



Universidad **Mariana**

Desarrollo de un sistema hidroeléctrico para la producción de energía renovable en la empresa
Acuimayo (Sibundoy, departamento del Putumayo)

Ever Mauricio Rodríguez Cuaichar

Universidad Mariana
Facultad de Ingenierías
Programa Ingeniería Mecatrónica
San Juan de Pasto

2024

Desarrollo de un sistema hidroeléctrico para la producción de energía renovable en la empresa
Acuimayo (Sibundoy, departamento del Putumayo)

Ever Mauricio Rodríguez Cuaichar

Informe de investigación para optar al título de: Ingeniero Mecatrónico

MSc Jairo Andrés Fajardo

Asesor

Universidad Mariana
Facultad de Ingenierías
Programa Ingeniería Mecatrónica
San Juan de Pasto
2024

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

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones, 2007
Universidad Mariana

Contenido

| | |
|--|----|
| Introducción | 9 |
| 1. Resumen del proyecto | 11 |
| 1.1 Descripción del problema..... | 12 |
| 1.1.1 Formulación del problema | 13 |
| 1.2 Justificación..... | 13 |
| 1.3 Objetivos | 14 |
| 1.3.1 Objetivo general | 14 |
| 1.3.2 Objetivos específicos..... | 14 |
| 1.4 Marco referencial o fundamentos teóricos | 15 |
| 1.4.1 Antecedentes | 15 |
| 1.4.1.1 Internacionales..... | 16 |
| 1.4.1.2 Nacionales. | 16 |
| 1.4.1.3 Regionales. | 16 |
| 1.4.2 Marco teórico | 17 |
| 1.4.2.1 Turbinas..... | 17 |
| 1.4.2.2 Generador. | 19 |
| 1.4.3 Marco contextual..... | 23 |
| 1.5 Marco metodológico | 24 |
| 1.5.1 Línea de investigación..... | 24 |
| 1.5.2 Tipo de investigación | 25 |
| 1.5.3 Descripción metodológica..... | 25 |
| 1.5.3.1 Fase N° 1. Construir un prototipo mecánico de turbina hidroeléctrica que se ajuste a las condiciones del caudal presente. | 25 |
| 1.5.3.2 Fase N° 2. Construir el sistema de intercambio de energía mecánica a eléctrica | 26 |
| 1.5.3.3 Fase N° 3. Validar el prototipo mediante la puesta en marcha del mismo y el análisis de energía producida. | 27 |
| 2. Presentación de resultados..... | 29 |
| 2.1 Resultados de acuerdo a los objetivos..... | 29 |
| 2.1.1 Resultado del primer objetivo | 29 |

| | |
|---|----|
| 2.1.1.1 Reconocimiento del Área de Trabajo en la empresa | 29 |
| 2.1.1.2 Avances del Proyecto. | 34 |
| 2.1.2 Resultado del segundo objetivo..... | 36 |
| 2.1.2.1 Diseño en 3D del sistema mecánico..... | 37 |
| 2.1.2.2 Implementación del sistema mecánico..... | 38 |
| 2.1.2.3 Implementación del sistema de intercambio de energía mecánica a eléctrica. | 39 |
| 2.1.3 Resultado del tercer objetivo | 39 |
| 2.1.3.1 Resultado final del proyecto..... | 40 |
| 3. Conclusiones | 50 |
| 4. Recomendaciones..... | 51 |
| Referencias bibliográficas | 52 |
| Anexos..... | 54 |

Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Medidas realizadas en las fuentes hídricas en la empresa Acuimayo | 24 |
| Tabla 2. Medición de las revoluciones por minuto (RPM) | 41 |
| Tabla 3. Medición de las revoluciones por minuto (RPM) | 41 |
| Tabla 4. Medición de las revoluciones por minuto (RPM) | 42 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Clasificación de las turbinas | 17 |
| Figura 2. Piscícola Acuimayo. | 29 |
| Figura 3. Práctica de Laboratorio. | 30 |
| Figura 4. Lugares de medición. | 30 |
| Figura 5. Sección caídas artificiales, cascada N°10. | 31 |
| Figura 6. Dimensiones de la Sección Mojada de la Cascada. | 32 |
| Figura 7. Comparación de los materiales | 33 |
| Figura 8. Turbina Hidráulica..... | 34 |
| Figura 9. Fabricación de la Turbina Hidráulica | 35 |
| Figura 10. Proceso de Fabricación | 35 |
| Figura 11. Ensamblaje (Turbina Hidráulica)..... | 36 |
| Figura 12. Proceso de Impermeabilización: Turbina Hidráulica | 36 |
| Figura 13. Diseño CAD del sistema de acoplamiento mecánico | 37 |
| Figura 14. Avances en el sistema de acoplamiento mecánico (turbina hidráulica) | 38 |
| Figura 15. Avances en el sistema de acoplamiento mecánico (soldadura) | 38 |
| Figura 16. Implementación del sistema de intercambio de energía | 39 |
| Figura 17. Funcionamiento del proyecto..... | 40 |
| Figura 18. Funcionamiento del proyecto (medición RPM)..... | 40 |
| Figura 19. Funcionamiento del proyecto (medición RPM)..... | 43 |
| Figura 20. Funcionamiento del proyecto (medición RPM)..... | 43 |
| Figura 21. Funcionamiento del proyecto (medición RPM)..... | 44 |
| Figura 22. Diagrama de relación RPM..... | 45 |
| Figura 23. Cálculo Promedio Final | 45 |
| Figura 24. Ganancia Práctica..... | 45 |
| Figura 25. Ganancia Teórica | 46 |
| Figura 26. Funcionamiento del proyecto (medición Voltaje) | 46 |
| Figura 27. Funcionamiento del proyecto (medición Corriente) | 47 |
| Figura 28. Estructura general del sistema hidroeléctrico | 48 |

Índice de Anexos

| | |
|---|----|
| Anexo A. Informe de Laboratorio (Medición de Caudal)..... | 54 |
| Anexo B. Planos de Diseño..... | 77 |
| Anexo C. Evidencia Fotográfica | 84 |
| Anexo D. Link, Videos | 85 |
| Anexo E. Cronograma..... | 86 |

Introducción

Desde tiempos inmemorables durante muchos siglos antes de nuestro tiempo, las fuentes de energía renovables, como la solar, la eólica y la hidráulica, fueron utilizadas por los seres humanos para actividades domésticas, agrícolas, artesanales y comerciales. Esto continuó hasta el estallido social de la primera revolución industrial en el siglo XVIII, cuando la energía renovable tuvo que trascender a los recursos fósiles como el petróleo y el carbón, que entonces estaban disponibles como energía abundante y barata. La Revolución Industrial también provocó cambios sociales y económicos que llevaron al desarrollo posterior de la industria hidroeléctrica a gran escala, que hoy se considera una fuente de energía renovable tradicional, en consecuencia, surge un concepto de pequeñas centrales hidroeléctricas siendo una de las aplicaciones más destacadas e idóneas para pequeñas instalaciones de establecimientos cercanos a fuentes hídricas.

Mediante el estudio orientando hacia el área de energías renovables, enfocado especialmente a la producción de energía hidroeléctrica, como etapa inicial se ha realizado una investigación general de un establecimiento comercial como una iniciativa por parte de algunos profesores que pertenecen al programa de ingeniería mecatrónica de la planta docente de la Universidad Mariana, a través de este estudio preciso y metodológico, se abre una brecha en la necesidad de desarrollar un mecanismo o sistema hidroeléctrico en el área del lugar donde se ha llevado a cabo la investigación profesoral.

