siendo más vulnerables niños, adolescentes, adultos mayores y personas con enfermedades pulmonares, como el asma y el EPOC, así como aquellas con enfermedades cardíacas. La obesidad y la diabetes también pueden aumentar el riesgo. Las madres primerizas o embarazadas deben tomar precauciones para proteger la salud de sus bebés, ya que algunos estudios sugieren que podrían correr mayores riesgos (EPA, 2022).

Mediante la revisión bibliográfica de los siguientes artículos de investigación extraídos de la base de datos de scopus, mediante la búsqueda de las palabras claves con filtrado ( ( "power generation" OR "pico hydro" OR "power plants" OR "hydroelectric plants" ) AND ( "pelton turbine" OR "Kaplan turbine" OR "francis" ) ), se encontró un total de documentos de 3.702 y se realizó un filtrado de mayor citación para la búsqueda de documentos de los últimos años y cinco últimos años para los primeros 5 documentos para posteriormente elegir los siguientes cinco de toda la historia.

#### **1.4.1.1. Vigencia de la temática.**

##### **Vigencia De los últimos 5 años**

**Anexo 01. Las tendencias de investigación bajaron con respecto al año 2005**

**anexo 02. Los modelos gráficos de la selección de datos Scopus**

##### **Descripción de artículos**

##### **Búsqueda de Scopus top 5 de la historia**

(" power generation" OR " pico hydro" OR "power plants" OR "hydroelectric plants") AND ("pelton turbine" OR "Kaplan turbine" OR francis).

**Anexo 03. Criterio de búsqueda de Scopus top 5 de la historia**

"Según Pradeep Kumar, se revisa la estructura de la turbina, ya que al transcurrir el tiempo, mediante el contacto del agua con el metal o los componentes con los que está construida, la turbina de la hidroeléctrica puede sufrir corrosión a largo o mediano plazo. Se sabe que la economía en las

regiones basada en el desarrollo tecnológico ambiental en cualquier sector, tanto rural como urbano, requiere de insumos de energía.

En la actualidad, la producción de energía en la India es de aproximadamente 128 GW, entre otras fuentes de energía que conforman el país de las energías renovables.

Según la Agencia Internacional de Energía, en la India aumentaría la producción de energía en el 2020, por lo tanto, en el año actual 2023 se tendría una generación de energías renovables, lo que haría que los demás sistemas cayeran de la producción de un 85% al 56% en los últimos seis años, según las investigaciones de científicos.

Dando a conocer que se destaca la pequeña energía hidroeléctrica, se considera la fuente de energía más prometedora. La turbina hidráulica transforma la energía del agua mediante transformación mecánica en energía eléctrica. Por lo cual, surgió el estudio de las cavidades para garantizar un buen funcionamiento de las turbinas, pero para los pequeños sistemas surge el problema de presión de los sistemas de turbinas existentes, por lo que se hace difícil operar una turbina de tipo impulso, ya que no se puede obtener suficiente velocidad para impulsar la maquinaria. Por lo tanto, surgieron las turbinas de reacción, y estas se consideran turbinas de alta velocidad bajo cabeza media y baja.

Entre las más reconocidas de las turbinas tenemos la turbina Francis. La gestión de las pequeñas centrales eléctricas es un factor importante, pero las turbinas muestran disminución de rendimiento a partir de ciertos años, dando mal funcionamiento entre daños debido a causas naturales, ya sea de materiales y corrosión.

Dada la investigación de Bryan R en las centrales hidroeléctricas en pico se puede dar a tener una tecnología viable y poder integrarse en un enfoque descentralizado aplicado en zonas aisladas. Para la electrificación rural en regiones que actualmente solo tienen un acceso limitado a la electricidad. Se da la solución de una turbina llamada turbina Turgo, se clasifica como una turbina de impulso para pequeños arroyos, para poder utilizarla en pico hidroeléctricos.

La oportunidad es que se puede usar para un flujo de agua significativamente más alto, lo que permite trabajar en rangos de cabeza más bajos. Encontrando que la eficiencia de la turbina de las variaciones en la relación de velocidad y la desalineación del chorro en dos turbinas Turgo. La

eficiencia de la turbina Turgo superaba el 80 % con una relación de velocidad de aproximadamente 0,46, siendo muy buena para un pico hidroeléctrico.

Recopilando la información en el mundo, se sabe que 1.600 millones de personas no tienen acceso a electricidad en absoluto, y un promedio de mil millones dependen de redes eléctricas poco confiables. La ONU marca la importancia de la energía eléctrica y las energías renovables. Las áreas rurales se conocen como la población que menos energía tiene, ya que las compañías no las mantienen como prioridad porque es el gobierno quien les paga la energía mediante subsidio y, por lo tanto, las compañías no invierten en estas zonas.

Las pequeñas centrales eléctricas son instalaciones que llegan a un máximo de generación de energía de 5 kW, siendo un método rentable, limpio y confiable al momento de generar electricidad mediante la energía mecánica para aplicar fuera de la red y desempeñarán un papel de apoyo a los servicios de energía eléctrica. Se sabe que en Nepal se reportaron unos 300 esquemas pico-hidro construidos por Práctica Acción que están produciendo electricidad, y así mismo se reportan a nivel mundial, creando cada año una cantidad de pico hidroeléctricas en todo lugar que se pueda adaptar. En África subsahariana, es uno de los lugares donde la electrificación se encuentra entre las más bajas del mundo.

Las minirredes son conocidas como las más usadas en cuanto a cantidad instalada, dando muchas ventajas, incluido el costo, ya que son muy económicas de instalar, con el beneficio de garantizar el éxito a largo plazo de los proyectos, el diseño y la instalación.

El resultado que encontraron fue que la eficiencia de la turbina está fuertemente influenciada por la relación de velocidad, que es lo más importante al momento de elegir una turbina y se adecua mediante la velocidad del chorro dada. La velocidad teórica debe establecerse en 0.53 al aplicarse un ángulo de chorro de 20°, y que los estudios que se experimentaron de velocidad en real entre 0.46 y 0.48. Cerca de la máxima eficiencia, los pequeños cambios en la relación de velocidad tienen un impacto limitado en la eficiencia. Para el diseño de una turbina se requiere no modificar el diseño original, ya que los estudios encontrados demuestran que reduce la eficiencia.

Según la información de B. Ogayar, el costo de los equipos electromecánicos, como turbinas, alternadores y reguladores, es lo que lleva una cierta cantidad del presupuesto de inversión

de la pequeña central hidroeléctrica. Este es un porcentaje de la suma total del costo final, y este costo es el que influye directamente en si el proyecto es viable o no.

Estos equipos electromagnéticos requieren de ciertos gráficos que nos ayudan a calcular el valor teórico de los componentes y si a largo plazo en un tiempo sugerido o ya establecido, lo cual hace más complejo el proyecto dado que los costos independientes ya están determinados, es necesario ver las siguientes variables entre los diferentes tipos de turbinas para determinar el valor de distintas constantes, incluyendo en esta el costo de mantenimiento, los cuales no se incluyen. Teniendo en cuenta que para la viabilidad de una hidroeléctrica es necesario estudiar bien el proyecto, analizando los distintos datos a petición de atener en la provincia de Jaén. También en esta se incluye la comunidad autónoma de Andalucía, las cuales ayudaron a la financiación de rehabilitaciones de centrales hidroeléctricas por pertenecer a las consejerías y en el manejo de distintas ciencias de innovación cabe resaltar a dos de los mejores especialistas en el diseño de pequeñas plantas como son Gordon y Pemán y así con distintos autores en distintos países y ciudades.

Algunas metodologías de análisis de costos, ya teniendo en cuenta y comprobando grandes diferencias entre datos actuales de los costos y teniendo en cuenta la función de potencia y las constantes a, b, c para la determinación de distintas variantes, nos ayudará a llevar a cabo un análisis de acuerdo a los diversos costos para los niveles de alta potencia e inferiores a 100 m en el cual también hay que hacer notar los errores que suelen ocurrir, los cuales dan un porcentaje de 22.27% y 15.83 %.

Al dar una validación de los resultados, se nota que varias empresas de ingeniería evidencian resultados, ya que cumplen con las normas de fabricación y que todos los estudios realizados en base de los costos y la viabilidad de estos en diferentes tipos de instalaciones reales en distintas ubicaciones como Europa y el norte de África siendo estos los más reconocidos a nivel mundial.

Los análisis de simulación de Hongqing Fang sobre las hidroeléctricas y su funcionamiento. Dadas sus características, consta de un túnel de agua, una tubería forzada, una turbina hidráulica, un tanque de compensación, un regulador de velocidad, partes fundamentales y un módulo generador. Se basa en un sistema no lineal y se requiere de varias operaciones del sistema, y se

generan muchos casos de daños en la tubería y en los componentes de partes mecánicas que están sometidos a grandes fuerzas.

La implementación del método característico requiere códigos complejos en lenguajes de programación entre frecuencia, velocidad y tiempo, variables y cables para una buena simulación. Para el desarrollo de esta tecnología, se fortalece la investigación mediante el software de MATLAB, que se convirtió en una herramienta estándar para la computación de desarrolladores mediante Simulink. Se diseñaron modelos matemáticos para analizar estos sistemas dinámicos, para el desarrollo de una opción atractiva para la investigación de dinámica no lineal en centrales hidroeléctricas.

Se tiene una variable mediante librerías, la más conocida es powerlib. Se usan los parámetros en valores de donde se utilizan las tres formas del tipo de modelo de la máquina síncrona.

Los parámetros eléctricos y mecánicos. Definiendo los parámetros para el generador, seleccionamos la opción aplicar y queda configurado de esta forma para el bloque. Así se sigue generando programas, ensayando mediante la simulación y verificando los funcionamientos de cada uno.

Para los modelamientos matemáticos en centrales hidroeléctricas, se desarrolla en áreas de investigación aplicada en la ingeniería potencial. Usando La dinámica no lineal, no estacionaria y multivariable, el desafío se enfoca en la aplicación de sus circuitos, lo cual se convierte en un problema desafiante. Apareciendo el desarrollo de técnicas de control eficientes, lo cual es un problema analítico de la ingeniería eléctrica. Los modelos de MATLAB de los sistemas dinámicos hidráulicos de las hidroeléctricas se clasifican en la literatura en dos grandes grupos:

- Modelos con columna de agua inelásticas: representan una simplificación cuyo grado de aproximación es aceptable para tuberías de presión cortas.
- Modelos con columna de agua elástica: son los que se conoce con más información, pero difícil de aplicar ya que consideran la propagación de ondas de presión a lo largo del sistema.

Los circuitos hidráulicos con un funcionamiento análogo en el tratamiento de ondas son modelos inevitables en la representación de tuberías presión largas, también se tiene como variable considerar o no el modelamiento de eventuales cámaras de alivio y cámaras de carga pequeñas. El

modelamiento matemático aplicado a programas de simulación ha sido históricamente impulsado por el estudio del comportamiento dinámico de los sistemas eléctricos de potencia, la física y las CMH.

El modelo hidráulico de una CMH en sus sistemas se garantiza mediante un laboratorio de física mediante una planta de pruebas a la hora de desarrollar actividades de los sistemas eléctricos de potencia. Tradicionalmente se usan el modelamiento por control de la tensión del problema de control de frecuencia, usadas en las redes de transmisión mediante las frecuencias combinadas, ya que dependen de la primera y la frecuencia de la segunda.

Esto infiere en que la separación de las variaciones de frecuencia es relativamente pequeña. En los sistemas pequeños, no influye mucho la variación de carga para la frecuencia y se puede adaptar una CMH suministrando potencia a un consumo local aislado de la red eléctrica.

Los controles de frecuencia se conocen varios modelos históricos al momento de trabajar con algún sistema en pequeñas desviaciones alrededor de un punto de operación. La función de transferencia se puede expresar aproximadamente en términos de la potencia mecánica y potencia eléctrica mediante fórmulas matemáticas que consideran un sistema. Esto solo se considera para el modelado dinámico del conjunto generador de carga, las cuales tiene las variables de  $P_m$ , la existencia de una turbina alimentada por un circuito hidráulico mediante la potencia mecánica, usando una válvula que transforma una señal de control en un flujo de agua hacia la turbina. De esta manera se pueden usar los diagramas de bloque para el controlador del generador de carga usando los programas de simulación. El controlador de frecuencia es el sistema que se encarga de generar a partir del error de frecuencia observado una señal de referencia  $G_{ref}$  de posición de la válvula.

Las turbinas Francis convencionales son maquinarias de velocidad síncrona de regulación simple, diseñadas con una estructura fija y con un ángulo de carga graduable, y dependen de cada tipo de generador y las revoluciones que sean deseadas, guiándose del punto del diseño mediante la eficiencia (BEP). Se debe determinar muy bien los parámetros de trabajo, ya que estas turbinas requieren precisión en sus ajustes de diseño. Las nuevas tecnologías de hidroeléctricas más comunes operan durante períodos prolongados lejos del BEP y las turbinas se operan de manera mucho más ruda. Por lo que la turbina desempeñará un papel importante en los procesos del generador y el intercambio de energía hidráulica mediante el choque del agua y las aspas. Por lo

que se identificaron varios aspectos de la operación de velocidad variable de las turbinas Francis donde con estos cálculos se puede modificar la turbina y mejorarla e incluso sacar nuevas versiones.

Las tuberías de uso para esta turbina se pueden clasificar de diferentes formas. Conocemos las turbinas de acción en las que la energía del agua a la salida del distribuidor es toda cinética. También existen las turbinas de reacción donde esto ocurre solo en parte. Dividiéndose en turbinas axiales o radiales, según que la columna de líquido se desplace en el rodete a lo largo del eje de rotación. También se conocen para saltos de poca altura (Francis y de hélice, saltos que no sobrepasan los 10 m y grandes caudales de incluso centenares de metros cúbicos). Esta turbina se describe como una turbomáquina motora a reacción y de flujo mixto, y se la puede utilizar en un amplio rango de saltos y caudales, ya que su diseño es fiable para cualquier instalación sin importar los desniveles, llegando a ser la más usada en el mundo por su diseño. Pero son muy costosas de diseñar, fabricar e instalar, pero pueden funcionar durante décadas.

El enfoque que se dio para la implementación de la tecnología de velocidad variable se enfocó para las potencias y se ajustara en rangos predeterminados, la cual se gradúa mediante el diseño de cabezal de operación y la velocidad del corredor. Para bombas-turbinas convencionales de velocidad fija, se regulan las potencias de entrada, redimensionando las aperturas de las paletas.

La operación de turbina mediante RPT también puede tener beneficios de la operación de velocidad variable usando baja potencia de salida mediante el ajuste de rotación al momento de la producción de energía y cabeza disponibles. Puede aumentar la eficiencia porcentualmente dependiendo del diseño y teniendo en cuenta los parámetros iniciales del BET para que no afecte el funcionamiento.

Estas turbinas, al ser de un material que es acero y sus dimensiones que son fijas, sus costos son muy elevados y la mayoría de las veces se usan para salidas de potencia inferiores a 100 MW por unidad, con una eficiencia de tales convertidores está en el rango de 92 a 95%.

Ya que la tecnología de los generadores mediante los convertidores electrónicos de potencia modernos y la reducción de sus precios, en este caso que se usa la tecnología HPP, las cuales no se han actualizado y, por lo tanto, son insatisfactorias.

El segundo modelo de método utiliza es un generador asíncrono (generalmente llamado DFIM - Máquina de inducción de doble alimentación), mediante la potencia de frecuencia, las

cuales son directamente proporcionales al rango necesario de variación de velocidad. Estas son utilizadas para salidas de potencia de 100 MW por unidad con variación de velocidad. Para la tecnología DFIM, no puede exceder el rango de  $\pm 10\%$  de la velocidad y se utiliza el método FSFC."

### **Búsqueda top 5 actual en la historia**

(" power generation" OR " pico hydro" OR "power plants" OR "hydroelectric plants") AND ("pelton turbine" OR "Kaplan turbine" OR francis).

### **Anexo 04. Criterio de búsqueda de Scopus top 5 actual de la historia**

Los sistemas hidráulicos incluyen en cada una de sus tuberías una conexión de transitorios hidráulicos los cuales tienen distintas características como (moc) y (fvm) entre otros, estos dos métodos sugieren variantes los cuales al compararlos y complementarlos nos da como resultado nuevos métodos como (cfd) en modelado 3D el cual va centrado a las hidroeléctricas como prototipos de acoplamiento centrales esto nos proporciona resultados precisos y factibles.

Son métodos para calcular los flujos de agua mediante análisis matemáticos aplicando a tuberías para garantizar un buen desarrollo de las instalaciones y durabilidad para la práctica a una solución de un problema general, las principales propiedades de estos métodos se basan en masa, energía y volumen, con el proceso descrito anterior da el siguiente paso de comprobación y simulación donde se pone a prueba la factibilidad de este proceso con los métodos anteriores dados con distintas coordenadas de espacio y tiempo.

Mediante el análisis de walczak (2018): nos da a conocer se revisa el desarrollo sostenible de los resultados medioambiental usando de ejemplo el paquete climático, analizados en el 2020, de Polonia un lugar contaminante por su infra estructuras el cual fue obligado a participación de las energías renovables en su consumo de energía al 15% y denominaron al año como la estrategia 20 consiste en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20 %, incrementando un 20% las energías renovables y la eficiencia de un 20% surgiendo el desarrollo de las centrales hidroeléctricas (PCH) y de esta forma consecutivamente se fueron organizando los demás países apoyando a las energías renovables como fue la de Turquía porque aumentó su potencial

energético a partir de la energía renovable del agua cuatro veces en un analizando una adaptación de una central hidroeléctrica. En este caso se enfoca en China, esto podría significar. De capacidad instalada (P) hasta 25 MW, en cambio, en India a producción de energía es de hasta 15 MW, y en Suecia se espera que PCH tenga. Centrales eléctricas de hasta 1,5 MW. Mediante la información recaudada por la Asociación Europea de Pequeñas Hidroeléctricas (ESHA), la Comisión Europea (UE) y la Unión Internacional de Productores y Suministradores de Electricidad (UNIPEDA), una pequeña central hidroeléctrica es una central eléctrica con una capacidad de hasta 10 MW.

Se estima que pequeñas centrales eléctricas se utilizan ampliamente en la generación de energía en UE y otras partes del mundo por su gran popularidad, Pero todo no puede ser bueno los efectos negativos sobre el medio ambiente, a menudo asociados con animales y plantas. Valero ha demostrado que el impacto significativo de las pequeñas centrales hidroeléctricas en la calidad del agua y el clima se muestra durante la construcción de las centrales hidroeléctricas e incluso dos años después de su finalización. Pasado este tiempo, la temperatura y la cantidad de oxígeno disuelto en el agua vuelven a las condiciones normales aptas para el desarrollo de los organismos acuáticos. Los SHP afectan varias cosas, como el flujo y la profundidad del agua, que afectan a los animales y las plantas. Wougieukli analizó el impacto de las pequeñas centrales hidroeléctricas en el medio ambiente utilizando un enfoque de evaluación (ACV). Sus principales características son: identificar y cuantificar las cargas ambientales, evaluar los impactos potenciales y explorar las opciones que ofrece la agencia para mitigarlos. En todos los costos de investigación, ya que esto afectaría el análisis financiero del proyecto.

Mediante la información analizada por Yuning Zhang (2018): en tiempos futuros las energías que nos sustentaran serán las energías renovables, ya que con ellas abra un balance medioambiental, aunque ya estén actualmente estas en funcionamiento en algunos países y ciudades, a futuro será usada estas energías renovables en gran cantidad serán establecidas mundialmente.

También tenemos que tener en cuenta en estos casos la estructura y varios tipos de inestabilidades en algunos casos extremos podrían verse afectados las operaciones de la central por eso es importante verificar fallas o errores que puedan ser el causal de algún problema o

inestabilidades tanto internas como externas en este caso para darle un debido estudio al proceso que hay que llevar a cabo para solucionar cada dificultad que en esta se presente estos procesos se debe a que la identificación de los vórtices tienen aplicación a turbinas hidráulicas y esta información va enfocada en la seguridad De la clasificación con base en cinco taxonomías con varios métodos representativos introducidos en gran medida, ya que no estamos hablando de un estudio simple porque estos vórtices son producidos con distintas caracterizaciones una más distinta que otra por esto cada una requiere un análisis detallado y que determine el proceso a seguir por lo cual son seccionados en distintas categorías.

Mediante los desafíos globales presentados por Elena Comino (2020), las estructuras de las ciudades han dado un giro en complejidad en la población, ya que hay mayor cantidad de habitantes. Es un proyecto en el cual se plantean varios sistemas en donde se analizan varios pasos preliminares como lo son, por ejemplo: Análisis del contexto urbano, Evaluación de Impacto Ambiental, Análisis de normas administrativas y Comunicación a los ciudadanos también nos ofrece unos beneficios como: Producir energía limpia y local, Reducir el impacto ambiental, Preservar el ecosistema natural y Reducir los impactos negativos para los humanos.

Desafíos globales para el uso de los recursos: Las ciudades al pasar el tiempo han evolucionado cambiando como primera medida su estructura, también el manejo en distintas técnicas, oportunidades que ofrece la gestión de los recursos hídricos es la energía hidráulica, esta energía además de ser renovable es una energía limpia que ayuda a tener un balance ambiental con la naturaleza también ayudando así al desempeño en el desarrollo económico e industrial. Un porcentaje de las pequeñas centrales hidroeléctricas son del tipo agua de flujo, lo que significa que las turbinas producen electricidad hasta que el caudal a través de ellas es igual o mayor que su mínimo técnico y se detienen cuando el caudal cae por debajo de eso. Nivel No suele ser posible almacenar agua para generación durante este tipo de uso, aunque hay excepciones, especialmente en zonas montañosas, donde la cámara de carga se amplía en para este fin.

Cuando se produce energía a partir de fuentes renovables, es importante aumentar la escala. wahoo de agua dulce Barreras de agua en ecosistemas costeros. Las barreras pueden afectar la vida silvestre y la biodiversidad al causar cambios en las tasas de flujo, la restauración del hábitat y la migración de sedimentos. Ecosistemas más afectados por el estrés ambiental. Las propuestas de soluciones técnicas para el uso de fuentes de agua externas en la producción de energía deben

tener en cuenta las áreas sociotécnicas y ecológicas. Las soluciones técnicas deben garantizar la buena salud de las tierras agrícolas tanto en entornos urbanos como rurales.

Analizando la información aportada por Dean R (2017), durante los últimos desarrollos de las décadas del mercado de electricidad moderna. En plantas hidroeléctricas universales mediante el mercado y la participación medioambiental, la energía hidroeléctrica depende cada vez más de la estabilización de la red eléctrica. Por lo tanto, las centrales eléctricas experimentan rutinariamente operaciones de su carga, cambios frecuentes en los valores operativos y procedimientos de aceptación.

Los modelos dinámicos de sistemas de los grupos de trabajo de IEEE EN 1992 sobre Modelos de suministro de Energía y Motores Primarios para Estudios de Rendimiento representado formulación de modelos de turbinas hidráulicas lineales y no lineales, teniendo en cuenta los factores de diseño así también los modelos dinámicos de Kundur adapta una formulación ligeramente diferente. Desde entonces, ambos modelos se han utilizado ampliamente en la literatura y en la industria, Los modelos de canal elásticos se basan en las ecuaciones del momento y la continuidad pueden resolver aplicando métodos de impedancia lineal y basado en la teoría de la línea de transmisión eléctrica donde la cabeza y el flujo son análogos al voltaje y la corriente de la línea de transmisión respectivamente. La solución general de las ecuaciones diferenciales parciales en el tiempo y el espacio, normalizadas por altura nominal y caudal, viene dada por: Se muestra el diagrama de bloques utilizable de un sistema de energía. Indicación del alcance del modelo presentado.

Desde la perspectiva del sistema, la variable controlada importante es la frecuencia establecida, en cuanto a la posición del servomotor (que controla la apertura de la veleta) es una variable dependiente. Pero para validarlo, Puntos hidráulicos del nuevo modelo, mediante el alcance del modelo presentado. Desde la perspectiva del sistema, la variable controlada importante es la frecuencia establecida, Puntos hidráulicos del nuevo modelo, la actitud del servomotor es el Acceso de interés primario porque eso es lo que inicia físicamente a todos, Evento transitorio hidráulico.

Tomado como acceso al sistema, registrado a partir de mediciones, prueba de campo real, durante la cual la potencia de salida eléctrica, PAGEO, MATLAB. Como en el modelo habitual, el

flujo de la turbina y la presión de la tubería forzada se calculan y utilizan en el cálculo de la desviación de la velocidad del rotor y se retroalimenta al modelo de turbina.

### **Análisis de los estudios**

Mediante los estudios preliminares de la documentación recopilada y el enfoque en los programas de simulación utilizando MATLAB, podemos facilitar los cálculos y sistemas mecánicos para garantizar un buen diseño físico.

Aplicando modelos matemáticos recopilados de información de bases de datos basados en pruebas de tipos de diseños existentes, riesgos y necesidades de la población, las estructuras hídricas se basan en sistemas dinámicos. A partir de ecuaciones, se puede variar la velocidad del torque mecánico y los reductores mecánicos. Parte de la historia relata las consecuencias que ha tenido el desarrollo energético mundial, ya que se busca mejorar el cambio climático reduciendo la contaminación de plantas de carbón o nucleares.

#### **1.4.2. Marco teórico**

**Introducción a las Turbinas Michell-Banki:** Las turbinas Michell-Banki, también conocidas como turbinas Banki-Michell o turbinas de flujo cruzado, son una variante de las turbinas hidroeléctricas utilizadas para la generación de energía eléctrica a partir del flujo de agua. Fueron desarrolladas por los ingenieros australianos Anthony Michell y Arthur Constantin Banki a principios del siglo XX.

**Principios de Funcionamiento:** Las turbinas Michell-Banki funcionan aprovechando el principio de la conversión de energía cinética del agua en energía mecánica y, finalmente, en energía eléctrica. El proceso se puede dividir en las siguientes etapas:

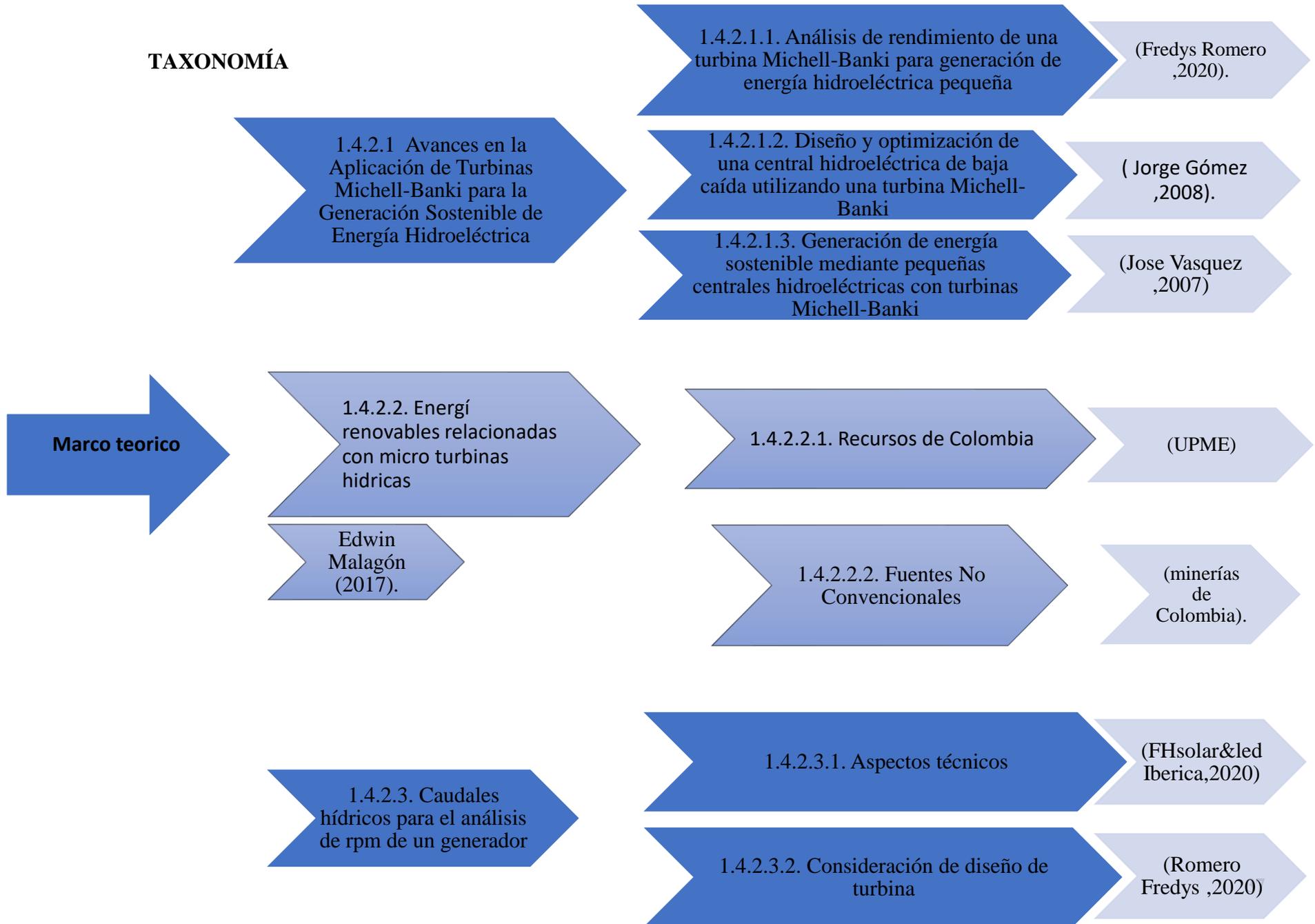
1. **Captación del Agua:** El agua se captura desde una fuente natural, como un río o arroyo, y se canaliza hacia la turbina a través de una tubería o canal.

2. **Boquillas de Inyección:** El agua se dirige hacia la turbina a través de boquillas de inyección. Estas boquillas aceleran el flujo de agua, aumentando su velocidad y, por lo tanto, su energía cinética.
3. **Rodete o Rotor:** El agua de alta velocidad golpea las palas de un rotor en forma de paletas curvas. El rotor está conectado al eje de la turbina.
4. **Transformación de la Energía:** La energía cinética del agua se transfiere al rotor, haciendo que gire. A medida que el rotor gira, su energía mecánica se transmite a un generador, que convierte esta energía en electricidad.
5. **Generación de Electricidad:** El generador produce electricidad que se puede utilizar directamente o se almacena en baterías para su uso posterior.

**Diseño de Turbinas Michell-Banki:** El diseño de las turbinas Michell-Banki debe considerar varios aspectos clave para su eficiencia y rendimiento óptimo:

1. **Geometría del Rotor:** La forma y el tamaño del rotor, así como el ángulo de las palas, son críticos para la eficiencia de la turbina.
2. **Selección de Materiales:** Los materiales utilizados en la construcción de la turbina deben ser duraderos y resistentes a la corrosión.
3. **Control de Velocidad:** Es importante implementar sistemas de control de velocidad para adaptarse a las variaciones en el caudal de agua y mantener un rendimiento constante.
4. **Eficiencia Hidráulica:** El diseño hidráulico, incluidas las boquillas de inyección, debe optimizarse para garantizar una conversión eficiente de la energía del agua en energía mecánica.

**Aplicaciones de las Turbinas Michell-Banki:** Las turbinas Michell-Banki se utilizan principalmente en pequeñas instalaciones de energía hidroeléctrica, especialmente en áreas rurales o remotas donde el acceso a la red eléctrica es limitado. También se utilizan para la generación de energía en sistemas de riego y en proyectos de energía renovable.



### **1.4.2.1. Avances en la Aplicación de Turbinas Michell-Banki para la Generación Sostenible de Energía Hidroeléctrica.**

**1.4.2.1.1. Análisis de rendimiento de una turbina Michell-Banki para generación de energía hidroeléctrica pequeña.** Este estudio se concentra en evaluar el rendimiento de una turbina Michell-Banki en el contexto de la generación de energía hidroeléctrica a pequeña escala. El objetivo principal es comprender su eficiencia y capacidad de generar energía de manera sostenible en condiciones específicas de flujo de agua y carga. Esto se logra mediante pruebas experimentales y análisis computacionales que evalúan la eficiencia y la potencia generada de la turbina en diversas condiciones operativas. Los resultados obtenidos son cruciales para el diseño y la implementación de sistemas hidroeléctricos a pequeña escala, lo que puede impulsar la expansión de energías renovables.

En resumen, esta investigación se enfoca en analizar el rendimiento de una turbina Michell-Banki como fuente de energía hidroeléctrica a pequeña escala, utilizando enfoques experimentales y computacionales. Sus hallazgos pueden ser fundamentales para el desarrollo de sistemas de energía renovable en comunidades locales y regiones remotas, promoviendo la sostenibilidad energética sin infringir derechos de autor (Fredys Romero,2020).

**1.4.2.1.2. Diseño y optimización de una central hidroeléctrica de baja caída utilizando una turbina Michell-Banki.** Este artículo se enfoca e Este artículo aborda la generación sostenible de energía mediante pequeñas centrales hidroeléctricas equipadas con turbinas Michell-Banki. Los autores discuten las ventajas y los desafíos de esta tecnología en términos de sostenibilidad. Se destaca su potencial para contribuir a la generación de energía limpia en áreas con recursos hídricos limitados.

El estudio denominado "Design and Optimization of a Low-Head Hydropower Plant Using a Michell-Banki Turbine" tiene como enfoque principal la creación y mejora de una planta de generación de energía hidroeléctrica con caída de agua reducida, empleando una turbina Michell-Banki como elemento central (Jorge Gómez, 2008).

Esta investigación se desarrolla mediante un proceso minucioso de diseño y perfeccionamiento, que involucra la selección adecuada de parámetros de diseño, la evaluación de

distintas configuraciones y la optimización del funcionamiento de la turbina. Se emplean herramientas computacionales avanzadas para llevar a cabo análisis de flujo, eficiencia y desempeño en diversas condiciones operativas. El propósito principal consiste en alcanzar la máxima eficiencia y producción de energía con una inversión de recursos mínima.

**1.4.2.1.3. Sustainable Energy Generation Using Small Hydropower Plants with Michell-Banki Turbines.** Este artículo aborda la generación sostenible de energía mediante pequeñas centrales hidroeléctricas equipadas con turbinas Michell-Banki. Los autores discuten las ventajas y los desafíos de esta tecnología en términos de sostenibilidad. Se destaca su potencial para contribuir a la generación de energía limpia en áreas con recursos hídricos limitados. Estos resúmenes brindan una visión general de los enfoques y los hallazgos clave de cada uno de los artículos, destacando la relevancia de las turbinas Michell-Banki en proyectos de generación de energía hidroeléctrica a pequeña escala y su potencial en la transición hacia fuentes de energía renovable (José Vásquez ,2007).

**1.4.2.2. Energías renovables relacionadas con micro turbinas hídricas.** Energía para el futuro se abarca en el 2015 En la Cumbre Mundial Sobre Desarrollo Sostenible, enfocado al 2030 donde declararon objetivos y metas a cumplir en los 15 años próximos esta aprobación de la ONU abarca que “La energía cobró mayor relevancia como elemento fundamental en el camino hacia el desarrollo sostenible estableciéndose el objetivo número 7”: Mediante objetivos garantizan la energía a asequible, segura, sostenible y moderna.

La centrales hidroelectricidad permite un servicio de energía confiable: la hidroelectricidad es importante para garantizar la seguridad y la estabilidad de los sistemas eléctricos, y también permite un mayor suministro de energía al proporcionarla en el sitio. La energía hidroeléctrica aumenta significativamente la proporción de energía renovable: la energía hidroeléctrica es responsable de más del 70% de la energía renovable del mundo producida a partir de diversas fuentes, muy por detrás de otras, como la energía solar o eólica, Edwin Malagón (2017).

**1.4.2.2.1. Recursos de Colombia.** Colombia es uno de los países con mayor recurso tanto en combustibles fósiles como en recursos renovables, pero dado que su consumo está basado en un 78% de recursos primarios de origen fósil, se busca reducir estos porcentajes, ya que el límite del tiempo se ha acabado sabiendo que de 7 años más para el caso del petróleo y 15 años más para el caso del gas natural dado en el 2014 con importaciones de este recurso que se dijeron en 2017 al 2018 que se dio el pronóstico para cuando la demanda de Colombia superara los recursos generados, en cuanto la dependencia de la matriz eléctrica del país se da por las hidroeléctricas, que representa un 70% de la capacidad instalada a diciembre de 2014 y un 70% a 80% de la generación eléctrica anual, desde estos años que han pasado se dieron muchas preguntas de como generar nuevas energías que sean renovables y no perjudiquen el medio ambiente ni altere la naturaleza integrando así energía eólica, la solar, la generación geotérmica y la cogeneración moderna a partir de la biomasa. Actualmente se está haciendo análisis para desarrollar energías a partir del proceso geotérmico (UPME).

**1.4.2.2.2. Fuentes No Convencionales.** Destacado por la Ley 1715 de 2014 definió las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCR) es toda energía pequeña que no se comercializa y son utilizadas de manera magistral. Al hablar de FNCR son denominadas como la biomasa, donde abarca todo pequeños aprovechamientos hidroeléctricos como las (PCH), la eólica, la geotérmica, la solar y los mares. Además, la Ley de Transición Energética estableció como FNCR a otras fuentes como el hidrogeno verde y el hidrogeno azul.

Entre estas energías no convencionales encontramos energía de hidrógenos, las FNCR y recurso de energía distribuidas, los auto generadores a gran escala (agge) pero también cabe readaptar que entran la solar, la eólica, las PCHs, las biomasas y la geotérmica. Son denominados energía renovable disponible a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, al no tener mucho conocimiento de estas energías son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente más que todo son proyectos pequeños desarrollados para alguna pequeña empresa o personalmente, (energías de Colombia).

**1.4.2.3. Caudales hídricos para el análisis de rpm de un generador. Aspectos técnicos.** La tecnología moderna nos da un avance a centrales hidroeléctricas con generadores que cada día van desarrollando para distintas actividades comerciales con generador hidroeléctrico de patio.

Si tiene la suerte de tener un arroyo o un río que atraviese tu propiedad, las opciones disponibles son numerosas. Se puede instalar generadores por medio de tuberías que recorren el hogar ya sea que se use para tomar o para diferentes actividades. Entre los generadores de turbinas hidroeléctricas se destacan marcas como; FHHC10A7000KW,

GreenPower, SAVEMORE4U, Jiangsu Naier, WZINTOP Micro-Hidro Generador Portátil.

Parámetros:

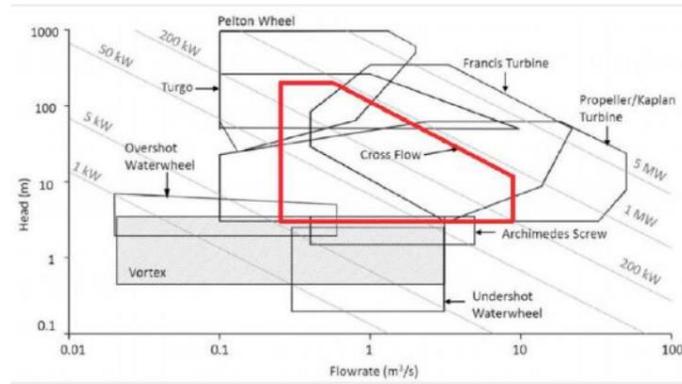
Rango de operación de la turbina

- Saltos:  $H = 5 \dots 200$  m
- Caudales:  $Q = 0,03 \dots 16$  m<sup>3</sup>/s
- Potencia instalada:  $N = 10 \dots 7\ 000$  kW los generadores hidroeléctricos de turbina de flujo cruzado los puntos fuertes: Excelente calidad de construcción, bajo mantenimiento y buena producción de energía en propiedades con una cabeza relativamente baja los No-Tanto: Estas unidades son bastante caras y son generalmente para gente que busca salir completamente de la red, en micro generador hidroeléctrico de 5KW (FHsolar&ledIberica,2020).

**1.4.2.3.1. Consideración de diseño de turbina.** Para tener en cuenta que las turbinas hidroeléctricas son de movimiento de torque y potencia en un eje cambia o transforma mediante un flujo de agua que se mueven a través de estos dispositivos, esta energía se puede utilizar para trabajar o para generar electricidad conectando el eje de producción a un generador eléctrico. Turbina Michell-Bank, también conocida como turbina de flujo cruzado operar a caudales entre 0,2 y 10 m<sup>3</sup>/s y saltos entre 5-150 m, como se muestra en la Figura 21, que muestra los rangos de operación de diferentes tipos de turbinas.

**Figura 1**

*selección de la turbina*



Nota: Rangos de operación para turbinas Pelton, Francis, Kaplan, flujo cruzado, tornillo de Arquímedes, Turgo y vórtice gravitacional. Modificada

Fuente: consideraciones de diseño de una turbina michell-banki(2020)

**Turbina Michell-Banki** La turbina de flujo cruzado fue creada en 1903 por el ingeniero australiano Anthony George Mal don Michell, quien se inspiró en la teoría utilizada por el creador de la rueda hidráulica (Jean-Victor Poncelet) pero fue el profesor húngaro Donat Banki quien descubrió el Angulo perfecto para hacer funcionar corrupta mente la turbina, a raíz del cual precisó a través de diversas publicaciones que paralograr una buena eficiencia, el ángulo de dirección del chorro con el que se hace contacto con la cuchilla debe determinarse.

La turbina Michell-Banki Se compone de 4 elementos: rodete o rotor, inyector o tobera, tubería de conducción y álabe director o directriz. Conformada por la turbina quien transforma la energía hidráulica en movimiento acial, el rotor, el cual consta con la unión de los álabes curvados con forma de sector circular, generalmente con bordes afilados para lograr una reducción en la resistencia al flujo. Su principio de funcionamiento mediante la transformación de la energía potencial (cabeza de altura), en energía cinética, justo antes de que el fluido ingrese al rodete, el cual opera a presión atmosférica, el agua es trasportada mediante tuberías hasta los álabes los cuales caen a gran presión y hace girar los rodetes. Donde toca una determinada cantidad de álabes que,

por su ángulo  $\alpha$  (ángulo de ataque), da giro y sincroniza el RPM para alimentar al generador. (Romero Fredys ,2020).

## **1.5. Metodología**

### **Para el Análisis de Turbinas Michell-Banki**

El proceso comienza con la recopilación exhaustiva de datos relevantes sobre la turbina en cuestión. Esta información abarca dimensiones, materiales, caudal de agua, velocidad de giro, historial de operación y otros datos significativos. Una vez recopilados estos datos, se procede al estudio detallado del diseño de la turbina. Se presta especial atención a la geometría del rotor, las palas y las boquillas de inyección que controlan la caída de agua desde el canal hidrodinámico. Este análisis busca comprender cómo se ha optimizado el diseño para lograr una eficiencia hidráulica óptima.

Si es posible, se llevan a cabo mediciones en campo para obtener datos en tiempo real sobre el rendimiento de la turbina. Se registran parámetros como el caudal de agua, la velocidad de giro del rotor y la producción de energía. Con estos datos, se realiza un análisis de eficiencia mediante fórmulas y ecuaciones pertinentes, comparando la energía eléctrica generada con la energía hidráulica disponible en el flujo de agua.

Identificadas posibles pérdidas de energía en el sistema, se evalúan áreas susceptibles de mejoras, como la optimización de las boquillas de inyección, ajustes en la geometría del rotor o mejoras en los componentes del generador. En algunos casos, se puede recurrir a simulaciones y modelados para prever el comportamiento de la turbina bajo diferentes condiciones operativas.

Una fase crucial del análisis implica la comparación de los resultados obtenidos con estándares y normativas aplicables a turbinas hidroeléctricas. Este paso permite evaluar si la turbina cumple con los requisitos de eficiencia y seguridad establecidos. Además, se incluye una evaluación de los materiales utilizados y los costos asociados mediante una tabla de presupuesto,

brindando una visión integral del rendimiento y la viabilidad económica de la turbina Michell-Banki.

### ***1.5.1. Tipo de investigación***

Este proyecto está enfocado en la creación del desarrollo de una microturbina que sirva para la generación de energía por medio de la utilización de un generador, es importante dar a conocer el proceso que se implementara iniciando desde la recolección del agua que proviene del caudal, posteriormente el agua pasa por la turbina la cual se evalúa las velocidades que se pueden generar mediante la alteración del caudal del agua, al ser implementado en los laboratorios de la Universidad Mariana se puede evaluar en un lugar controlado el comportamiento de la turbina

### ***1.5.2. Línea y sub línea del grupo de investigación***

El presente proyecto se clasifica en el desarrollo mecatrónico para el procedimiento de gestión ambiental mediante el desarrollo de una microturbina, dando apoyo a la gestión energética de la región con la investigación de las aplicaciones a pequeños caudales, se puede implementar esta turbina ala generación eléctricas regulando la demanda energética y sus altos costos en la sub línea se aplica las energías renovables. Utilizando procesos de diseños y análisis de cálculos y simulación, apoyándonos de los manuales generados por investigadores que han creado este modelo de turbina a usar nombrada Michell Banki.