El objetivo de este trabajo de grado, es vincular el análisis de estudio de la investigación profesoral y darle continuidad a ese proceso investigativo donde se tiene como alternativa el desarrollo de un prototipo generador hidroeléctrico de acuerdo a las necesidades que se presenta en una empresa. Acuímayo, es una empresa ubicada en el departamento del Putumayo, que se dedica a la piscicultura del cultivo de trucha y para obtener un desarrollo oportuno del proyecto, se han identificado las necesidades de la empresa. En este sentido, la piscicultura, tal como se practica actualmente, presenta un alto consumo energético. Para garantizar la sostenibilidad de esta actividad, es necesario adoptar tecnologías y prácticas que permitan reducir drásticamente este consumo. Es fundamental encontrar soluciones sostenibles para mitigar este impacto y optimizar los procesos productivos.

Una vez definida la necesidad, se plantea una problemática, como un parámetro inicial de tal manera se logre identificar, recopilar y clasificar la información necesaria, para una buena ejecución del proyecto mediante una buena investigación para darle cumplimiento al objetivo principal que es el desarrollo de un sistema hidroeléctrico para la producción de energía renovable local en la empresa Acuímayo.

1. Resumen del proyecto

El presente trabajo de grado nació como un proyecto de seguimiento al proceso investigativo profesoral, como parte de la etapa investigativa se abordó una necesidad en relación al consumo energético local de la empresa Acuimayo, perteneciente al municipio de Sibundoy, departamento del Putumayo. La investigación de enfoque experimental cuantitativa basada en la primera línea de investigación de la ingeniería mecatrónica; consistente en electrónica, automatización, y control, desarrolló una turbina hidroeléctrica la cual generó energía parcial y local en la empresa.

La investigación fue dividida en 3 fases, donde en la fase inicial se planteó la construcción del prototipo mecánico de turbina hidroeléctrica ajustada a las condiciones del caudal, para ello se realizó revisión bibliográfica de diferentes tipos de turbinas, su aplicación, uso, entre otros, posteriormente se hizo el reconocimiento del lugar y la adaptación adecuada de la turbina, teniendo en cuenta todas las condiciones, como fuerza de caudal, condiciones climáticas, análisis y mediciones, costos, etc. En la fase 2 se construyó el intercambio de energía mecánica a eléctrica, haciendo la revisión de conceptos técnicos relacionados con la parte eléctrica de componentes, cotización de materiales, realización de esquema eléctrico del sistema y acoplamiento del sistema eléctrico al prototipo mecánico de la turbina. Como tercera fase se validó el prototipo mediante la puesta en marcha del mismo y el análisis de energía producida, para esto, se hizo visitas a la empresa Acuimayo para verificar y testear las conexiones eléctricas, realizar y revisar el esquema general eléctrico, verificar y vincular los sistemas para lograr la instalación idónea del sistema hidroeléctrico en la empresa, donde se entregó un sistema funcional.

En base a la inspección del territorio y el análisis del caudal hídrico, se logró desarrollar el diseño en 3D, de igual manera permitió calcular el tamaño total de la turbina, esta fue construida de manera artesanal y manual con madera fina y recubierta con un impermeabilizante para lograr su conservación y durabilidad, para su instalación se tuvo presente el funcionamiento del sistema mecánico evaluando tamaño y capacidad en relación de exposición, caudal y caída, del agua, la fuerza del caudal impulsó el movimiento del eje principal el cual está vinculado a un generador eléctrico y permite que toda la energía generada se almacena en una batería, de esta manera se confirmó la integración de los sistemas eléctrico e hidráulico y como resultado final, se obtuvo un

sistema hidroeléctrico funcional.

1.1 Descripción del problema

Según Marchegiani et al. (2023), los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos (PAH) se encuentran distribuidos alrededor de todo el mundo y han perdurado durante muchos años, pueden complementar la producción de combustibles fósiles y proporcionar un suministro eléctrico económico y fiable a comunidades aisladas. Así mismo, cada uno de estos debe ser diseñado individualmente debido a que cada emplazamiento es único y peculiar, de igual manera estos sistemas han contribuido al desarrollo rural.