### ***1.5.3. Hipótesis de la investigación***

H1: La turbina desarrollada generará al menos un 30% de la energía eléctrica requerida para la vivienda ubicada en la vereda el Guarangal.

1.5.3.1. **Hipótesis Nula.** H0: La turbina desarrollada no generará suficiente energía eléctrica para abastecer por completo la vivienda ubicada en la vereda el Guarangal.

**1.5.3.2. Hipótesis Alternativas.** H2: La turbina desarrollada generará al menos un 25% de la energía eléctrica necesaria para abastecer la vivienda ubicada en la vereda el Guarangal.

#### **1.5.4. Descripción de la metodología**

La metodología empleada en el diseño de la turbina Michell-Banki sigue un enfoque holístico que abarca desde la recopilación de datos en diversos arroyos para determinar la ubicación óptima, hasta la consideración de información basada en prototipos existentes. Este proceso implica la implementación de varios métodos de instalación, como el diseño de represas, la instalación de tanques para el control del caudal y la creación de una estructura de "ducto de circulación de agua controlada". Además, se llevarán a cabo estudios detallados para supervisar y controlar el funcionamiento de la turbina mediante sensores que recopilarán datos operativos esenciales.

La selección del enfoque más adecuado se basará en criterios específicos alineados con la línea de investigación pertinente para este proyecto. Es importante destacar que, en términos de la instalación eléctrica, se considerará la incorporación de un generador de 12 V DC para garantizar un sistema de funcionamiento versátil y eficiente. Esta metodología integral permitirá el diseño e implementación exitosa de la turbina Michell-Banki para la generación de energía eléctrica en estos dos niveles de voltaje.

##### **1.5.4.1. Método.**

**Fase 1. Calcular, investigar y diseñar un sistema:** Recolectar información de diferentes proyectos y documentos que ayuden a la tarea de desarrollar fórmulas para calcular caudal, presión, nivel de desviación, amplitud entre otra variable que se requieran. calcular mediante mediciones de los diferentes arroyos los caudales para identificar la velocidad máxima de potencia que nos abarca la zona, para identificar los cálculos el generador a la necesidad e implementarlos en el desarrollo.

Para garantizar el diseño se implementan diferentes modelos de recolección del agua con un caudal óptimo requerido para el generador el cual es de 120 V corriente alterna o 12 voltios de corriente directa aplicando un banco de baterías de almacenamiento, investigar y diseñar un sistema electrónico para la verificación y recolección de datos mediante sensor de RPM y el posible

instalación de un motor de 12 voltios de corriente continua para el funcionamiento de la estructura y mirar los máximo y mínimo eficiencia.

**Fase 2. Seleccionar el diseño y armar el prototipo y el sistema de salida de RPM o polea:** se escogerá un diseño de turbina el cual más se adecue a la zona de instalación y del laboratorio de fluidos de una lista de opciones verificando la calidad y sus rango optimo par el prototipo adecuado para el banco de baterías si es de 12 voltios DC o conexión directa a 120 voltios de corriente continua, se tendrá en cuenta que sea accesible para garantizar un bajo costo, se procederá a construir y diseñar las piezas que hagan falta para la construcción dela turbina y el armazón de la máquina y poder tener recolección de datos para ajustes de nuevos prototipos.

**Fase 3. Adecuación del lugar de instalación:** Se procederá a adaptar la instalación mediante técnicas de fluido para asegurar un buen caudal, ya que se requiere un caudal óptimo para el funcionamiento. Esto puede lograrse mediante un desvío de agua utilizando un tanque o reteniendo el caudal.

Una vez obtenido el diseño, se adecuará la posición del generador y se pondrá en marcha el funcionamiento de la turbina. Finalmente, mediante el sistema tecnológico, se recolectarán los datos de la salida de la velocidad de RPM que pueda generar, permitiendo así una buena recolección de datos para un futuro rediseño y mejora del producto.

**Fase 4. Verificación y validación del prototipo:** se pondrá en funcionamiento el sistema garantizando el buen funcionamiento establecido, documentando la salida de velocidad implementando diferentes caudales de agua y analizando el inyector de agua el cual nos garantiza la proporción de velocidad de la turbina, para asi poder tener un modelo estadístico que permita establecer parámetros de funcionamientos al momento de querer usarlo en entornos similares.

### **1.5.5. Validez de la investigación**

La validez de la investigación en el diseño y construcción de turbinas Michell-Banki, incluyendo el análisis de las Revoluciones por Minuto (RPM) y otras métricas pertinentes, es fundamental para varios aspectos clave:

**Relevancia Científica y Tecnológica:** La investigación busca abordar la creciente necesidad de fuentes de energía renovable y sostenible. La validación de la tecnología de las turbinas Michell-Banki en términos de su diseño y capacidad de generación es esencial para contribuir a la transición hacia una matriz energética más limpia.

**Impacto Ambiental y Económico:** Una investigación sólida valida la viabilidad de las turbinas Michell-Banki como una fuente de generación de energía de bajo impacto ambiental. Esto puede tener implicaciones económicas significativas al reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables y los costos asociados con ellas.

**Eficiencia Energética:** El análisis de RPM y otras métricas relacionadas con el rendimiento de las turbinas Michell-Banki es crucial para evaluar su eficiencia energética. Una investigación rigurosa determina cuán efectivas son estas turbinas en la conversión de la energía hidroeléctrica en energía eléctrica.

**Diseño y Construcción Precisos:** La validación de la metodología de diseño y construcción garantiza que las turbinas Michell-Banki sean confiables y eficientes en su funcionamiento. Esto tiene un impacto directo en la durabilidad y la vida útil de las turbinas.

**Aplicación Práctica:** La investigación valida la aplicabilidad de las turbinas Michell-Banki en contextos específicos, como la generación de energía en regiones con recursos hídricos limitados o el uso en pequeñas centrales hidroeléctricas.

**Potencial de Escalabilidad:** La investigación proporciona información sobre la escalabilidad de esta tecnología, lo que puede ser esencial para futuros proyectos de generación de energía hidroeléctrica a mayor escala.

**Validez Externa:** Siguiendo la problemática inicial se proponía adaptar el producto finalizado de la turbina y del motor generador instalándolo en el caudal del lote el Roble, estas son las indicaciones del sitio de instalación y el mapa generado con el trazo del caudal en líneas azul, de color amarillo se indica el lote EL Roble.

Cabe señalar que, Solo se quedara con la validación interna mediante los cálculos matemáticos y el diseño 3D en software e instalación de la turbina en el laboratorio de Alvernia de la Universidad Mariana.

#### **Anexo 05. Descripción fotográfica geográfica de la ubicación de la anterior instalación del modelo de investigación**

Se propondrá que, con los datos obtenidos en el campus de la Universidad Mariana, se procederá a dar la validación de la microturbina Michell-Banki que se instalará en el ambiente del caudal natural presentado en la figura 23, teniendo en cuenta el entorno y sus cambios climáticos. Se llevarán a cabo una serie de estudios de verificación del sistema para dar una conclusión sobre si el lugar será óptimo para la adecuación del sistema de generador eléctrico.

Para la verificación del funcionamiento, se implementarán una serie de estudios mediante algunos días de prueba de unas dos semanas, registrando el cambio climático, el valor del caudal y los dos sistemas que se desarrollarán: el tanque de almacenamiento de agua versus el sistema de caudal sin controlar con el manejo de la naturaleza.

Finalmente, se realizará el ajuste de costos y beneficios, evaluando si se tendrá una compensación en el consumo del recibo de Cedemar. Mediante tablas de estadísticas, se verificará el rendimiento.

Lo que se demostrará con la validación externa será que con esta investigación de trabajo de grado de la instalación del prototipo final y, por ende, la solución a la hipótesis y a las problemáticas de la vereda, dará solución en la casa del lote El Roble, abarcado en el documento.

### **Instrumentación de la validación interna**

Se utilizarán los equipos del laboratorio de la Universidad Mariana ubicados en el laboratorio de mecánica de fluidos en Alvernia.

### **Fuente de agua adaptada al caudal original**

Utilizando el canal hidrodinámico básico de los laboratorios de la Universidad Mariana de la Figura 2, se empleará para simular la corriente de agua de un arroyo para el funcionamiento de la turbina.

### **Figura 2**

*Canal hidrodinamico*



Nota: se usará este canal para las pruebas de funcionamiento de la Turbina.

- **Modo de estudio**

Método de caudal para esto se usará un temporizador con el cual ajustando el tiempo de los 20 litros de agua por segundo el cual es de 1,06 segundos de la moto de agua real y se adaptará al canal Hidrodinámico, mediante el caudalímetro se mirará la velocidad del agua y el caudal, para esto se graduará los diferentes caudales para mirar el comportamiento de la turbina.

- **Validación de la turbina**

Mediante un generador se evaluará el funcionamiento de la turbina y el uso de un tacómetro para mirar cuantas RPM se genera y poder especificar los tipos de generadores que se pueden aplicar al prototipado de la turbina.

## **2. Presentación de los resultados**

### **2.1. Resultado de acuerdo a los objetivos**

#### **2.1.1. Resultado del Objetivo 1**

#### **Calculo de dimeciones modelo seleccionado tanque rectangular modelo de referencia**

#### **Figura 3**

*tanque de agua ubicado en la vereda*



Nota: En la vereda El Guaranga se usa un tanque de almacenamiento de 750 litros de agua para lavado de café se usara de referencia el volumen indicado para la construccion del tanque de agua.

En el diseño y dimensionamiento de tanques, especialmente en aplicaciones donde el volumen y la relación entre las dimensiones son críticos, se requiere un enfoque matemático preciso. En este proyecto, se abordará el diseño de un tanque que se conectará a un canal hidrodinámico, aprovechando un flujo constante de agua para generar energía hidroeléctrica de baja potencia de manera sostenible y eficiente. Dado que la altura (H) del tanque debe ser mayor que la base (B), se hace necesario aplicar un enfoque matemático riguroso para encontrar las

dimensiones óptimas del tanque que maximicen la capacidad de almacenamiento y la eficiencia del sistema.

En este contexto, se presenta un desglose ordenado de las fórmulas y pasos que se seguirán en este proceso, resaltando la importancia de cada etapa en la obtención de un diseño efectivo y coherente que permita la conexión exitosa de un canal hidrodinámico al tanque de agua.

**Tabla 1**

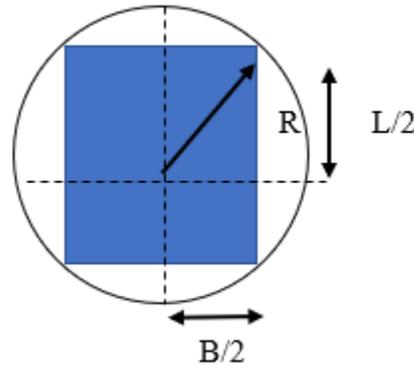
*Base de datos los de calculos*

<b>Etapa</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ecuación</b>
Restricción	La altura (H) debe ser mayor que la base (B).	$H = 3 * B * H = H = B * H = 2.5 * B$
Fórmula de Volumen	Calcular el volumen (V) en términos de B, L y H.	$V = B * L * H$
Expresión de L	Expresar L en función de B y H según la restricción.	$L = \frac{H}{2.5}$ (a partir de $H = 2.5B$ )
Fórmula de Volumen con L	Sustituir la expresión de L en la fórmula de volumen.	$V = B^2 * H$
Derivación de Volumen	Derivar V con respecto a B utilizando la regla del producto.	$V'(B) = 2BH + B^2 * \frac{dH}{dB}$
Sustitución de H	Sustituir la relación $H = 2.5B$ en la derivada.	$V'(B) = 5B^2 + 2.5B^2 = 7.5B^2$
Puntos Críticos	Igualar $V'(B)$ a cero para encontrar puntos críticos.	$7.5B^2 = 0$
Análisis de Segunda Derivada	Evaluar la segunda derivada de V para determinar la naturaleza de los puntos críticos.	$V''(B) = 15B$

Etapa	Descripción	Ecuación
Evaluación de Segunda Derivada	Evaluar $V''(B)$ en el punto crítico $B = 0$ .	$V''(0) = 15 * 0 = 0$
Análisis de Segunda Derivada	Evaluar la segunda derivada de $V$ para determinar la naturaleza de los puntos críticos.	$V''(B) = 15B$

**Figura 4**

*Relacionamos el modelo del tanque mediante una circunferencia*



El diseño de tanques para aplicaciones específicas se convierte en una tarea crucial en ingeniería, donde las dimensiones adecuadas marcarán la diferencia en la eficiencia y funcionalidad del sistema. En este proyecto, se abordará el diseño de un tanque que desempeñará un papel fundamental en un sistema hidroeléctrico, donde el almacenamiento de agua resulta esencial para la generación de energía.

Para alcanzar dimensiones óptimas que maximicen la capacidad de almacenamiento, se empleará un enfoque matemático preciso. Se partirá de una ecuación base que relacionará las dimensiones del tanque, y se aplicarán derivadas para encontrar los valores óptimos. Este proceso implica la resolución de ecuaciones, derivación e interpretación matemática para determinar la altura (H), la base (B) y la longitud (L) del tanque.

**Tabla 2**

Procedimiento de los cálculos

Paso	Descripción	Ecuación
1	Ecuación base	$R^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2 + \left(\frac{B}{2}\right)^2$
2	Despejamos B	$B = 2\sqrt{(R^2 - L^2/4)}$
3	Fórmula de volumen	$vol = 2.5 * L * B^2$
4	Reemplazo de B en la fórmula de volumen	$vol = 2.5 * l * \left[\sqrt{\left(R^2 - \frac{L^2}{4}\right)}\right]^2$
5	Simplificación de la fórmula de volumen	$vol = 10 * L * \left(R^2 - \frac{L^2}{4}\right)$
6	Derivación con respecto a L	$\partial vol / \partial L = 10 * R^2 - 10 * \frac{3 * L^2}{4} = 0$
7	Igualación de la derivada a cero	$10 * R^2 - 10 * \frac{3 * L^2}{4} = 0$
8	Despeje de R^2 en términos de L	$R^2 = \frac{(13 * L^2)}{(2 * 10)} > R^2 = \frac{(13 * L^2)}{20}$
9	Sustitución en la ecuación base	$R^2 = \left(\frac{L}{2}\right)^2 + \left(\frac{B}{2}\right)^2$
10	Simplificación de la ecuación base para B^2	$B^2 = 13 * L^2 - L^2$
11	Cálculo de B a partir de la ecuación para B^2	$B = \sqrt{12L}$
12	Sustitución de relaciones en la ecuación de volumen	$vol = 2.5 * L * B^2$
13	Reemplazo de la ecuación de la derivada	$vol = 2.5 * L * [(\sqrt{12L})^2]$
14	Simplificación final de la fórmula de volumen	$vol = 30L^3$
15	Cálculo de L	$L = \sqrt[3]{\left(\frac{VOL}{30}\right)} = \sqrt[3]{\left(\frac{1}{30}\right)} = 0.322 \text{ metros}$
16	Cálculo de B	$B = \sqrt{(12 * L)} = \sqrt{(12 * 0.322)} = 1.965 \text{ metros}$

Redimensionamiento

$L Y B = L-B = 0.322-1.965 = 1.643$ , La diferencia entre base y largo: se decide usar una base cuadrada con las medidas halladas por lo tanto proporciono restando base y largo y da un valor de 1.643 al redimensionarlo me da una  $BXL = 0.8215$  y una altura de 3 metros, por lo tanto, comprobando el valor del volumen =  $0.8215*0.8215*2.947 = 1.980 m^3$  pasado a litros da una cantidad de 1.980 litros esto nos ayudara para temporadas de lluvia.

### **Primer modelo de dimensionamiento de la turbina**

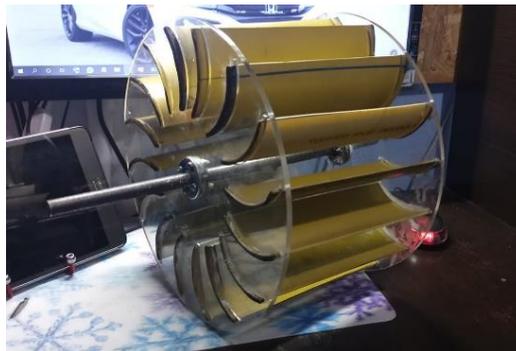
Mediante la búsqueda de cálculos se opta por un modelo matemático de análisis de dimensionamiento el cual consta de la velocidad del caudal en este caso se inicia con un caudal de 20 L, el cual se llena en un tiempo de 1.06 segundos y el caudal queda expresado como metros por segundo (M/S), al tener una base inicial en este caso el motor de  $\frac{1}{2}$  hp y 1700 RPM se procede al diseño de la turbina a continuación, se muestran los paso a paso de las dimensiones.

### **Anexo 06. Cálculos y diseño 3D del primer modelo de Análisis**

**Nuevo análisis y construcción del desarrollo de la turbina a implementar llamada científicamente como turbina Michell Banki.**

### **Figura 5**

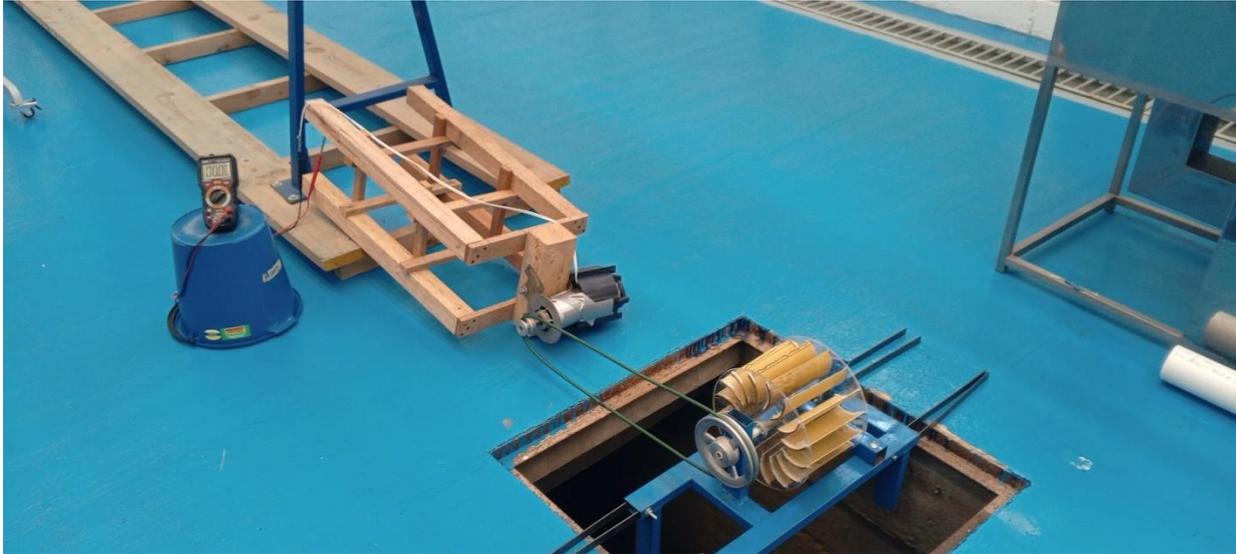
*turbina prototipo dos usada en el laboratorio de Alvernia*



Nota. Con este prototipo se ara la evaluación de funcionamiento.

### **Figura 6**

*puesto en funcionamiento de la turbina*



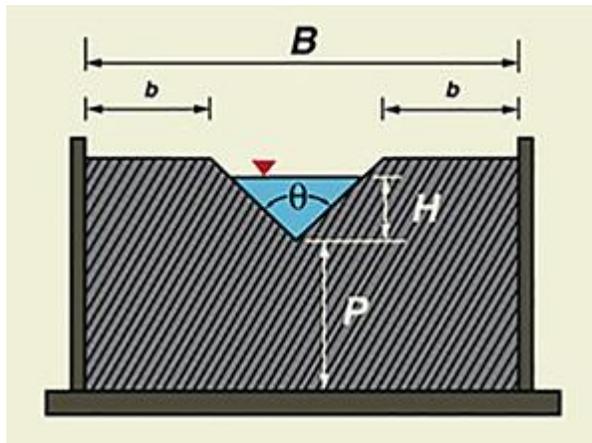
Nota: se indica el funcionamiento de la turbina indicando con el multímetro el voltaje generado fotografía de antes de encender el canal

### Anexo 07. Diseño 3D del prototipo de la turbina

#### Calculo de vertedero modificar estructura numerica

**figura 7**

*dimensiones del vertedero*



Nota: imagen de medidas del vertedero

Fuente: <https://ponce.sdsu.edu/onlineatriangular1.php>

Fórmula:

$$Q = 4.28 C_e \tan(\theta/2) (H + k)^{5/2}$$

Carga H en el vertedero, en m [o pies]

Ancho B del canal, en m [o pies]

Ancho de lado b, en m [o pies]

Ángulo  $\theta$  en radianes

Ce y k son función únicamente de  $\theta$   
en grados

Descarga Q en L/s [o pies cúbicos por segundo]

Para un vertedero triangular totalmente contraído:  $H/B \leq 0.2$

Calculadora de un vertedero triangular parcialmente contraído

Consultar el Manual de USBR para la metodología general

Descarga Q: 1.016,0119 m<sup>3</sup>/s.