Acuimayo es una empresa que se dedica al cultivo y comercialización de trucha, la cual está ubicada en la localidad del Valle de Sibundoy, departamento del Putumayo, Colombia, es un sitio adecuado para este tipo de producción ya que, cuenta con unas instalaciones aptas y la disposición de unos estanques para el cultivo de truchas, los cuales están integrados por un sistema de caudal de manera artificial que contribuyen a la oxigenación del agua.

Como primer paso de la investigación, se realizó un acercamiento con el propietario de Acuimayo para saber si está de acuerdo con la realización de este proyecto, de lo cual se obtuvo la autorización. El propietario mostró gran interés en aprovechar el caudal del río San Pedro para generar electricidad, motivado por la necesidad de reducir costos energéticos y contribuir al desarrollo de energías renovables como una posible alternativa para el consumo local de energía, puesto que se estaría dando un aporte a la investigación de energías limpias renovables como una alternativa para la producción de energía eléctrica de fácil mantenimiento y bajo presupuesto, que puede ayudar al consumo energético en sus instalaciones como la iluminación. De esta manera se propuso diseñar, construir e implementar un sistema hidroeléctrico.

El elevado consumo energético en las instalaciones de Acuimayo, especialmente en la iluminación, donde esta situación ha puesto de manifiesto la necesidad de buscar una alternativa energética más eficiente y sostenible. Al implementar un sistema de generación de energía renovable, como el hidroeléctrico, se espera reducir significativamente los costos energéticos,

permitiendo así destinar mayores recursos a la expansión de la planta de producción y a la mejora de la calidad del producto. A largo plazo, esta solución garantizará la sostenibilidad de la empresa y su capacidad para competir en el mercado. Zamora (2023) plantea, que la energía renovable se ha consolidado como un pilar fundamental para el futuro de la energía, ofreciendo múltiples beneficios tanto a nivel económico como social, las cuales representan una solución viable para las zonas rurales, donde el acceso a las redes eléctricas convencionales suele ser limitado o nulo.

1.1.1 Formulación del problema

¿Cómo desarrollar un prototipo generador hidroeléctrico aprovechando los caudales artificiales de agua en la empresa Acuimayo, para el consumo local de energía eléctrica?

1.2 Justificación

Este proyecto nace de la necesidad de diseñar e implementar un prototipo o sistema de un generador hidroeléctrico, como un método de obtener energía alternativa a través del aprovechamiento de caudales y saltos del agua disponibles. Para tener un seguimiento claro en la formulación e iniciativa de estos proyectos, se debe tener en cuenta las pautas de los 17 objetivos de desarrollo sostenible, que las Naciones Unidas (2022) han estipulado en su programa de desarrollo destacando entre ellos, el numeral 7 de estos, que plantea los términos de energía asequible y no contaminante.

Para que se logre realizar este propósito, se debe considerar el uso de fuentes de energía limpias, como por ejemplo la solar, eólica, termal, micro hidráulica entre otras aplicaciones, con el fin de mejorar este ámbito productivo de la energía eléctrica y de esta manera disminuir el impacto negativo a niveles aceptables, como un gran avance dentro de los acuerdos internacionales. Por esta razón, el proyecto busca implementar energías renovables ya que, son derivadas de fuentes naturales que se regeneran constantemente, representan una alternativa sostenible para la empresa de Acuimayo. A diferencia de los combustibles fósiles, que tardan millones de años en formarse y emiten gases de efecto invernadero, las energías limpias no contaminan el aire y contribuyen a mitigar el cambio climático. Su implementación en zonas apartadas como Acuimayo no solo reduce la dependencia de fuentes de energía convencionales, sino que también fomenta el desarrollo local

y mejora la calidad de vida de la comunidad. Al aprovechar los recursos naturales de la región, se pueden generar empleos, reducir costos energéticos y disminuir los riesgos asociados a la variabilidad climática, como sequías, olas de calor e inundaciones. Bernal (2022) afirma, que la transición hacia un modelo energético basado en fuentes renovables es necesario y fundamental para disminuir nuestra dependencia de los combustibles fósiles, reducir la contaminación atmosférica y hacer frente a la crisis climática que amenaza nuestro planeta.

De igual manera la forma de hacer uso responsable y sostenible con el medio ambiente es mediante el aprovechamiento de agua fluyente o fuentes hídricas artificiales, en lugares donde no se dispone de un área para un embalse o represa, lo que permite el aprovechamiento de este importante recurso hídrico. La energía hidráulica, es un nuevo método que está teniendo un mayor auge en la zona comercial y empresarial, debido a las grandes ventajas que se obtiene cuando se dispone de un flujo de corriente de un río o caudales, para el diseño apropiado del accionamiento de turbinas hidráulicas para el buen desarrollo y funcionamiento de un sistema hidroeléctrico (Ortiz, 2011). La implementación de una central hidroeléctrica en Acuimayo hace que la empresa aproveche el potencial de sus recursos hídricos para generar energía limpia y renovable. Esta solución reduce la dependencia de energía proveniente del exterior donde los costos operativos generan un ahorro económico significativo, disminuyendo la dependencia de fuentes fósiles.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema hidroeléctrico de generación de energía eléctrica para el consumo local en la Empresa Acuimayo, Sibundoy, Departamento del Putumayo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Construcción de un prototipo mecánico de turbina hidroeléctrica que se ajuste a las condiciones del caudal presente.

- Implementación de un sistema de intercambio de energía mecánica a eléctrica.
- Validación del prototipo mediante la puesta en funcionamiento en el sitio y análisis de funcionamiento.

1.4 Marco referencial o fundamentos teóricos

1.4.1 Antecedentes

La energía eléctrica es una de las formas de energía que en la actualidad se usan en la industria, en los hogares, en el comercio o en los medios de transporte. Se caracteriza por su controlabilidad, por su versatilidad y por su limpieza (particularmente en el lugar de consumo). Puede ser generada en grandes cantidades, de forma concentrada en determinados lugares y transmitida fiable y económicamente a largas distancias, siendo finalmente adaptada de forma fácil y eficiente, principalmente para iluminación y para trabajo mecánico (Barrero, 2004).

Desde el momento de la aplicación comercial de la energía eléctrica a final del siglo XIX, ésta no ha dejado de ser un factor determinante para la economía y el desarrollo. Si bien, es conocido que inicialmente fue utilizada para los sistemas de alumbrado público de las principales ciudades, sustituyendo los faroles de petróleo y gas, posteriormente, a la vez que se convirtió en la fuerza motriz que necesitaba la industria y el comercio, también se constituyó como una herramienta necesaria para el bienestar de los hogares (Ortiz, 2011).

La energía hidráulica, también conocida como energía hidroeléctrica, es aquella energía alternativa que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinéticas y potenciales de la corriente del agua, saltos de agua o mareas, ya sea mediante sistemas de molinos, turbinas o presas (Factorenergía, 2021, párr. 4)

En otras aplicaciones de estas energías renovables. Donde, “siempre se ha dicho que es importante que la electricidad y el agua no entren en contacto, pero la una nutre a la otra; la fuerza y el movimiento del agua de ríos o mares se usa para generar electricidad” (Factorenergía, 2021,

párr. 5)

La mayoría de los mecanismos o presas hidráulicas se destinan a la producción de energía eléctrica utilizando turbinas hidráulicas. Los países con gran potencial hidráulico y que disponen de caudales de ríos constantes y abundantes obtienen la mayor parte de la electricidad en centrales hidráulicas por sus grandes ventajas, entre ellas la de utilizar un recurso natural que solo hay que encauzar y es gratuito. Pero también presenta inconvenientes por la dificultad de hacer predicciones fiables de los caudales de los ríos, puesto que están sometidos a la variabilidad de los ciclos meteorológicos con períodos secos y húmedos y de imposible control. (Industria Nuclear Española, s.f, párr. 3 - 4)

1.4.1.1 Internacionales. En investigaciones o trabajos realizados a nivel internacional, se encontró a Orbe y Yampier (2017), mediante su trabajo investigativo dio un enfoque de realización en zonas rurales del Perú, desarrollo un diseño de un generador portable para estas poblaciones aisladas, donde el servicio de energía eléctrica no era viable con una base de red eléctrica convencional y gracias a su diseño de un sistema generador portable, logro ayudar a una población apartada de la ciudad, mejorando su bienestar y calidad de vida, desde el campo de la ingeniería con relación a las energías renovables y del análisis del diseño en las turbinas, para reconocer la eficiencia en una construcción de un sistema hidroeléctrico.