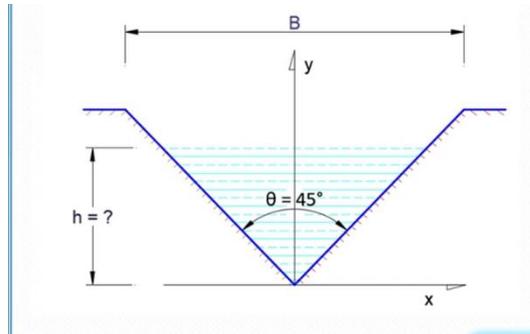
### **Condición del diseño de la abertura**

### **Determinando la altura de carga de H**

Teniendo un ángulo de 45° y un caudal de 0.11752 m<sup>3</sup>/s

## **Figura 8**

*Diagrama del vertedero*



Fuente: <https://n9.cl/a864v>

$$Q = \left(\frac{8}{15} * c * \sqrt{2g} * \left(\tan \frac{\phi}{2}\right)\right) * h^{\frac{5}{2}}$$

$$Q = m * \left(\sqrt{2g} * \left(\tan \frac{\phi}{2}\right)\right)^{\frac{5}{2}}$$

$$Q = K * h^{5/2}$$

$$h = \left(\frac{Q}{K}\right)^{2/5} = \frac{0.117252}{0.596} = 0.1967 \text{ m}$$

**figura 7**

tabla de dimensiones

COEFICIENTES EN VERTEDEROS TRIANGULARES

ANGULO (2α)	15°	30°	45°	60°	90°	120°
H >	0,25	0,205	0,185	0,17	0,14	0,12
m	0,343	0,33	0,325	0,32	0,313	0,322
c	0,643	0,619	0,609	0,6	0,587	0,604
K	0,2	0,392	0,596	0,818	1,386	2,471

Nota: seleccionando el valor de 45° miramos que la medida del vertedero Es óptima para su funcionamiento

**Captación del Agua**

El agua se captura desde una fuente natural, como un río o arroyo, y se canaliza hacia la turbina a través de una tubería o canal el área de la base del canal sigue siendo la misma:

A= Altura x Acho

$$A= 0.26 \text{ m} \times 0.20 \text{ m} = 0.052 \text{ m}^2$$

$$Q= 0.052 \text{ metros cuadrados} \times 2.26 \text{ m/s}$$

$$Q= 0.11752 \text{ m}^3 / \text{s}$$

### **Cálculo de sistema motriz**

#### **Datos para los cálculos**

- Distancia entre centros **65 cm**
- Polea pequeña es de **1 ½** de pulgada
- Polea grande es **6** pulgadas
- Velocidad en RPM de la turbina **180**
- Velocidad en RPM del generador **760**
- Voltaje generado **7.6** voltios DC

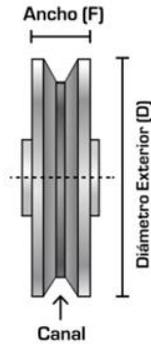
### **Figura 9**

*Instalación de la turbina*



### **Figura 10**

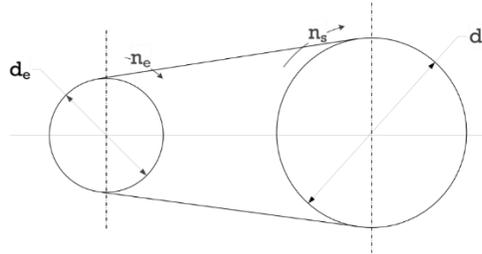
*Dimensiones de la polea*



Fuente: <https://acortar.link/SENblq>

**Figura 11**

*Diagrama de relación de polea*



Nota; indica los valores que se necesita para el cálculo de la velocidad de entrada y salida

Fuente: <https://acortar.link/8101PI>

$N_s = 180$  RPM

$d_s = 6$  pulgadas

$d_e = 1 \frac{1}{2}$  pulgada

$N_e =$  desconocido valor teorice

**Cálculo de la relación de transmisión (R):**

$$R = \frac{D_g}{d_p} 6 \text{ pulgadas} / 1.5 \text{ pulgadas} = 4$$

**Cálculo del diámetro primitivo (Dp):**

$$D_p = 2 * D_c = 2 * 25.59 \text{ pulgadas} = 51.18 \text{ pulgadas}$$

**Cálculo de la velocidad angular de la polea grande ( $\omega_g$ ):**

$$\omega_g = \frac{N_i \cdot \pi}{30} = \frac{180 \text{ rpm} \cdot \pi}{30} = 3.14 \text{ rad/s}$$

**Cálculo de la velocidad lineal de la correa (v):**

$$V = \frac{\omega_g \cdot D_p}{2} = \frac{3.14 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot 51.18 \text{ pulgadas}}{2} = 79.77 \text{ pulgadas/s}$$

- **Sistema Multiplicador**

FORMULA

$$I = \frac{n_e}{n_s} = \frac{d_s}{d_e} > 1, \text{ Relación motriz}$$

La relación motriz es de 4 veces más grande en la velocidad por lo que 180 RPM se lo multiplica por 4 veces dando un **RPM** de entrada al generador de 720 RPM valor teórico.

Para montar un sistema de polea sabiendo que la polea grande es de 152 mm y el diámetro pequeño es de 38 mm d una relación de 4 la turbina gira a una velocidad de 180 RPM y la rueda acoplada al eje conductor da una velocidad de 720 RPM dando un voltaje de 7.6 voltios dc.

### Figura 12

*Voltaje de generador*



Nota; si se quiere aumentar la revolución se ampliaría una polea de Mayor diámetro para aumentar la relación.

### **2.1.2. Resultado del Objetivo 2**

Se desarrollo el diseño mediante el corte de las palas usando un tubo de PVC de 4 pulgadas el cual nos da la distancia y el Angulo deseado para la recolección del agua, las medidas de la pala son de 20 cm de largo por 5.80 cm de radio.

Las tapas laterales de acrílico que se usaron fueron de un diámetro de 26 cm por un grosor de 5 mm con un ángulo de 15 ° y una distribución de 16 palas.

Se usa un eje de 12 mm de diámetro de acero por un largo de 40 cm, donde se soldaron dos arandelas para sujetar las ruedas de acrílico.

Se creo una estructura metálica mediante las dimensiones del tanque del canal hidrodinámico que es de 55 cm x 55 cm, a los lados lleva dos soportes mediante un conjunto de rodamientos soldados y unos bujes que soportan mediante tornillos la estructura del encapsulado.

Mediante un encapsulado plástico que tiene una entrada para el agua y una salida dentro lleva la turbina esto para garantizar un mejor arrastre del agua y una mejor presentación.

Se pinto y se dieron acabadores técnicos a toda la estructura.

#### **Evidencia fotográfica del procedimiento**

##### **Selección de los materiales**

- **Corte de las palas.**

#### **Anexo 08. Corte y Armado de la estructura**

### **2.1.3. Resultado del Objetivo 3**

#### **2.1.3.1. Validación de funcionamiento de la turbina y la instalación**

##### **Instalación de la turbina**

**Figura 13**

*Adecuación del canal hidrodinámico*



Nota; Se adecua el lugar y los vertederos a usar y se instala la turbina en el tanque para hacer las primeras pruebas de funcionamiento

**Figura 14**

*Construcción de Base para el generador*



Nota: Estructura para soporte de generador para adaptarlo a distintas posiciones de la turbina

**Figura 15**

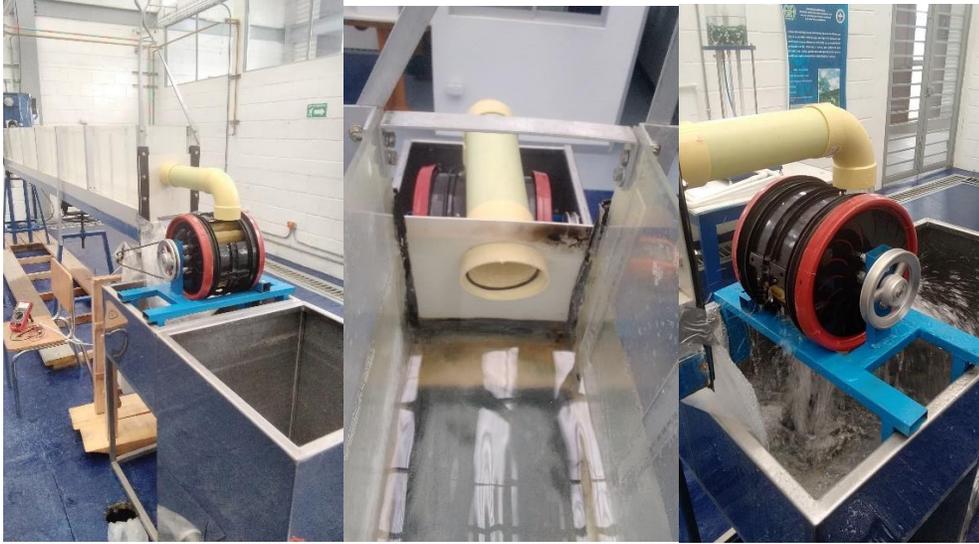
*Segundo modelo de vertedero tipo U*



Nota; Este primer funcionamiento se analizó que su velocidad era casi nula con la relación de poleas pequeñas

**Figura 16**

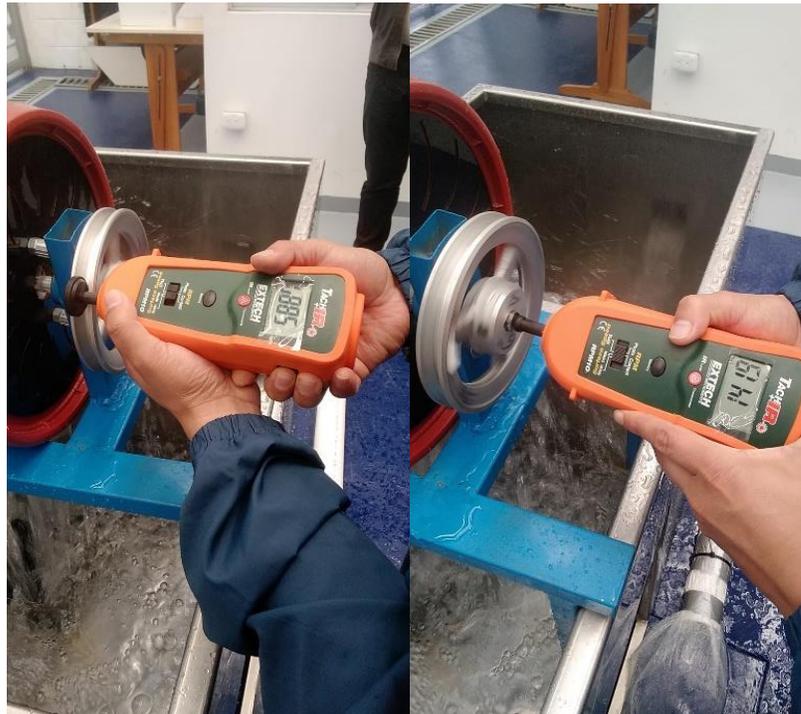
*Tercer modelo y Pruebas de funcionamiento de vertedero*



Nota; se instaló el vertedero con entrada de tubo de 3 pulgadas a una altura de 20 cm

**Figura 17**

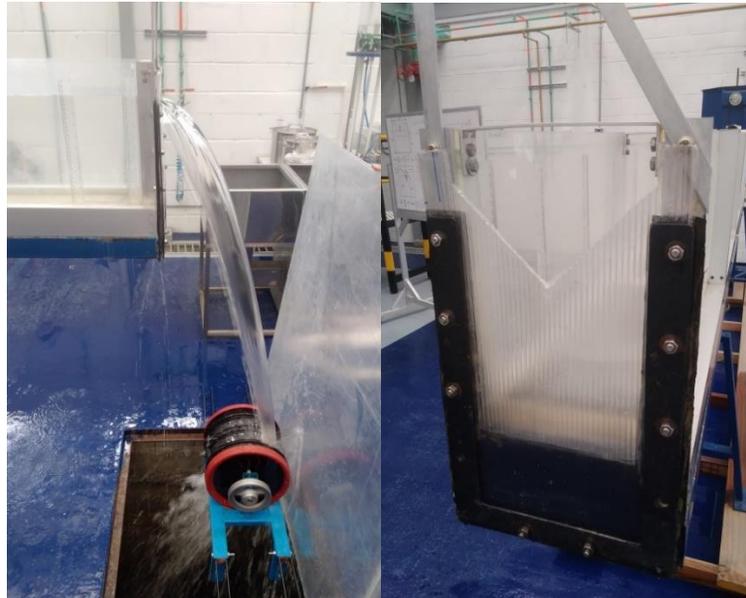
*Valores de RPM*



Nota; Usando el medidor de RPM se evidencia una rotación de 588 RPM el cual indica que se debe tomar nuevas medidas de adecuación del canal hidrodinámico para alcanzar mayor velocidad.

**Figura 18**

*Cuarto modelo de vertedero tipo v con altura de 1,70 metros*



**Figura 19**

*Conexión del generador a la turbina*



**Pruebas de funcionamiento**

se diseñó un sistema motriz para generar energía a partir de la turbina asociada al vertedero. Con una relación motriz de 4 veces más grande en la velocidad, se logró una velocidad de entrada al generador de 720 RPM, lo que resultó en un voltaje generado de 7.6 voltios DC.

**Figura 20**

*Medición de RPM de la turbina*



Nota; con una velocidad de 179 RPM se buscó una relación que diera el máximo provecho de generar el tope que era 12 V No se siguió aumentando la relación por sobre peso de la polea.

**Figura 21**

*Medición de RPM del generador*



**Figura 22**

*Medición del voltaje del generador*



Nota: se logró obtener un voltaje de 7.62 voltios máximo llegando al tope del diseño de las poleas ya que al aumentar peso se vuelve inestable al ser un prototipo, pero en el diseño real llegaría al 90% del rendimiento.

**Tabla 3**

*Variación de caudal*

<b>Variación gradual del canal</b>		
Caudal	Vertedero total	<ul style="list-style-type: none"> <li>• área de la sección transversal <b>0.054 m<sup>2</sup></b></li> <li>• el caudal es de <b>0.11752 m<sup>3</sup> /s</b></li> </ul>
	Cálculo del vertedero tipo v	En la salida del vertedero genera una caída de agua de <b>1.016,0119 m<sup>3</sup>/s.</b>
Rpm	vertedero tipo v de la turbina	Genera una velocidad de 179 RPM
	vertedero tipo v del generador	Genera una velocidad de 751 RPM
	Vertedero de Tubería de 6 pulgadas	Genera una velocidad turbina <b>588.7 RPM</b> hay que recordar que esta medida se hizo con la bomba en mantenimiento y con un mayor caudal de almacenamiento en el tanque.

## **2.2. Discusión**

Por motivos del caudal de agua y las instalaciones iniciales se queda corto de presión para alcanzar la velocidad adecuada usando cambios de poleas y aplicación relación se va usando diferentes medidas para mirar su comportamiento mirando la más grande que es de 6 pulgadas, llegando a una velocidad de 500 RPM aproximadamente con esto se decide continuar con la investigación quitando el tanque y haciendo altura a la caída del agua en donde se quedó actualmente la investigación.

Al cambiar de base al modelo de altura se obtuvo un funcionamiento del 60% de la capacidad de generar voltaje con un valor de 7.60 voltios a una velocidad de RPM de 751, para mejorar la relación de velocidad se requiere hacer un diseño que soporte más el peso de las poleas para que así compense la gravedad del diseño.

### **3. Conclusiones**

Se evidencia, a través de un minucioso análisis, que la microturbina de Michell-Banki, en su travesía hacia convertirse en una fuente vanguardista de generación de energía, demanda una cuidadosa consideración de variables críticas. Es particularmente revelador que, para lograr un funcionamiento óptimo, se requiere un caudal de agua significativamente mayor y una altura considerablemente superior. Este hallazgo adquiere una dimensión aún más específica al considerar las dimensiones particulares del canal hidrodinámico empleado en la investigación, el cual presentaba medidas de 4 metros de largo por 27 cm de alto y 20 cm de ancho, con una altura de caída libre de 1,70 metros.

En respuesta a este conocimiento específico, se propone una medida audaz pero esencial: el aumento del 20% en las medidas del canal y la altura del vertedero del modelo real. Este ajuste no solo responde a la necesidad general de mayor caudal y altura, sino que también se adapta directamente a las características únicas del canal utilizado. La intervención estratégica, basada en datos concretos del canal hidrodinámico y la altura de caída, resalta la importancia de la adaptabilidad y la personalización en la ingeniería de estos sistemas.

Asimismo, cabe destacar que, durante este proceso, se optó por utilizar un vertedero tipo V. Esta elección no solo se basa en la necesidad de adaptarse a las especificaciones del canal, sino que también se fundamenta en la eficiencia demostrada por este tipo de vertedero en la regulación del flujo de agua. La geometría del vertedero tipo V ha mostrado ser más eficaz en comparación con otras formas, optimizando la descarga y contribuyendo así a una mayor eficiencia en la generación de energía hidroeléctrica.

Este análisis detallado no solo impulsa la optimización del diseño físico, sino que también proyecta una sombra luminosa sobre el futuro de la investigación. La continua exploración y adecuación del laboratorio para albergar estas modificaciones sugiere una visión de sostenibilidad y adaptabilidad en la investigación. Además, la idea de incorporar distintos vertederos emerge como un componente educativo y colaborativo, expandiendo

las fronteras del conocimiento y fomentando la participación activa de estudiantes en el ámbito de la ingeniería y las energías renovables.

En conclusión, se evidencia la necesidad de ajustes significativos, dados los datos específicos del canal y la altura de caída libre, para alcanzar el potencial pleno de la microturbina de Michell-Banki. La elección del vertedero tipo V subraya la importancia de seleccionar componentes eficientes para mejorar el rendimiento del sistema. Este proyecto no solo busca superar desafíos técnicos, sino que también aspira a ser un faro de inspiración, demostrando que el progreso científico y tecnológico es intrínseco a la exploración constante y a la disposición de adaptarse para crear un futuro más sostenible.

### **medida de las poleas**

Al utilizar una polea de 6 pulgadas y otra de 1 pulgada y media. La relación de transmisión entre las poleas se calculó utilizando la siguiente fórmula:

**Relación de transmisión = Diámetro de la polea grande / Diámetro de la polea pequeña**

En este caso, la relación de transmisión es:

**Relación de transmisión = 6 pulgadas / 1.5 pulgadas = 4**

Esto significa que la polea grande gira cuatro veces más rápido que la polea pequeña.

La elección de las medidas de las poleas depende de varios factores, como la velocidad deseada del eje de salida, la potencia necesaria y el par disponible del motor. En mi caso, la polea de 6 pulgadas se usó para aumentar la velocidad del eje de salida, mientras que la polea de 1 pulgada y media se usó para reducir el par requerido del motor.

Es importante tener en cuenta que la relación de transmisión también afecta la eficiencia de la transmisión por poleas. Una mayor relación de transmisión generalmente significa una menor eficiencia, ya que se pierde más energía en forma de calor.

En general, la elección de las medidas de las poleas para un proyecto de grado debe hacerse cuidadosamente, considerando todos los factores relevantes.

**Aquí hay algunos puntos adicionales a considerar**

- El tamaño de las poleas también está limitado por el espacio disponible.
- El material de las poleas debe ser lo suficientemente resistente para soportar la carga.
- Las poleas deben estar correctamente alineadas para evitar el desgaste y la rotura.
- La tensión se debe tener pendiente entre la correa y la polea ya que si no genera un buen arrastre no multiplicara la velocidad y generara perdidas.

## **4. Recomendaciones**

### **1. Optimización del Diseño:**

**Análisis de Eficiencia:** Se recomienda realizar estudios detallados sobre la eficiencia de la microturbina Michell-Banki bajo diferentes condiciones de caudal y presión. Esto permitirá identificar las configuraciones más eficientes y realizar ajustes en el diseño para maximizar la generación de energía.

**Materiales:** Se sugiere investigar y seleccionar materiales de construcción que mejoren la durabilidad y eficiencia de la microturbina, considerando factores como la resistencia a la corrosión y el desgaste.

### **2. Implementación y Pruebas en Campo:**

**Sitios de Prueba:** Se aconseja instalar prototipos en diversos entornos reales con diferentes características de caudal para evaluar el rendimiento de la microturbina en condiciones prácticas.

**Monitoreo Continuo:** Se recomienda implementar sistemas de monitoreo continuo para recolectar datos sobre el rendimiento y las posibles fallas, permitiendo realizar ajustes y mejoras en tiempo real.

### **3. Mantenimiento y Operación:**

**Manual de Mantenimiento:** Se sugiere desarrollar un manual detallado de mantenimiento que incluya procedimientos regulares y recomendaciones para la limpieza y revisión de componentes críticos.

**Capacitación:** Se aconseja capacitar al personal encargado de la operación y mantenimiento de la microturbina para asegurar un manejo adecuado y eficiente.

### **4. Impacto Ambiental:**

**Estudios de Impacto:** Se recomienda realizar estudios de impacto ambiental para evaluar cualquier efecto negativo potencial de la instalación de la microturbina en los ecosistemas locales.

**Medidas Mitigatorias:** Se sugiere implementar medidas para mitigar cualquier impacto ambiental identificado, asegurando la sostenibilidad del proyecto.

#### 5. **Aplicaciones y Expansión:**

**Diversificación de Uso:** Se aconseja explorar la posibilidad de utilizar la microturbina en diferentes aplicaciones más allá de la generación de energía, como en sistemas de riego o abastecimiento de agua en comunidades rurales.

6. **Expansión Geográfica:** Se recomienda identificar regiones con potencial para la implementación de la microturbina y desarrollar estrategias para su expansión y comercialización.

#### 7. **Aspectos Económicos:**

**Análisis de Costo-Beneficio:** Se sugiere realizar un análisis detallado de costo-beneficio para evaluar la viabilidad económica del proyecto y atraer posibles inversores.

**Subvenciones y Financiamiento:** Se recomienda explorar opciones de financiamiento y subvenciones gubernamentales para proyectos de energías renovables, facilitando la implementación y expansión del proyecto.