1.4.1.2 Nacionales. En investigaciones o trabajos realizados a nivel nacional, se encontró a Romero et al. (2020), con respecto al planteamiento que realizan el proyecto, se puede destacar un detalle a considerar y es el estudio investigativo detallado de una turbina Michell-Banki, se lo puede considerar como un buen punto de partida , ya que será de gran utilidad, porque se puede considerar los riesgos y beneficios que nos puede brindar este tipo de turbinas y también este trabajo nos permite tener una guía para el avance y desarrollo preliminar para el estudio general de las turbinas.

1.4.1.3 Regionales. A nivel regional o departamental, el material de estudio en un ámbito investigativo en relación con el tema de este proyecto de energías renovables, no es tan diverso y es muy poco lo que se puede destacar, pero hasta el momento, se ha logrado encontrar un trabajo de estudio, que puede resultar muy útil para afrontar la problemática en la región del Putumayo y

Nariño.

Donde el trabajo del señor Martínez et al. (2018), garantizaba con el desarrollo de un nuevo diseño de una pequeña central hidroeléctrica un mejor servicio de energía eléctrica y como objetivo necesario era que los costos de este proyecto, no sean demasiados elevados y que logre acceder a las personas que pertenecen a este grupo poblacional de zonas no interconectadas en el departamento de Nariño, siendo uno de los departamentos que posee un gran potencial de fuentes hídricas que pueden ser aprovechadas para la generación de energía eléctrica a través de pequeñas o mini centrales hidroeléctricas.

1.4.2 Marco teórico

1.4.2.1 Turbinas.

La turbina hidráulica es el equipo esencial de una central hidroeléctrica. A partir de la energía cinética y potencial que posee el agua, se consigue una energía mecánica que se transfiere a un eje conectado a un generador que produce energía eléctrica. (Ceupe Magazine, s.f, párr. 1)

Una turbina hidroeléctrica está formada por una parte fija, llamada estator, y por la rueda o rotor. El primero sirve para dirigir y regular el caudal de agua y el segundo transfiere la energía cinética del agua al eje en el que está montado. (Enel Green Power, s.f, párr. 2)

Figura 1

Clasificación de las turbinas



Grupo 1: Turbinas de Acción. Son aquellas que aprovechan únicamente la velocidad del flujo

de agua para hacerlas girar. El tipo más utilizado es la denominada turbina Pelton, aunque existen otras turbinas de este propósito.

Turbinas Pelton: Esta turbina se emplea en grandes saltos con poco caudal. Está formada por un rodete móvil con alabes de doble cuenco. El chorro de agua entra en la turbina dirigido y regulado por uno o varios inyectores, incidiendo en los alabes y provocando el movimiento de giro de la turbina. El inyector (o inyectores) dirigen agua a presión contra la serie de paletas en forma de cuchara montadas alrededor del borde del rodete, cada paleta invierte el flujo de agua, disminuyendo su energía, las paletas se montan por pares para mantener equilibradas las fuerzas en la rueda.

Turbinas Ossberger: Es una turbina de flujo cruzado, de doble impulsión o de libre desviación. Su accionamiento se realiza a través de un inyector de sección rectangular provisto de un alabe longitudinal que regula y orienta el caudal que entra en la turbina, y un rodete de forma cilíndrica, con sus múltiples palas dispuestas como generatrices y soldadas por los extremos a discos terminales. Funciona a un régimen de giro específico, por tanto, se puede incluir en la clasificación de turbinas de régimen lento. El primer impulso se produce cuando el caudal entra en la turbina orientado por el alabe del inyector hacia las palas del rodete. Cuando este caudal ha atravesado el interior del rodete proporciona el segundo impulso, al salir del mismo y caer por el tubo de aspiración. La turbina Ossberger fue diseñada para funcionar durante largos periodos de tiempo en régimen continuo, no requiere medios especiales para su mantenimiento. Su instalación es frecuente en países en vías de desarrollo ya que su instalación y puesta en marcha no requiere grandes conocimientos hidráulicos (Ceupe Magazine, s.f).

Turbinas Michell-Banki: También conocidas como turbinas de flujo cruzado, son máquinas hidráulicas utilizadas para la producción y generación de energía en proyectos hidroeléctricos a pequeña escala. Desde su creación, la turbina de Michell-Banki ha sido objeto de múltiples investigaciones enfocadas a mejorar la eficiencia, con el objetivo de proveer el recurso energético a zonas que carecen del servicio y a fin de obtener el máximo aprovechamiento del recurso hídrico. Entre las principales características de la turbina Michell-Banki, se encuentra su diseño sencillo y fácil fabricación, buena eficiencia en modo de operación a cargas parciales y su bajo costo de

operación y mantenimiento. Estas particularidades convierten a la turbina Michell-Banki en una alternativa atractiva para la generación a pequeña escala; sin embargo, esto no constituye un impedimento para su utilización en grandes instalaciones. Actualmente existen turbinas de este tipo, hasta 6 MW de potencia útil (Romero et al., 2020).

Grupo 2: Turbinas de Reacción. Las turbinas de reacción se accionan a través de la presión que el líquido ejerce sobre los álabes. Esta presión decrece desde el borde de ataque hasta la salida del alabe. En este tipo de turbinas, el rotor aprovecha la presión con la que el agua sale de los álabes. Esto hace que el agua, al salir del rotor o hélice, tenga una presión por debajo de la atmosférica. Las turbinas de reacción que se suelen instalar son las Francis y las Kaplan.

Turbinas Francis: Fue desarrollada en 1848 por el ingeniero angloamericano James B. Francis. Se trata de una turbina de reacción de flujo interno que combina conceptos tanto de flujo radial como de flujo axial. Las turbinas Francis son turbinas hidráulicas que se pueden aplicar en un amplio rango de saltos y caudales, siendo capaces de operar en rangos de desnivel que van de los 10 m hasta varios cientos de metros. La versatilidad inherente a esta turbina, así como su alto rendimiento, hace que esta tipología de turbina de reacción sea el más utilizado a nivel mundial.

Turbinas Kaplan: Fue desarrollada en 1913 gracias al profesor austriaco Viktor Kaplan, siguiendo el principio de las hélices de un barco. Las turbinas Kaplan son turbinas de agua de reacción de flujo axial, se emplean en saltos de pequeña altura. Las amplias palas o álabes de la turbina son impulsadas por agua a alta presión que se conduce a través de una compuerta. Los álabes del rodete y de los distribuidores son regulables en las turbinas Kaplan; en el caso de que solamente se puedan regular los del rodete, la turbina será una turbina semi-Kaplan. Las turbinas Kaplan se regulan a través de un distribuidor regulable que permite obtener un mayor rango de funcionamiento, con mejores rendimientos. Su coste es también más elevado. Se deberán analizar las características del salto para cuantificar si es rentable su instalación (Ceupe Magazine, s.f.).

1.4.2.2 Generador. Es un dispositivo eléctrico rotativa que transforma energía mecánica en energía eléctrica. Según la ley de Faraday, cuando giramos una bobina en el interior de un campo magnético, el flujo de este cambia, lo que genera una corriente eléctrica. Lo consigue

gracias a la interacción de sus componentes principales: el rotor (parte giratoria) y el estátor (parte estática). Cuando el generador se encuentra en funcionamiento, una de las partes genera flujo magnético actuando como inductor, mientras que la otra parte lo convierte en energía eléctrica actuando como inducido (Grupo Ferre-Max , 2021).