## **Referencias bibliográficas**

- Blanco Pericles,(2005). metodología para la realización de pequeños proyectos de aprovechamiento hidroeléctrico en comunidades rurales  
[https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2075/1/metodolog%c3%ada\\_para\\_la\\_realizaci%c3%b3n\\_de\\_peque%c3%b1os\\_proyectos\\_de\\_aprovechamiento\\_hodroel%c3%a9ctrico\\_en\\_comunidades\\_rurales.pdf](https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2075/1/metodolog%c3%ada_para_la_realizaci%c3%b3n_de_peque%c3%b1os_proyectos_de_aprovechamiento_hodroel%c3%a9ctrico_en_comunidades_rurales.pdf)
- Catarata Distrito, Provincia - Jaén, Departamento - Cajamarca -2016  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/8870>
- Correa-Jurado.(2020). Actualización de una guía de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas en Colombia en las áreas de hidrología, hidráulica, estructuras hidráulicas y equipos electromecánicos.
- Criollo. (2011). Diseño de una mini central de energía hidroeléctrica en la planta de tratamientos de aguas residuales de la ciudad de Cuenca.
- Colina Indira,(2017). Diseño, construcción y caracterización de cinco prototipos de microturbinas de río, utilizando sistema CAD e impresión en tercera dimensión  
<https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/91ae4a2a-981d-4e51-9e30-f52811555fcb/content>
- Chica Yilmar,(2017).Generación de Energía Eléctrica a través de la Tecnología de Microturbina en la finca La Pomba, zona rural de Fusagasugá- Cundinamarca.  
<https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/13109>
- Diego Alejo,(2013).diseño y construcción de una pico central hidroeléctrica en la hostería “los llanganates” ubicada en el sector las carmelitas en el kilómetro 65 de la carretera salcedo - tena para generar energía eléctrica limpia.  
<https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1675/1/T-UTC-1549.pdf>
- Espitia Silvia,(2013).diseño de una pequeña central hidroeléctrica a escala laboratorio utilizando aguas lluvias del bloque a de la universidad libre, sede bosque popular  
<https://repository.unilivre.edu.co/bitstream/handle/10901/11325/DISE%20C3%91O%20DE%20UN%20PEQUE%20CENTRAL%20HIDROEL%20CTRICA%20A%20ESCALA%20UTILIZANDO%20AGUAS%20LLUVIAS%20DEL%20BLOQUE%20A%20DE%20LA.pdf?sequence=1>
- FHsolar&ledIberica, (2020). Los mejores generadores hidroeléctricos
- LLajaruna Ramirez,(2022).Diseño de la central hidroeléctrica para el centro poblado La Grama, distrito Eduardo Villanueva, Provincia San Marcos, Departamento Cajamarca  
[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/113894/Ramirez\\_LEA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/113894/Ramirez_LEA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Maldonado Francisco,(2005).Diseño de una turbina de río para la generación de electricidad en el distrito de Mazán-Región Loreto

[https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/basic/maldonado\\_qf/maldonado\\_qf.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/basic/maldonado_qf/maldonado_qf.pdf)

Sanches, A. (2017). Estado del arte de las investigaciones sobre las centrales hidroeléctricas en Colombia y su impacto ambiental.

Infocol.Ltda, Central Urrá capítulo 1 Hidroeléctricas  
[https://www1.upme.gov.co/Energia\\_electrica/Atlas/Atlas\\_p25-36.pdf](https://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p25-36.pdf)

García L. (2019). Evolución futura de costos de las energías renovables y almacenamiento en América Latina.

Gonzalez Paula,(2021). análisis de una microturbina en una red de abastecimiento de agua para la generación de energía eléctrica en el sector del parque timiza

Gutiérrez,Llamo.(2016)Diseño De Una Mini Central Hidroeléctrica, Para Suministrar Energía Al Recreo Turístico La <https://hdl.handle.net/10983/24837>

Factorenergia,(2021).La energía hidráulica <http://surl.li/hclff>

EPA (2022). Disponible en: <https://goo.su/qm42ptl>

Sierra Fabio ,(2011).Centrales Hidroeléctricas, Bogotá Colombia, 1997.  
[https://revistas.sena.edu.co/index.php/inf\\_tec/article/view/22/27](https://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/22/27)

Vásquez José,(2007).micro-hidroeléctrica tipo michell banki,funcionamiento, mantenimiento y componentes  
[http://www.biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0550\\_m.pdf](http://www.biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0550_m.pdf)

Zegarra Ricky (2020). metodología para la selección del generador en una mini central hidroeléctrica

Uribe Plata (2012). Diseño y desarrollo de un pico-generador hidroeléctrico para producción preindustrial

---

Gutiérrez Llamo (2016). Diseño De Una Mini Central Hidroeléctrica, Para Suministrar Energía Al Recreo Turístico La Catarata – Distrito, Provincia - Jaén, Departamento - Cajamarca

Criollo Xavier (2011).Diseño de una mini central de energía hidroeléctrica en la planta de tratamientos de aguas residuales de la ciudad de cuenca

Sánchez Alberto (2017). Estado del arte de las investigaciones sobre las centrales hidroeléctricas en Colombia y su impacto ambiental.

Correa Derly, (2020). actualización de una guía de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas en Colombia en las áreas de hidrología, hidráulica, estructuras hidráulicas y equipos electromecánicos.

Zegarra Macedo(2020). Metodología para la selección del generador en una mini central hidroeléctrica

Categorías de blog energía hidráulica

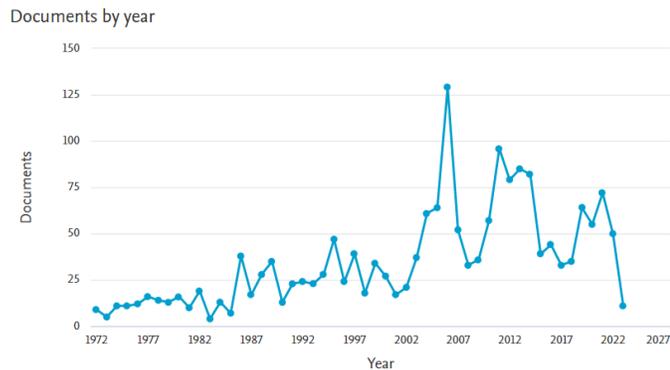
Micro-centrales Vernis (2011). <https://www.interempresas.net/Energia/Articulos/57268-Micro-Central-Vernis-energia-hidraulica-producida-en-casa.html>

## Anexos

### Anexo 01. Las tendencias de investigación bajaron con respecto al año 2005

#### Figura 23

Las tendencias de investigación bajaron con respecto al año 2005 donde tuvo una moda de sistemas hidroeléctricas y sistemas matemáticos.



Nota: Al tener varias ramas de investigación se denomina una gráfica de tendencias inestables, pero es muy bueno ya que todas las investigaciones son importantes al momento de hacer el desarrollo al filtrar una sola rama es decir la de nuestra de solo diseño muestra una gráfica estable. Mostrada a continuación.

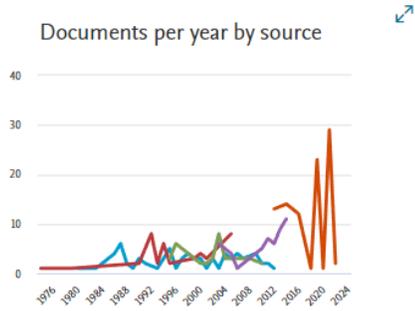
Fuente: Scopus (2022)

**Anexo 02. modelos gráficos de la selección de datos Scopus**

**Gráficas de diseños y desarrollo**

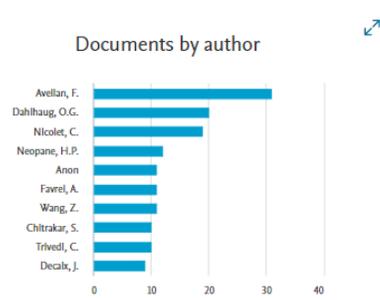
**Figura 24**

*Documentación por años*



**Figura 25**

*Documentación por autores*

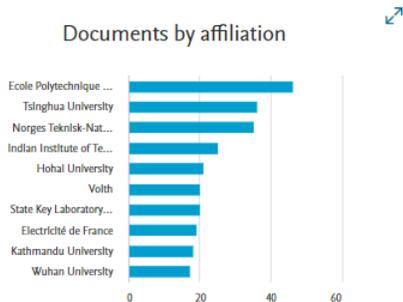


Se evidencian caídas en la investigación de nuevos proyectos

Fuente: Scopus (2022)

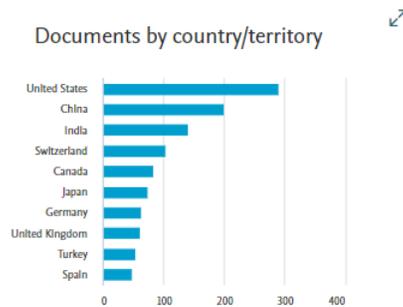
**Figura 26**

*Documentación de afiliaciones*



**Figura 27**

*Los países y territorios de mayor investigación*



Fuente: Scopus (2022)

**Figura 28**

*Patrocinadores*

**Figura 29**

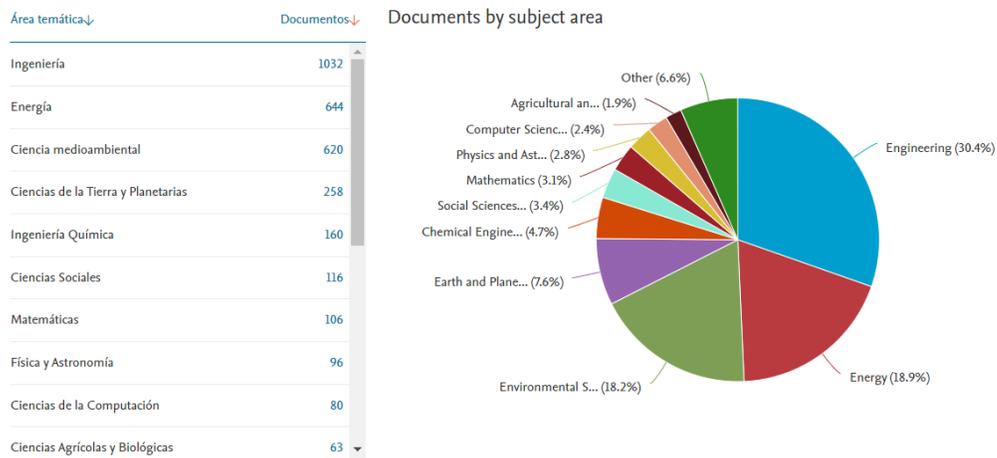
*Documentacion por tipos de temas*



Fuente: Scopus (2022)

Figura 30

Documentación por áreas temáticas



Fuente: Scopus (2022)

Vigencia De los artículos actual de la historia

Figura 31

documentos por año

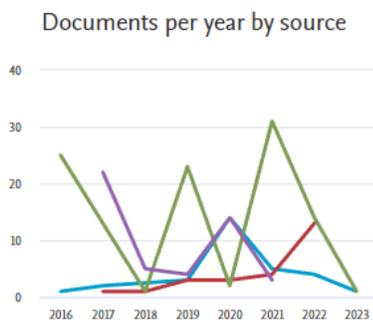
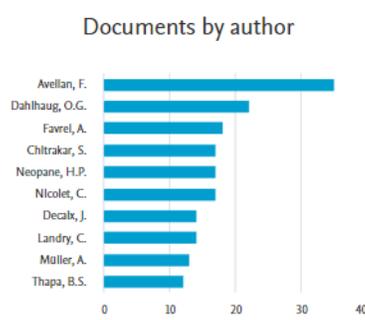


Figura 32

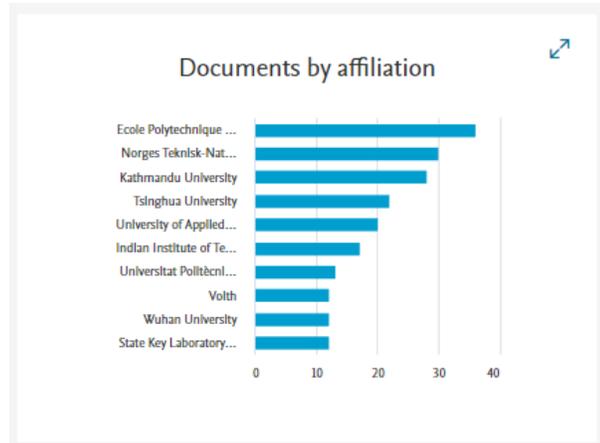
documentos por autor



Fuente: Scopus (2022)

**Figura 33**

*Documentos por afiliación*



Fuente: Scopus (2022)

**Figura 34**

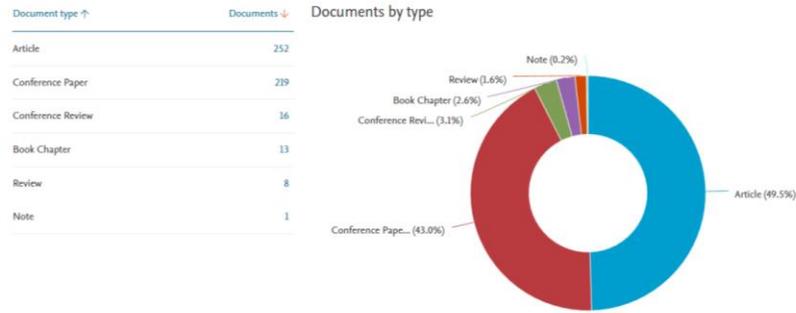
*Documentos por país*



Fuente: Scopus (2022)

**Figura 35**

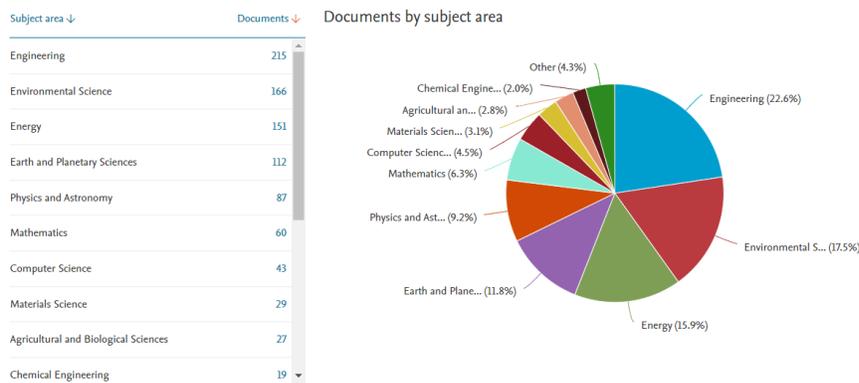
*Documentos por tipos clasificación*



Fuente: Scopus (2022)

**Figura 36**

*Documentos por áreas temáticas*



Fuente: Scopus (2022)

**Anexo 03. Criterio de búsqueda de Scopus top 5 de la historia**

**Tabla 4**

*Criterios de la búsqueda de los más citados de la historia*

Criterio de la búsqueda mediante las palabras	TITLE-ABS-KEY ( ( "power generation" OR "pico hydro" OR "power plants" OR "hydroelectric plants" ) AND ( "pelton turbine" OR "Kaplan turbine" OR "francis" ) )
Fechas de documentos	1979 al 2022

Total, de documentos encontrados	3,703
Filtrado	Por mayor citados y acorde al proyecto

### Aplicando filtrado

Se usaron las áreas temáticas de: Ingeniería y energía con un total de 792 documentos y las palabras claves dentro del filtrado para guiarse fueron; centrales hidroeléctricas, energía hidroeléctrica, Generación de energía Eléctrica y Turbinas Francis los cuales tenían mayor citación.

**Tabla 5**

*Los artículos seleccionados fueron:*

Artículo	Autores	Año	Citados
study of cavitation in hydro turbines-a review	Pardeep kumar r. p. saini	2010	223
Impulse (Turgo and Pelton) turbine performance characteristics and their impact on pico-hydro installations	Bryan r. cobb, kendra v. sharp	2013	74
Basic Modeling and Simulation Tool for Analysis of Hydraulic Transients in Hydroelectric Power Plants	Hongqing fang, long chen, nkosinathi Dlakavu, and zuyi shen	2008	151
Cost determination of the electro-mechanical equipment of a small hydro-power plant	B. ogayar*, p.g. vidal	2009	92
Variable-speed operation of Francis turbines: A review of the perspectives and challenges	Igor iliev*, chirag trivedi, ole gunnar dahlhaug	2019	49

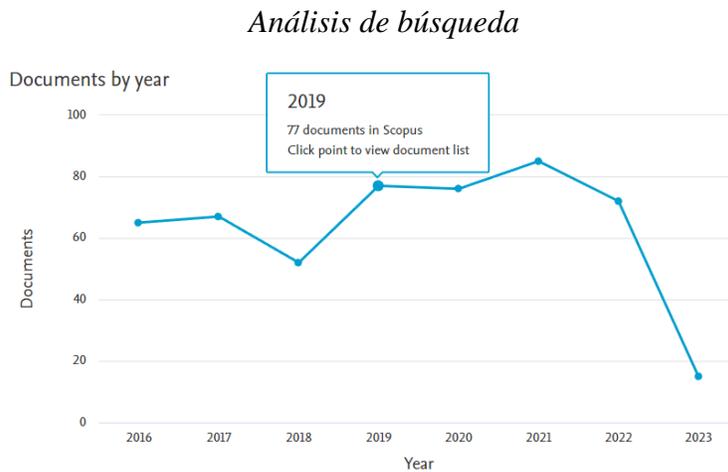
**Anexo 04. Criterio de búsqueda de Scopus top 5 actual de la historia**

**Tabla 6**

*Criterios de la búsqueda de los más citados de la historia*

Criterio de la búsqueda mediante las palabras	TITLE-ABS-KEY ( ( "power generation" OR "pico hydro" OR "power plants" OR "hydroelectric plants" ) AND ( "pelton turbine" OR "Kaplan turbine" OR "francis" ) )
Fechas de documentos	2016 al 2023
Total, de documentos encontrados	509
Filtrado	Por mayor citados y acorde al proyecto

**Figura 36**



Nota: El análisis de búsqueda nos indica que se tiene una estabilidad de los años positiva en la carga de documentos por años constante con leves pérdidas de interés por los temas.

Fuente: Scopus (2022)

**Tabla 6**

*Áreas temáticas seleccionadas*

ÁREAS	DOCUMENTOS
Ingeniería	215
Ciencias medioambientales	166
Energía	151
matemáticas	60

Nota: De los cuales se seleccionará los que tengan mayor citación y de desarrollo mediante el filtrado se redujeron a 430 documentos.

**Tabla 7**

*Artículos seleccionados*

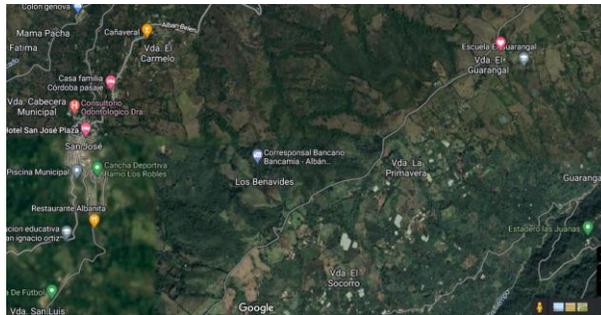
Artículo	Autores	Año	Citados
Hydraulic Transient Simulation of Pipeline-Open Channel Coupling Systems and Its Applications in Hydropower Stations	Wei Zeng 1,2, Chao Wang 3,* and Jiandong Yang 1	2022	0
A review of methods for vortex identification in hydroturbines	Yuning Zhang*, Kaihua Liu, Haizhen Xian, Xiaoze Du	2018	185
Physics Based Hydraulic Turbine Model for System Dynamic Studies	Dean R. Giosio, Alan D. Henderson, Jessica M. Walker and Paul A. Brandner	2017	29
Operational Evaluation of a Small Hydropower Plant in the Context of Sustainable Development	Natalia Walczak	2018	11
Mini-hydro power plant for the improvement of urban water-energy nexus toward sustainability - A case study	Elena Comino, Laura Dominici, Fabio Ambrogio, Maurizio Rosso	2020	10

Nota: Mediante la información aportada por (Wei Zeng) analiza las bases de datos de la simulación basada en pequeñas hidroeléctricas mediante el transporte de agua por tuberías calculando las inclinaciones y la durabilidad de los proyectos que se puedan desarrollar a partir de las simulaciones aportadas en la investigación, por lo tanto.

## Anexo 05. Descripción fotográfica geográfica de la ubicación de la anterior instalación del modelo de investigación

**Figura 37**

*Mapa de la vereda*

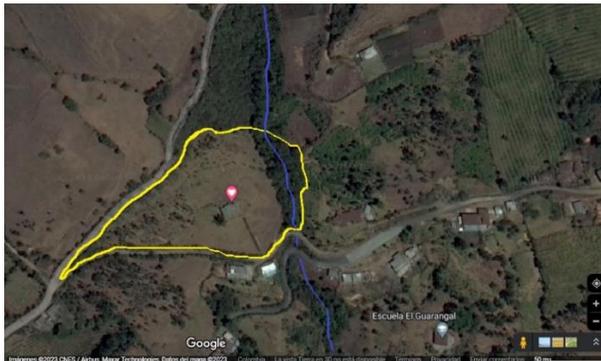


Nota: mapa, se ubica el pueblo de san José y al costado izquierdo la vereda el Guarangal

Fuente: Google maps

**Figura 38**

*Mapa del lote*



Se indica el lote y su caudal.

Fuente: Google maps

## Fotografías del lugar del caudal

**Figura 39**

Quebrada de toma de agua



Fuente: Autoría propia

**Figura 40**

*Zona del caudal*



Fuente: Autoría propia

**Figura 41**

*Casa de la instalacion*



Fuente: Autoría propia

**Figura 42**

*Lugar de la instalación de la turbina michell Banki*



Nota: Se indica desde el punto de la casa hasta la opción del caudal la cual es donde se mira el bosque.

Fuente: Autoría propia

**Figura 43**

*sendero*



Nota: Sendero desde la carretera hasta la casa.

Fuente: Autoría propia

**Anexo 06. Cálculos y diseño 3D del primer modelo de Análisis**

**Figura 44**

*Mapa hídrico de Nariño*



Nota: Nariño es uno de los lugares con mayor fuente hídrica entre ríos principales y nacimientos de agua.

Fuente: <https://www.todacolombia.com/>

**Tabla 8**

*Método volumétrico*

Método Volumétrico		Método Volumétrico
Variables	Fórmula o Relación	Variables
Caudal (Q)	$Q = \frac{V}{T}$ , para el caudal (1)	Caudal (Q)
Altura (Hd)	Hd = 4 metros	Altura (Hd)

**Datos del Diseño**

- Caudal (Q) = 0.01867 m<sup>3</sup>/s
- Altura (Hd) = 4 metros

### Potencia Teórica

- Potencia específica (P) =  $g * h * Q * e$ , para la potencia específica (2)

### Parámetros

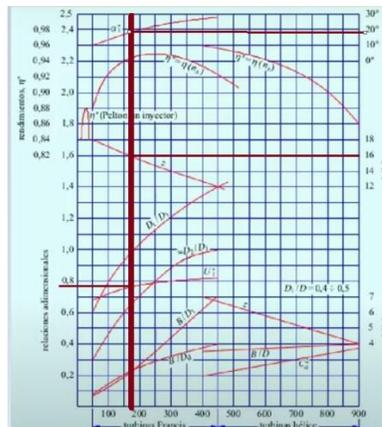
- Potencia específica (P) = Potencia específica en Mw
- Hd = Altura de caída en metros
- G = Aceleración de la gravedad en  $m/s^2$
- Q = Caudal del diseño en  $\frac{m^3}{s}$
- E = Eficiencia de la turbina (0.9)
- Pe = 0.665 Mw

### Resultados

- Tipo de turbina a diseñar = Axial Kaplan
- Velocidad específica (Ns) = 1725 RPM
- Potencia del diseño del generador = 0.372.80 kW
- Altura = 4 metros

**Figura 45**

*Datos de la diseño preestablecidos*

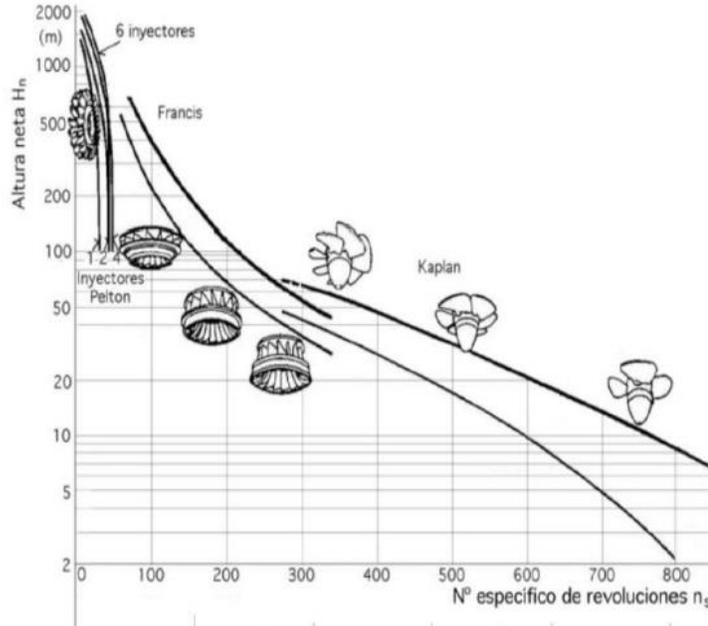


*Nota; seleccionamos los valores del diseño de la turbina*

Fuente: aprovechamiento energético de un curso de agua

**Figura 46**

Para seleccionar la turbina



Nota: aquí seleccionamos la turbina óptima para el caudal

Fuente: aprovechamiento energético de un curso de agua

**Tabla 9**

Fabricación y Ecuación de Regresión

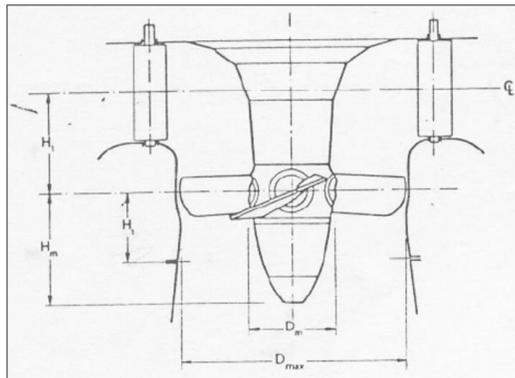
Ecuación de Regresión	
Período de Fabricación	Ecuación de Regresión
1970-1976	$N's = 2419 * hd^{(-0.489)}$
Velocidad Específica Corroborada	
Hd	2 metros
Pe	0.372.8 kW
N	1723 RPM
Cálculo de la Velocidad Específica Corroborada	
Ns	441 RPM (velocidad específica)

Parámetros para Cálculo de Dimensión Máxima (DMX)	
C	Velocidad periférica
$\phi$	1.45
Dimensión Máxima (DMX)	
DMX	39.2 cm (diámetro)

**Dimensionamiento de la turbina datos de entrada**

**Figura 47**

*Datos de la turbina*



Nota: Se identifica los valores de diseño

**Tabla 10**

*Relaciones de Dimensiones*

$\frac{DM}{dm}$	$0.25 + 94.64 / N'S$
$\frac{HM}{DM}$	$6.94 * (N'S)^{0.4003}$
$\frac{H1}{DM}$	$6.34 + 5.1710^{(-5)} * NS$
$\frac{Ht}{DM}$	$6.24 + 7.8210^{(-5)} * NS$

**Tabla 11**

*Resultados de Dimensiones*

DMX	39.2 cm
Dm	33.4 cm
HM	23.3 cm
H1	42.6 cm
Ht	24.5 cm

**Tabla 12**

*Relaciones de Dimensiones de la Carcasa*

(A1) / (DM)	$0.40 * (NS)^{0.20}$
(B1) / (DM)	$1.26 + 3.79 * (10)^{(-4)} + NS$
(C1) / (DM)	$1.46 + 3.24 * (10)^{(-4)} * NS$
(D1) / (DM)	$1.59 + 5.74 * (10)^{(-4)} * NS$
(E1) / (DM)	$1.21 + 2.71 * (10)^{(-4)} * NS$

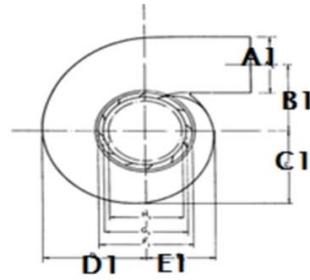
**Tabla 13**

*Resultados de Dimensiones de la Carcasa*

A1	0.529 m
B1	1.325 m
C1	1.516 m
D1	1.689 m
E1	1.256 m

**Figura 48**

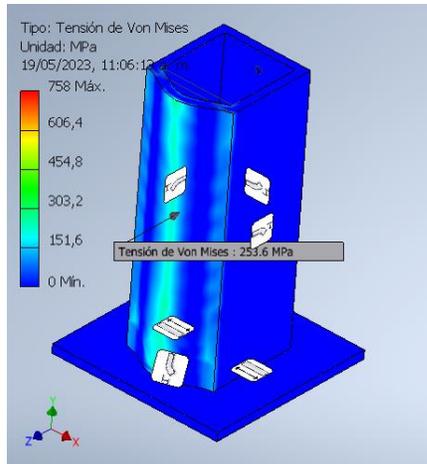
*carcas de la turbina*



### 2.1.2.3. diseño del tanque en 3D análisis de resistencia

**Figura 49**

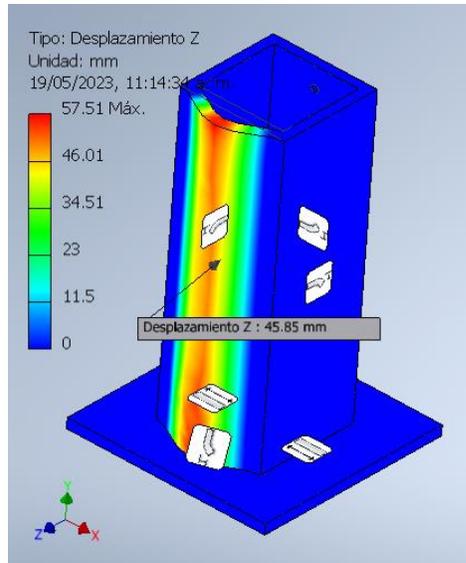
*Analisis de tension*



Nota: La tención máxima soportada con los dos mil litros de agua es de 303.2 Mpa en unidades de von mises.

**Figura 50**

*Analisis de despazamiento*



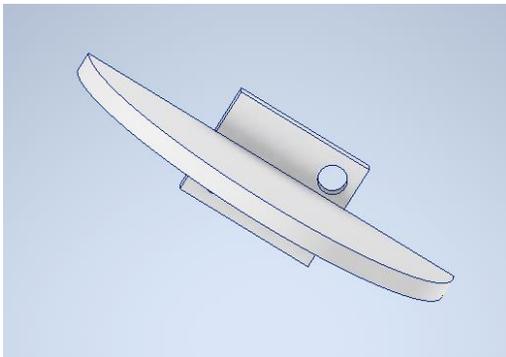
Nota: Al no ser el material y las condiciones óptimas de estudio podemos mirar un aproximado de si la estructura soportara la presión del agua.

### Diseño del primer modelo propio de turbina

### Análisis de la turbina software para resistencia máxima

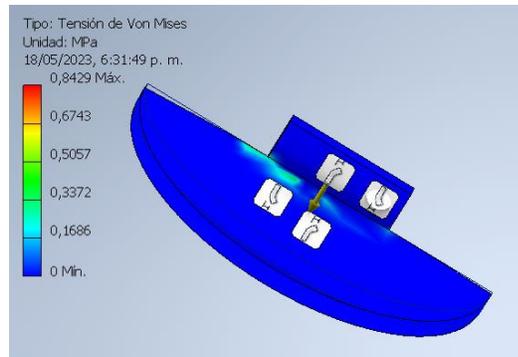
**Figura 51**

*Turbina*



**Figura 52**

*tensión de von mises*

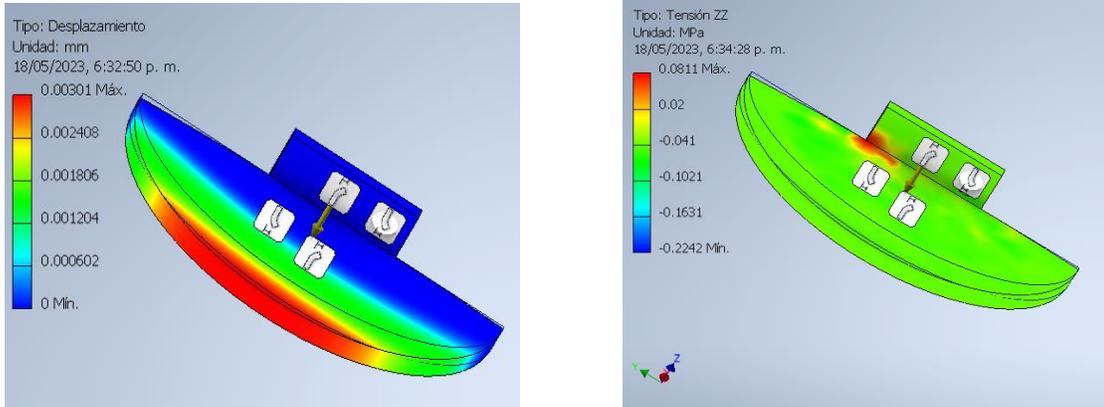


**Figura 53**

*Análisis desplazamiento*

**Figura 54**

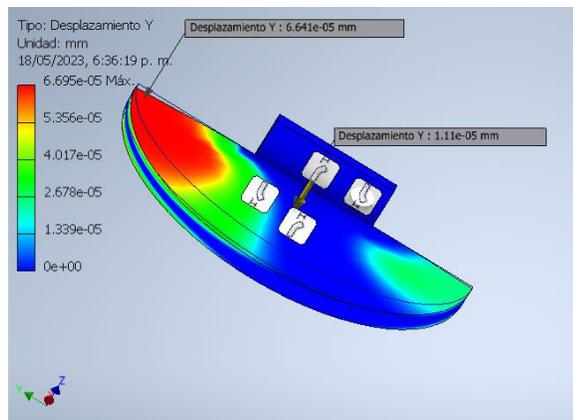
*tensión*



Nota: el desplazamiento en mm es de máximo 0.0024 mm Nota: La tensión en z es nula

**Figura 55**

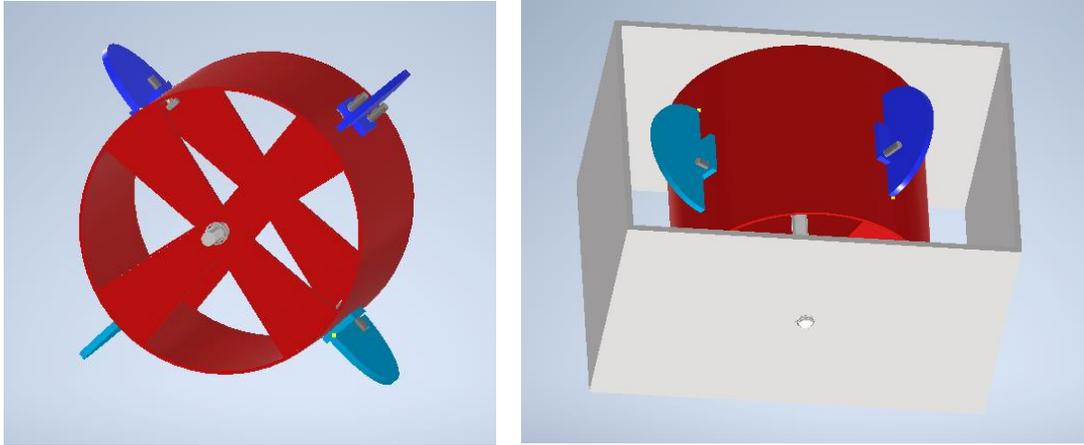
*Desplazamiento en z*



Nota: El desplazamiento es nulo

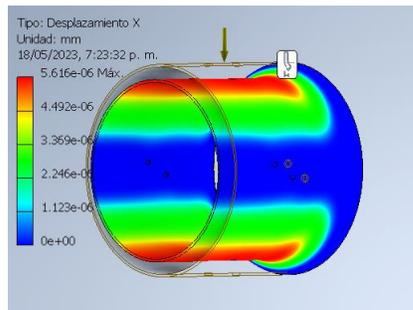
**Figura 56**

*Ensamble de la turbina*



**Figura 57**

*Desplazamiento del cilindro*

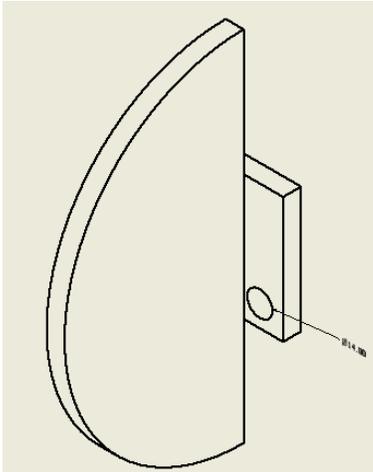


Nota: Aunque no lleva presión solo soporta la tensión de la turbina de igual forma se aplica los 20 N.

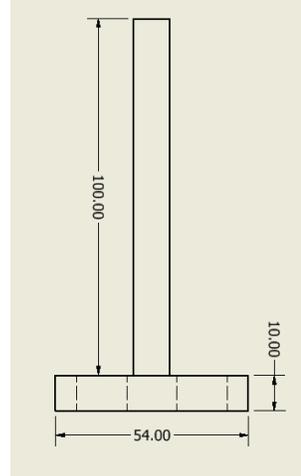
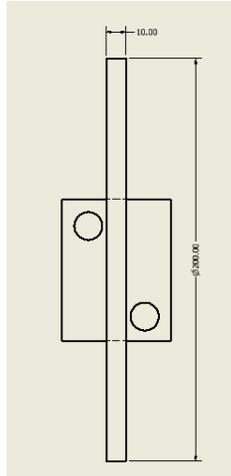
## PLANOS DE LA TURBINA

**Figura 58**

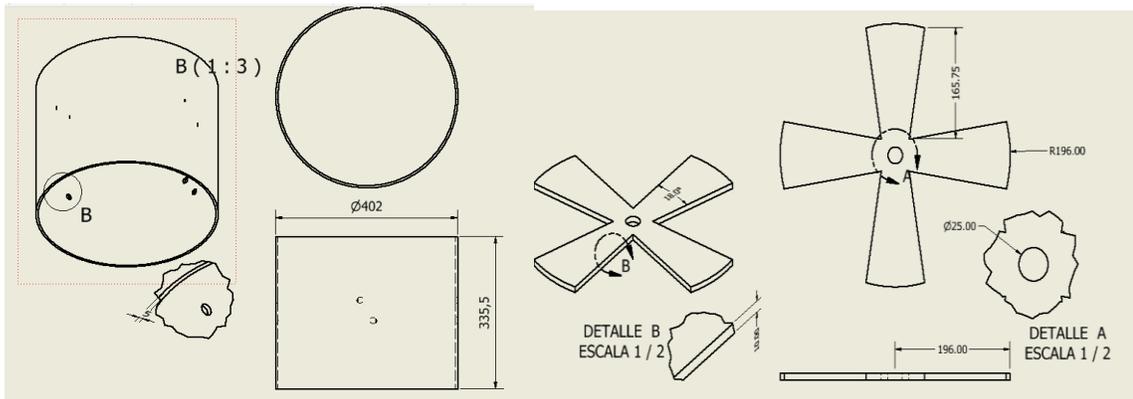
*planos turbina*



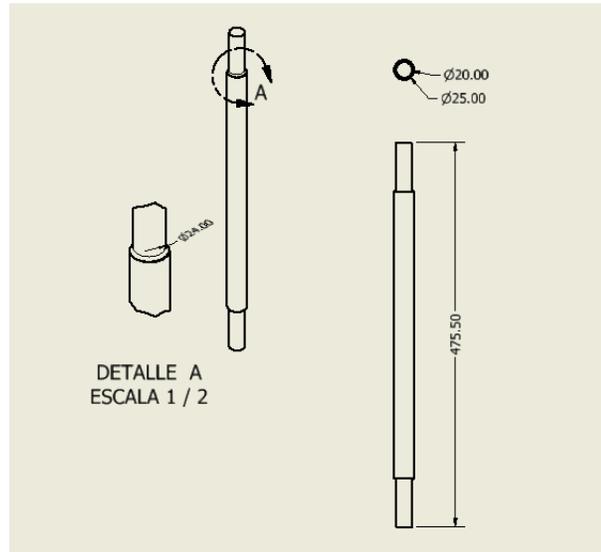
**Figura 59**  
Cilindro



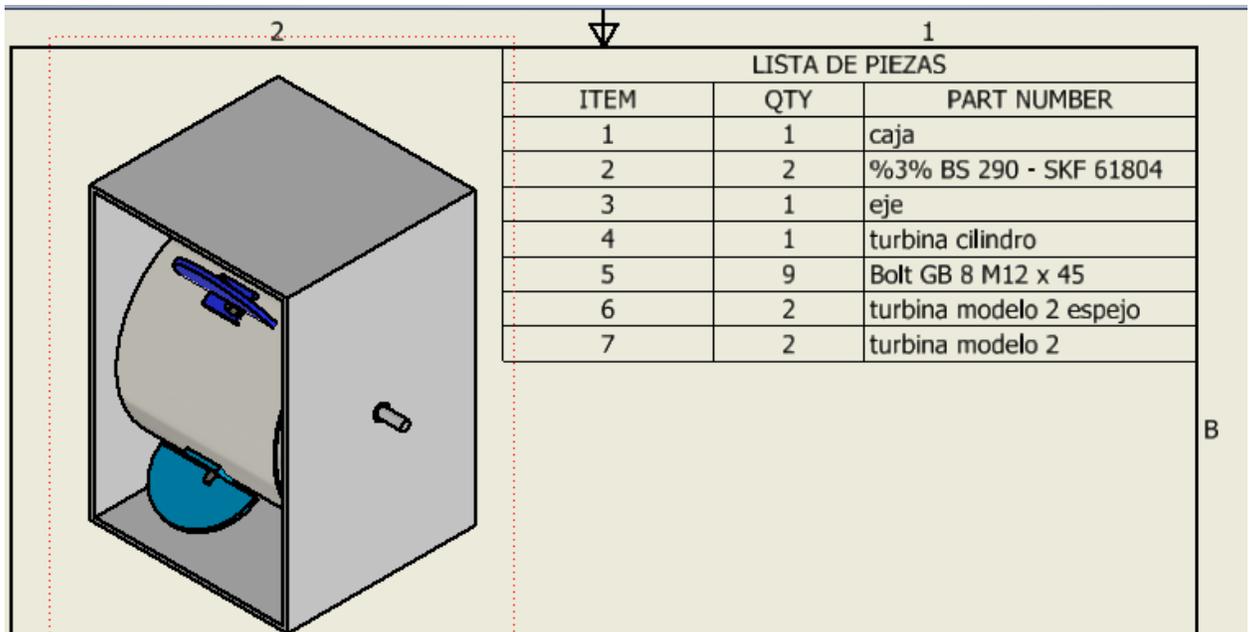
**Figura 60**  
soporte del eje



**Figura 61**  
eje de la turbina



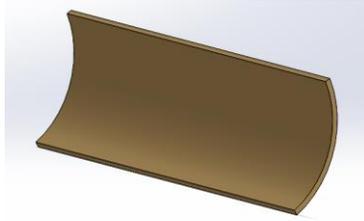
**Figura 62**  
ensamble



**Anexo 07. Diseño 3D del prototipo de la turbina**

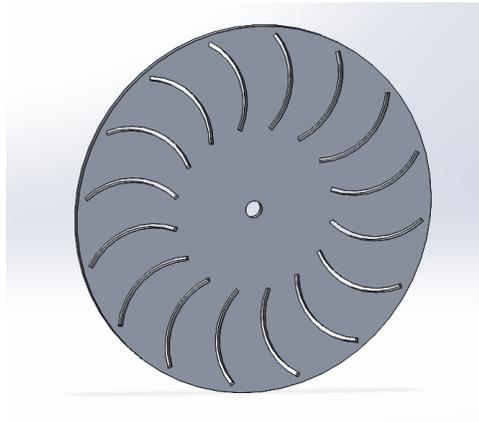
**Figura 63**

*Alabes*



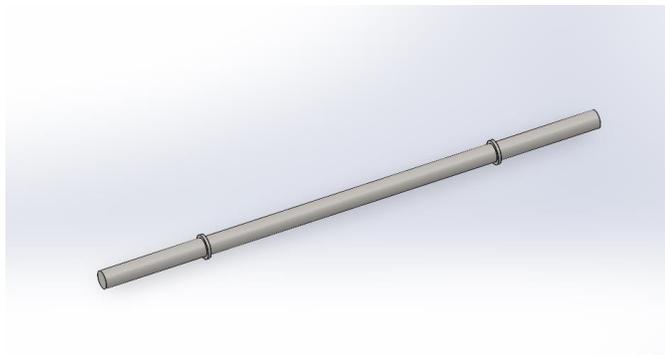
**Figura 64**

*Tapas turbina*



**Figura 65**

*Eje*

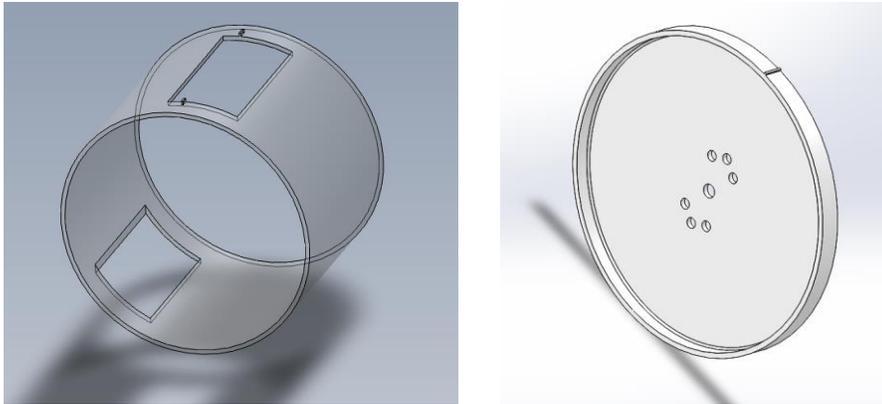


**Figura 66**

*Recubrimiento turbina*

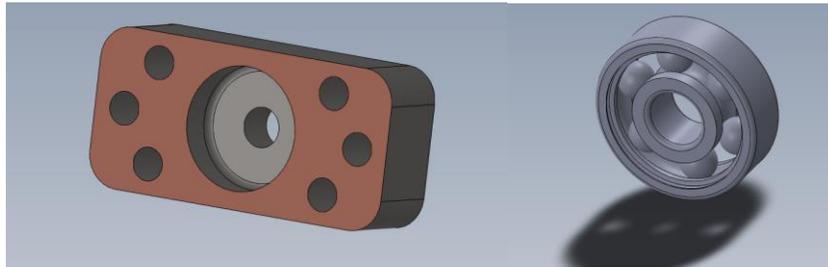
**Figura 67**

*Tapas laterales del recubrimiento*



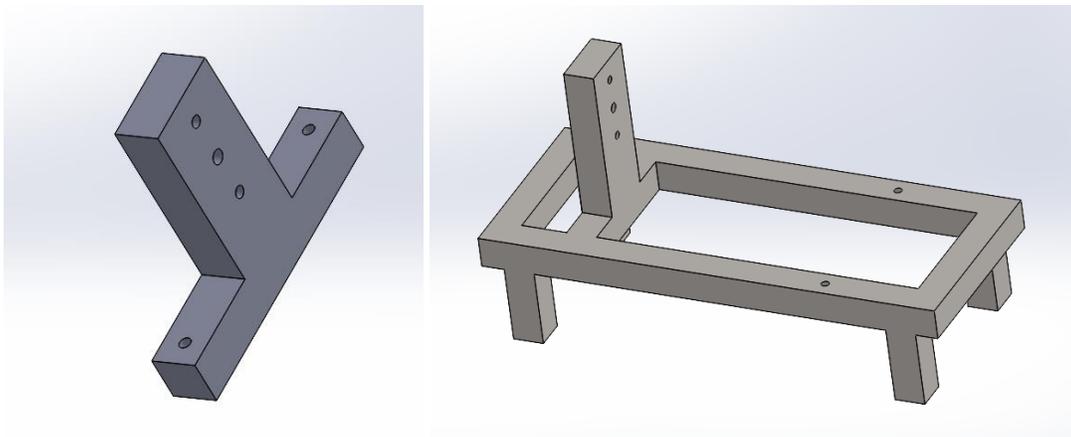
**Figura 68**

*Camisa y rodamiento*



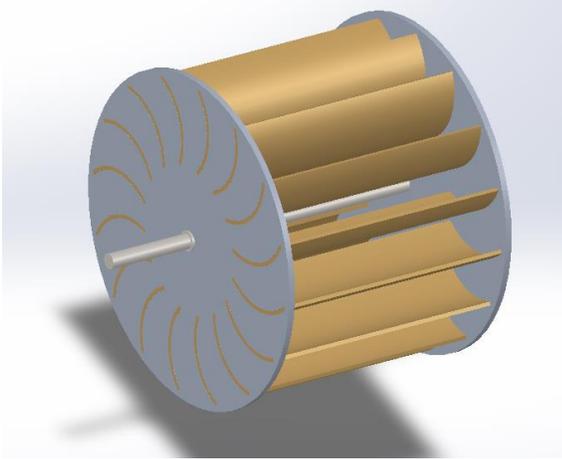
**Figura 69**

*Soporte de la estructura de la turbina.*



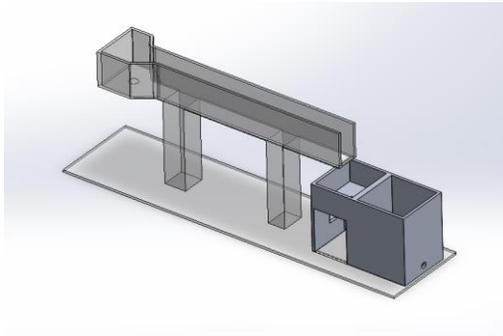
**Figura 70**

*Ensamble de turbina*



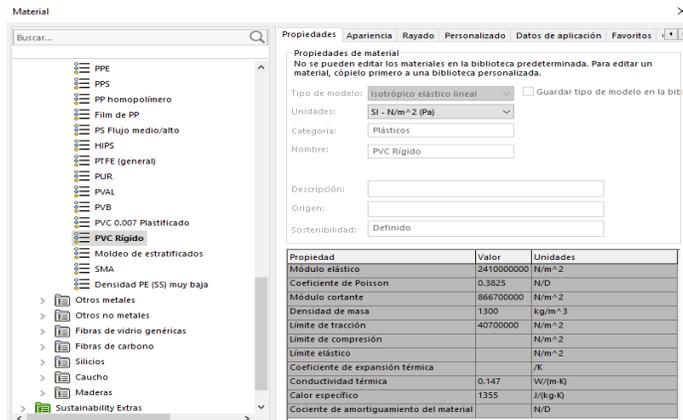
**Figura 71**

*Máquina de fluidos hidrodinámico básico sede laboratorios Alvernia Universidad Mariana*



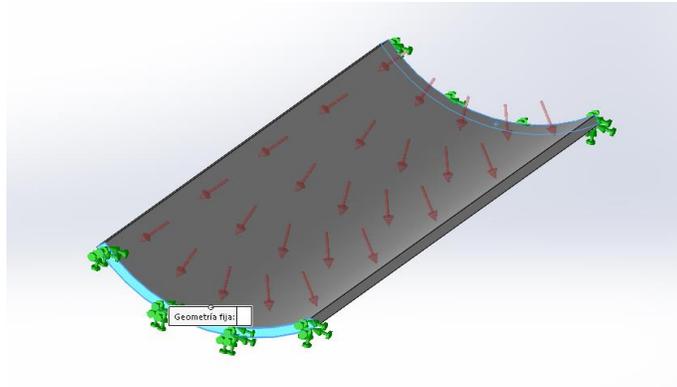
**Figura 72**

*Análisis de fuerza*



**Figura 73**

*Presión ejercida por el agua*



Altura = 26 cm = 0.26 metros

El área de la base del canal sigue siendo la misma:

$$A = \text{Altura} \times \text{Ancho}$$

$$A = 0.26 \text{ m} \times 0.20 \text{ m} = 0.052 \text{ metros cuadrados (m}^2\text{)}$$

Utiliza la misma densidad del agua ( $\rho \approx 1000 \text{ kg/m}^3$ ), la aceleración debida a la gravedad ( $g \approx 9.81 \text{ m/s}^2$ ) y la nueva altura:

$$P = \rho \times g \times h$$

$$P = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.26 \text{ m} = 2547.6 \text{ N/m}^2 \text{ (pascal)}$$

La presión que el agua ejerce sobre la base del canal, con una altura de 26 cm, es de 2547.6 Pa (pascal) o 2547.6 N/m<sup>2</sup>

Para calcular la fuerza total que actúa sobre la base del canal, utiliza la presión y el área de la base:

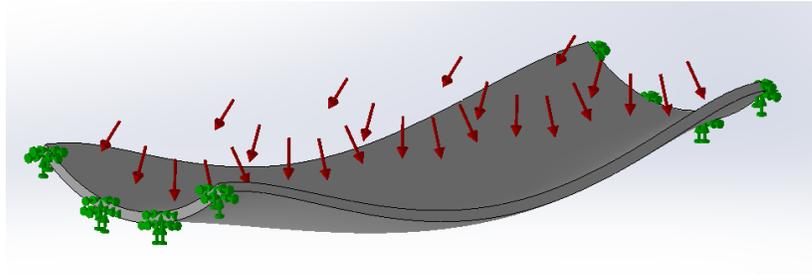
$$F = P \times A$$

$$F = 2547.6 \text{ Pa} \times 0.052 \text{ m}^2 = 132.7 \text{ newtons (N)}$$

La fuerza total que ejerce el agua sobre la base del canal, con una altura de 26 cm, es de aproximadamente 132.7 newtons.

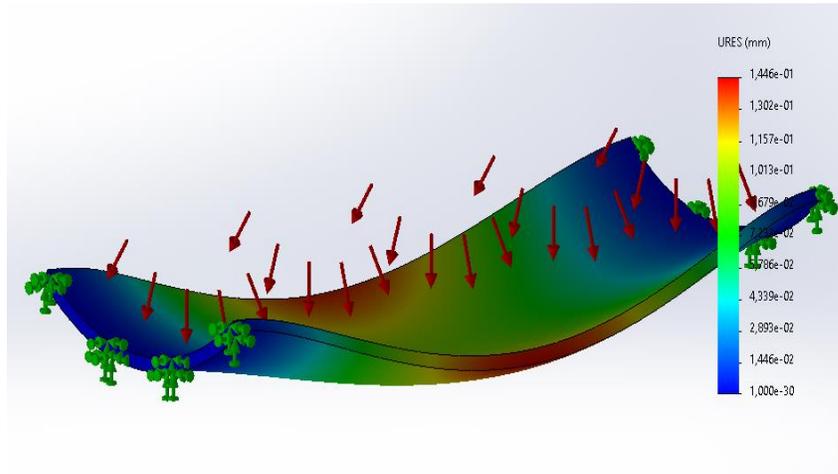
**Figura 74**

*Resultados de la prueba deformación*



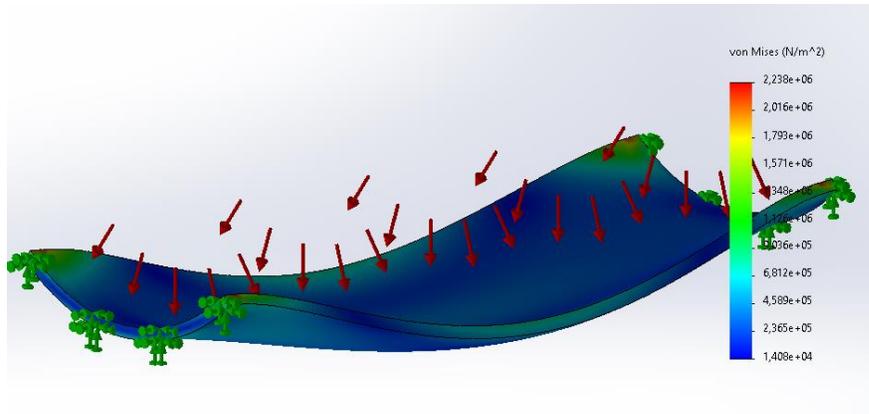
**Figura 75**

*Desplazamiento*



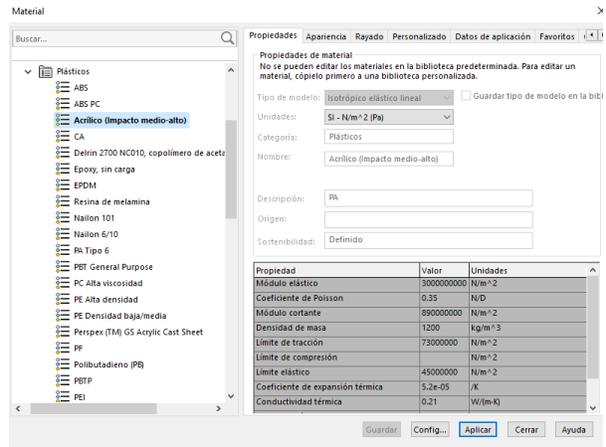
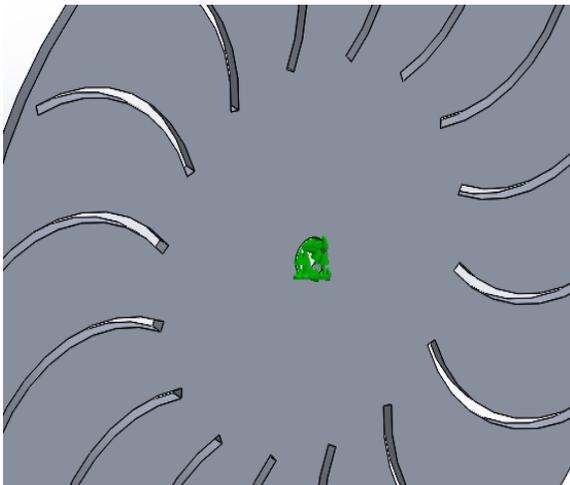
**Figura 76**

*VonMises*



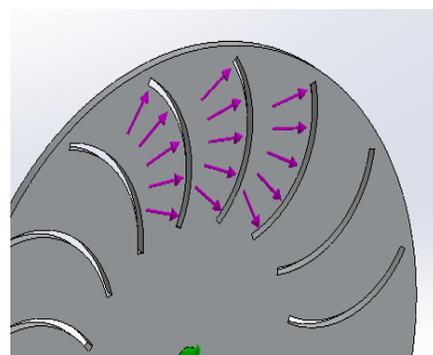
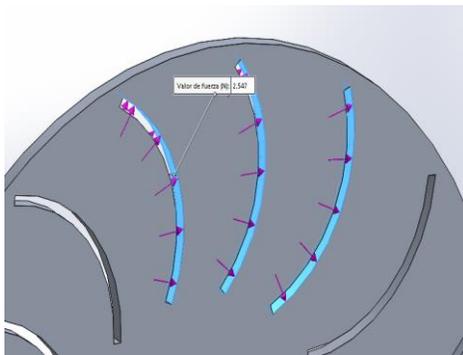
**Figura 78**  
*Simulación de ruedas de paleta de soporte*

**Figura 79**  
*Material*



**Figura 80**  
*Fuerza ejercido*

**Figura 81**  
*Deformación*



**Figura 82**  
*VonMises*

**Figura 83**  
*Desplazamiento*

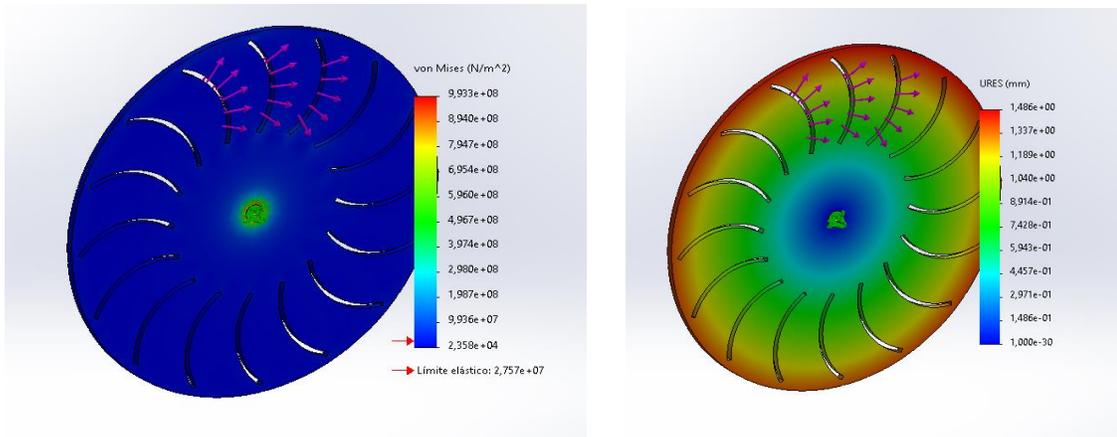


Figura 84

Eje material hierro

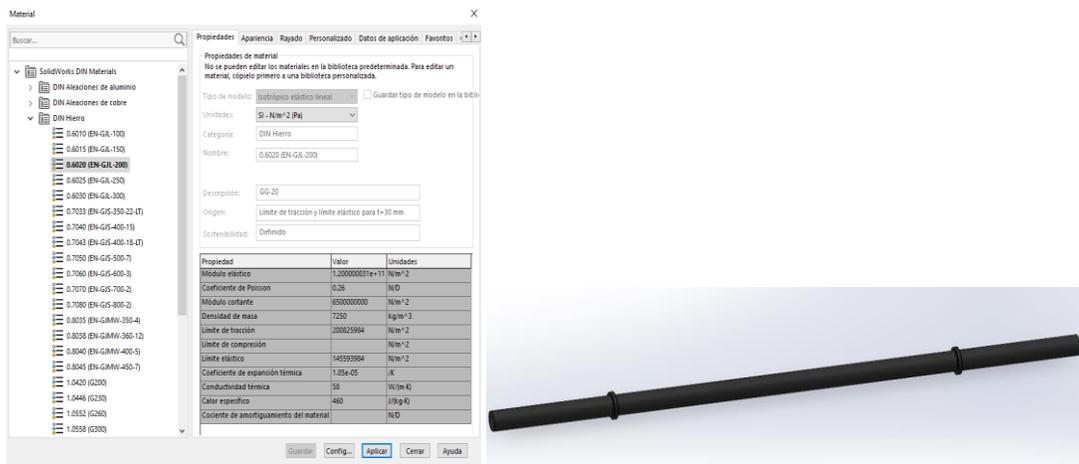
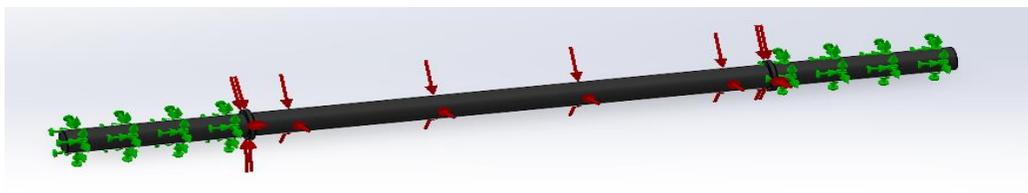


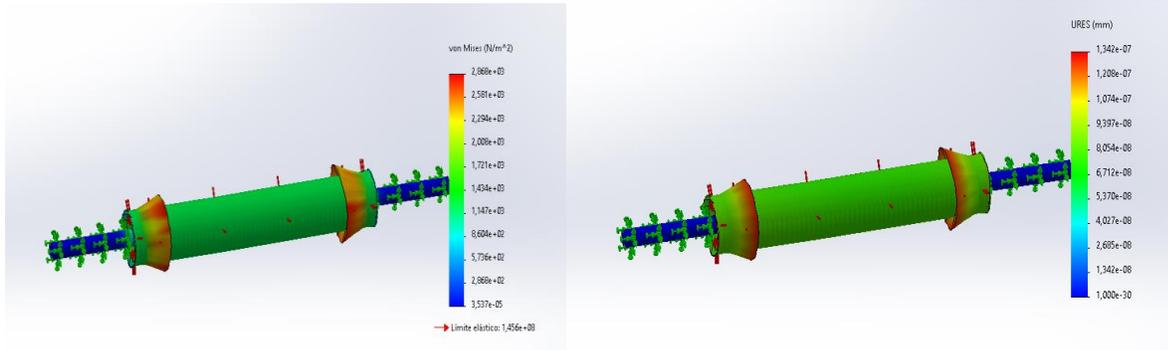
Figura 85

Puntos de presión del eje



**Figura 86**

*VonMises y Ures en mm*



Nota: procedimiento de la construcción de la turbina con el modelo Michel balkni.

## **Anexo 08. Corte y Armado de la estructura**

### **Figura 87**

*Corte de las palas*



una vez obtenido los planos en 3D procedemos a medir y cortar cada pieza de la turbina.

### **Figura 88**

*Acabado de las palas*



## **Primer modelo de la turbina**

### **Figura 89**

*Corte de las ruedas*



Nota: al ser el primer modelo se cortó a mano usando como cilindro la parte superior de un tarro de pintura y trazando con los ángulos del diseño en 3D de 15°.

Armado del primer prototipo

### **Figura 90**

*Primer modelo de la turbina*

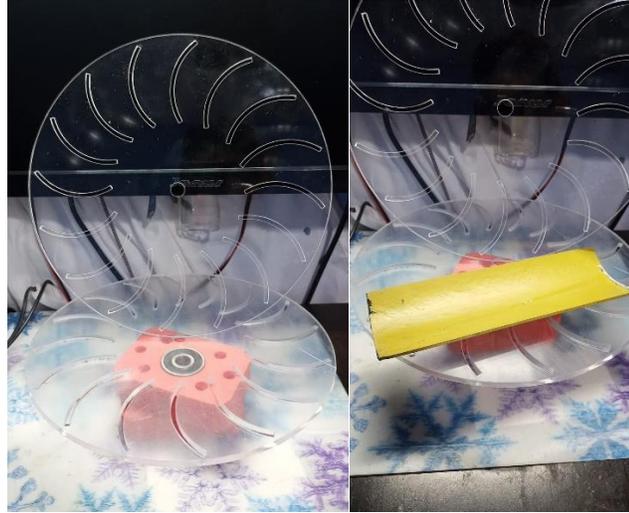


Nota: Se desarrollo en materiales reciclables y con cortes a mano.

Al mirar el funcionamiento se desarrolla el siguiente prototipo que se deja, a continuación, los procedimientos del arado, Se manda a cortar a láser las piezas de soporte y a cortar el eje de una varilla de 12 mm

**Figura 91**

*Corte de los soportes de las palas*



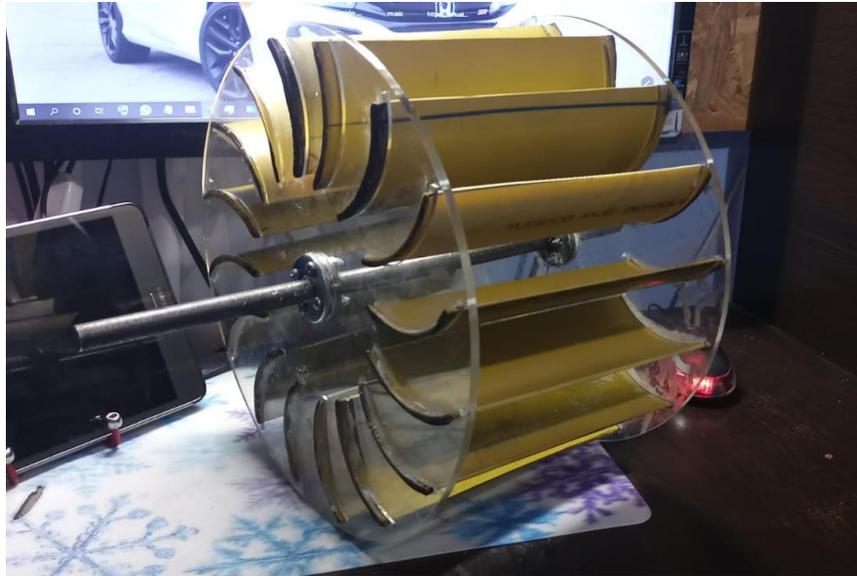
**Figura 92**

*Eje y parte de la estructura de la turbina*



**Figura 93**

*Finalización de la turbina prototipo dos*



Nota. Con este prototipo se ara la evaluación de funcionamiento.

**Figura 94**

Finalizacion de la estructuta y montaje de la turbina



**Figura 95**

Capsula de la turbina



## **Anexo 9. Complemento de la investigación y enlace de video**

### **1. Anexo de drive organizado por carpetas de documentación, fotografía y videos**

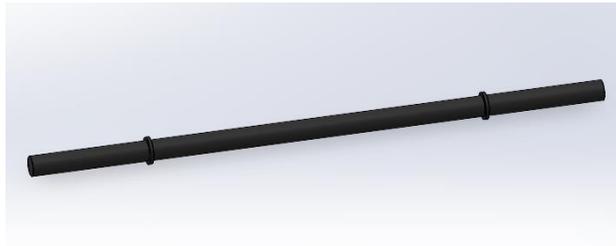
**Link:**

**[https://drive.google.com/drive/folders/1b2\\_Mma28StsAny\\_gyloAoo9rRfwLcT27?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1b2_Mma28StsAny_gyloAoo9rRfwLcT27?usp=drive_link)**

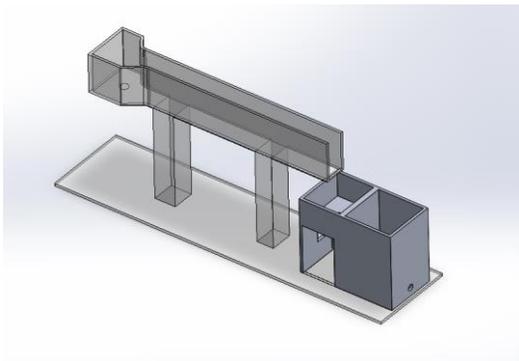
### **2. Fotografías de lo más relevante de los objetivos**

#### **2.1. Diseño 3D**

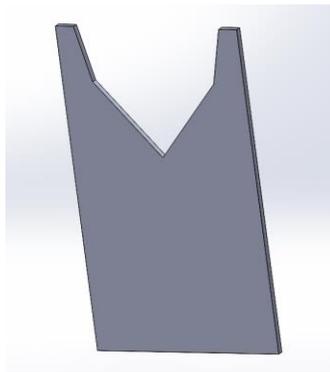
Eje de acero



Tanque canal hidrodinámico básico



vertedero de agua



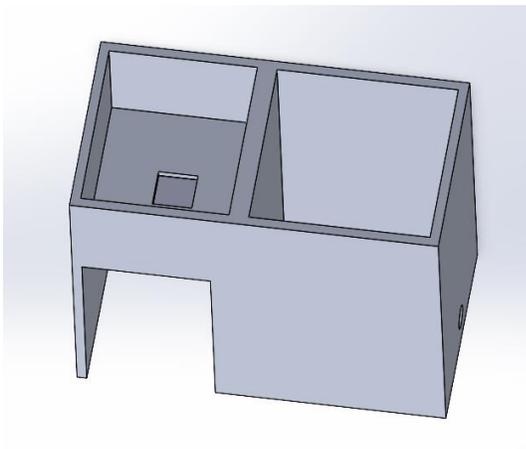
Tapa de la estructura



ruedas soporte de las aspas



Modelo del tanque de recolección de agua

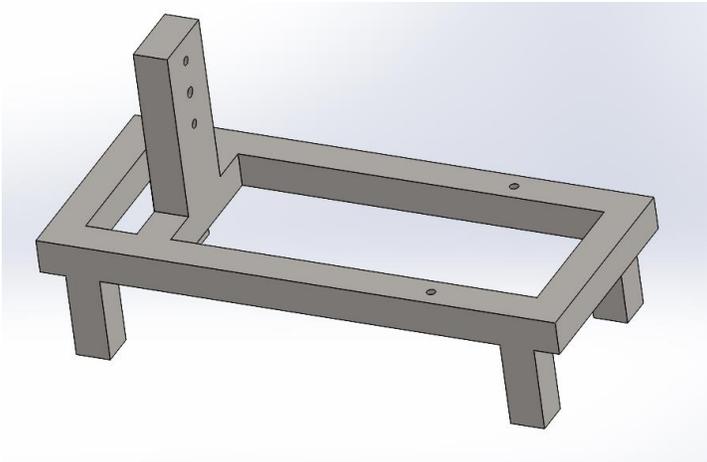


carcasa exterior



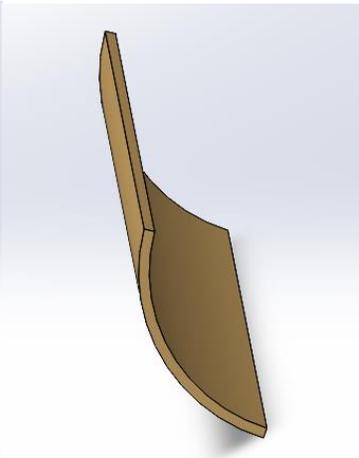
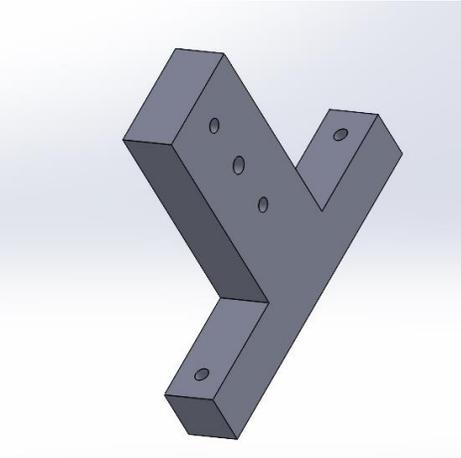
Siporte de la turbina

*Desarrollo de una microturbina Michell-Banki para pequeños caudales*

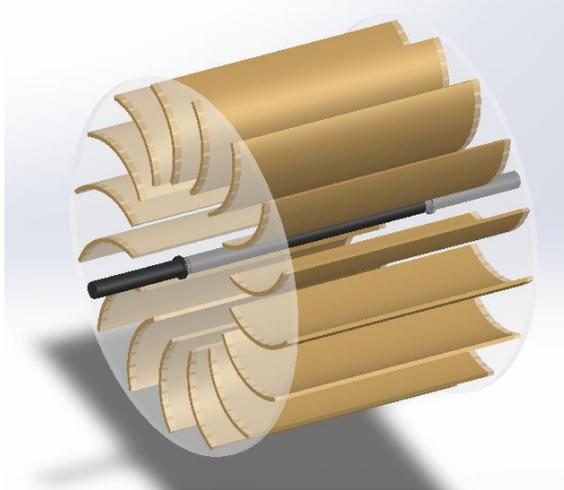


Anclaje de la turbina

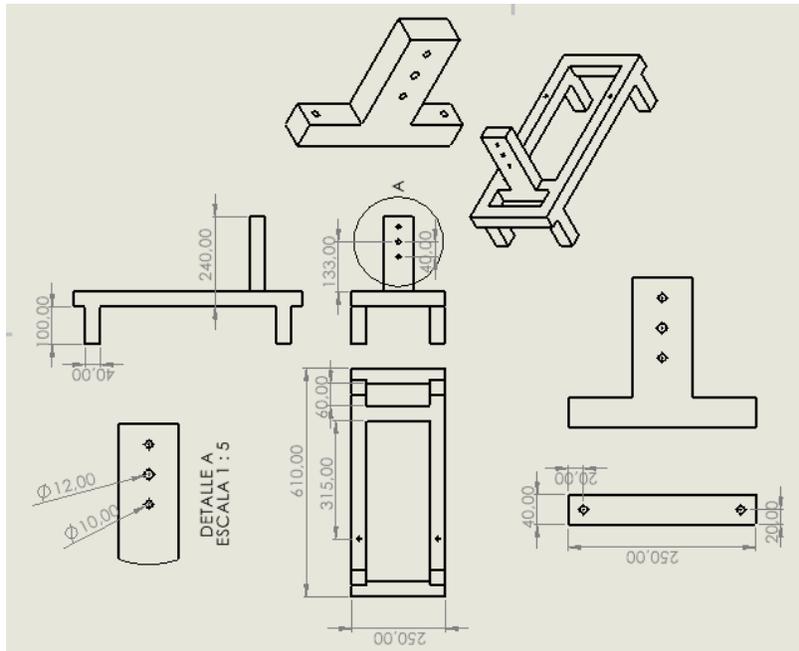
palas de arrastre



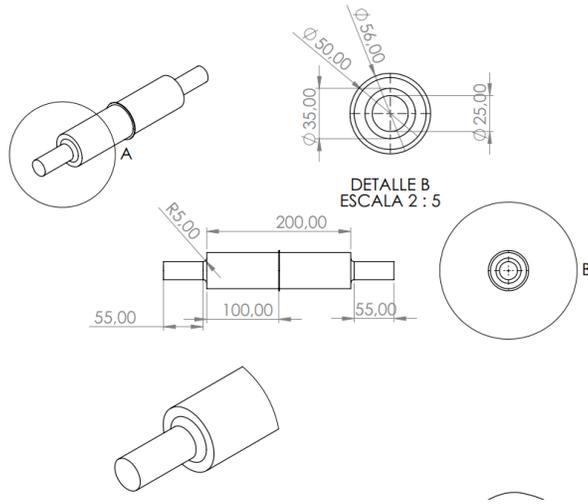
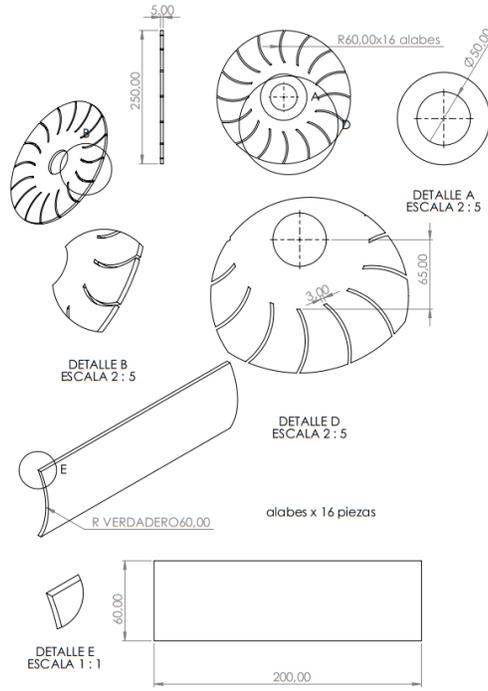
Armado de la turbina



### 2.1.2. planos



*Desarrollo de una microturbina Michell-Banki para pequeños caudales*



### **3. Construcción**

#### **primer modelo de prototipado**

eje y rodamientos



Corte de los soportes de turbina      corte de los alabes



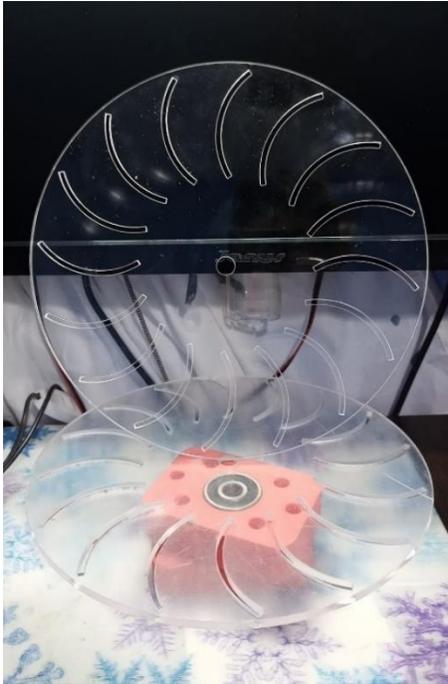
#### **Primer modelo armado**



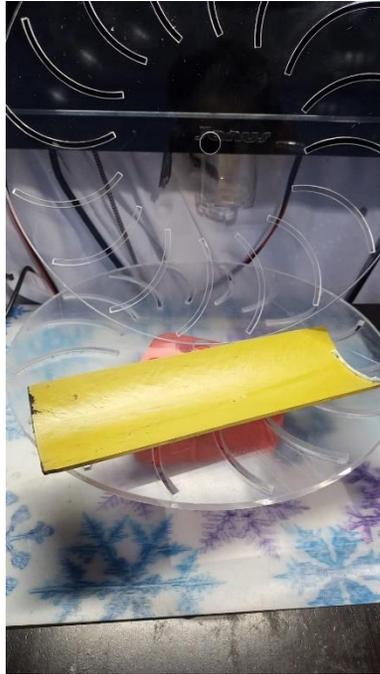
Nota: de este primer modelo se tiene video de funcionamiento

**Segundo prototipo**

Corte mecanizado en laser 3D



alabes con nuevas medidas



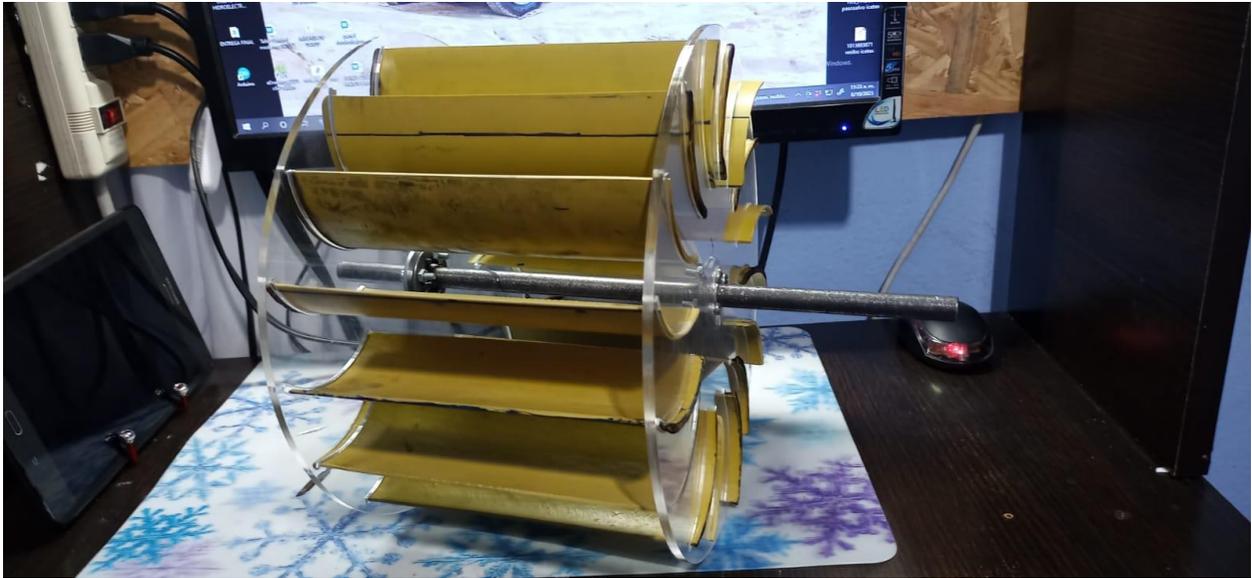
Eje de acero



camisas de los rodamientos



Construcción de la turbina



Construcción de soporte de acero

Corte de los materiales

puntos de soldadura



Armado de la estructura

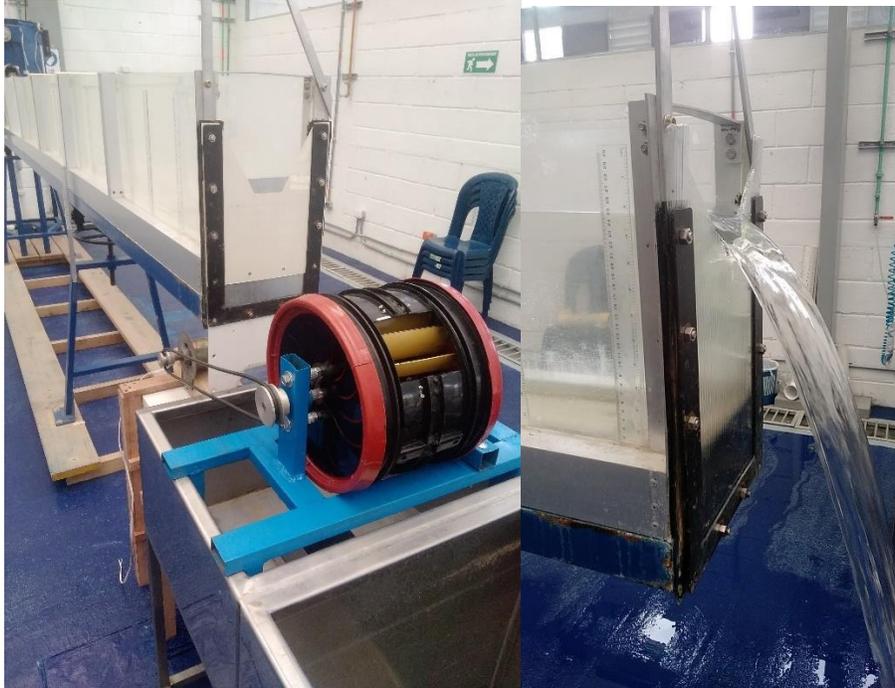


#### 4. Pruebas



Modelo de vertedero tipo U

vertedero tipo v



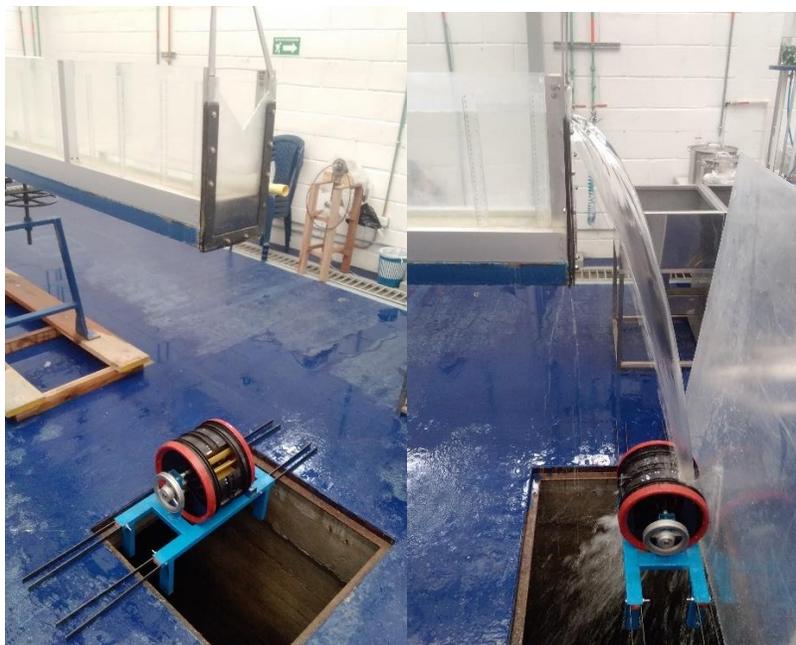
**Instalaciones del vertedero tipo v**

**Ensayo del fluido**



**Prueba de funcionamiento**

*Desarrollo de una microturbina Michell-Banki para pequeños caudales*



Nivel del cudal de agua

medidas del canal profundidad

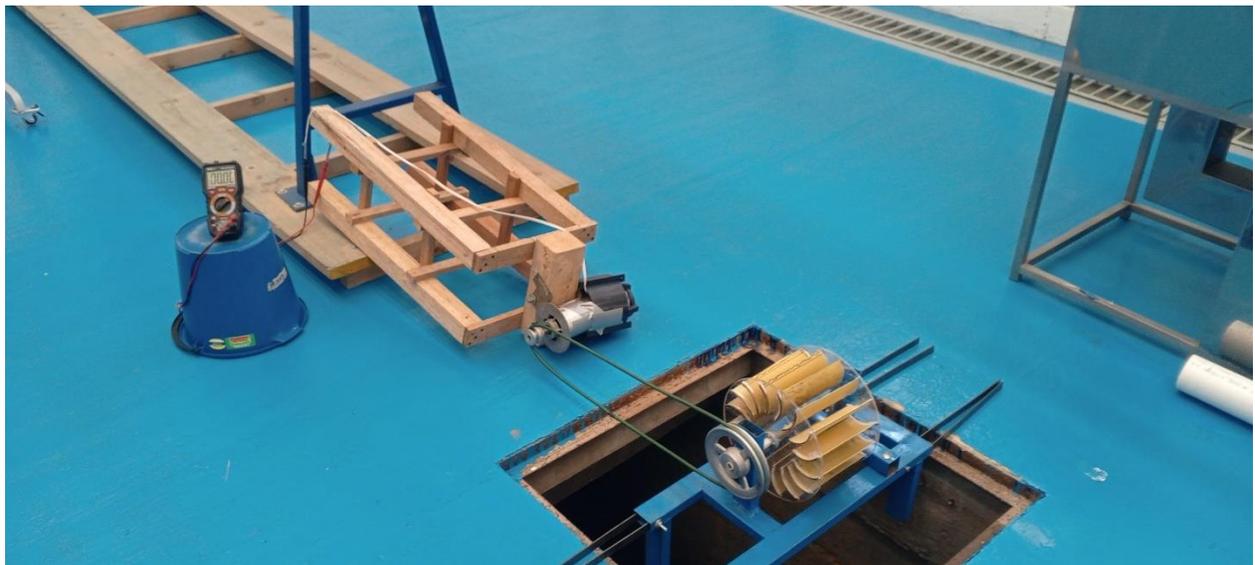
ancho



**Conexión del motor**



**Funcionamiento**



**Velocidad de la turbina en RPM**



**Velocidad de RPM del generador**



*Desarrollo de una microturbina Michell-Banki para pequeños caudales*