Estas máquinas están compuestas por tres partes fundamentales:

- *Rotor:* Es la parte móvil accionada por el motor.
- *Estator:* Es la parte estática en la que gira el motor en su interior.
- *Motor de accionamiento:* Según el tipo de energía que genere el movimiento, su diseño varía, pero puede ser una turbina, un motor de combustión interna, u otro.

Existen dos tipos de generadores eléctricos, se dividen según el tipo de corriente que producen:

Alternadores: Generan corriente alterna. El elemento inductivo es el rotor y la armadura es el estator. Un ejemplo de este tipo son los generadores de las centrales eléctricas.

Dínamos: Generan corriente continua. El elemento inductivo es el estator y la armadura es el rotor. Como ejemplo de dínamo, podemos encontrar el generador de luz que tienen las bicicletas, los cuales funcionan mediante el movimiento de la cadena al pedalear, o también en los generadores eólicos que actúan mediante el movimiento de las aspas ejercido por el viento.

Baterías. Se denomina batería, batería eléctrica, acumulador eléctrico o simplemente acumulador, al dispositivo que almacena energía eléctrica, usando procedimientos electroquímicos y que posteriormente la devuelve casi en su totalidad; este ciclo puede repetirse por un determinado número de veces. Se trata de un generador eléctrico secundario; es decir, un generador que no puede funcionar sin que se le haya suministrado electricidad previamente mediante lo que se denomina proceso de carga.

Tipos de baterías. Existen varios tipos de baterías en el mercado, pero las más comerciales y usadas son las siguientes:

- Baterías de Plomo-Ácido
- Baterías Secas
- Baterías de iones de Litio (Li-ion)
- Baterías de Polímero de Litio (LiPo)

Sistema o Red de iluminación. Un sistema o red de iluminación es un conjunto de elementos, que se diseña para proporcionar una visibilidad clara y los aspectos estéticos requeridos en un espacio y actividades definidas. Esto se realiza seleccionando las mejores luminarias y lámparas que proporcionan el nivel de iluminación adecuado para cada tarea y se minimicen efectos de brillo directo y reflejado buscando en todos los casos optimizar el uso de energía y reducir el costo operativo.

¿Qué es un Sistema de Medición?

Los sistemas de medición son una herramienta muy útil para mejorar los procesos y servicios en las empresas. No obstante, si están mal planteados pueden ser innecesariamente complejos y robarte tiempo y recursos en ámbitos económicos, haciéndote más difícil el camino de la mejora continua (Pizzo, 2015).

Lamentablemente, a veces con el deseo de querer crear un buen sistema de medición, se puede caer en el error de agregar demasiados indicadores, e interminables procesos para obtener una cantidad de datos, que terminan siendo un obstáculo hacia la meta inicial

¿Cuál es el objetivo de un proceso de medición?

Es optimizar los procesos, producción y/o servicios, ya que es muy importante evaluar constantemente el resultado del comportamiento de cualquier sistema.

Esto incluye hacerse las siguientes preguntas, para un mejor análisis en la recolección de datos:

- ¿El servicio que se ofrecerá satisface las necesidades de los clientes?

- ¿En qué aspectos sí y en cuáles no?
- ¿Qué efecto producen las acciones de mejora, que se pueden implementar?

Esta es la información básica que se debe tener en cuenta para un sistema de medición en la mejora de una prestación de un servicio.

Hay tres atributos principales que convierten a un sistema de medición en una herramienta útil y práctica. Entre ellos tenemos los siguientes aspectos:

1. Tener ciclos cortos de recopilación y procesamiento de información. Es importante mantener breves los ciclos de medición para que la información no quede obsoleta.
2. Los indicadores deben estar definidos para medir los objetivos o variables
3. Diseñar el sistema de medición para recibir y visualizar la información (Pizzo, 2015).

Norma RETIE. (Reglamento técnico de instalaciones eléctricas) es un documento técnico-legal para Colombia expedido por el ministerio de Minas y energía. En el podemos encontrar los parámetros más importantes que deben ser tenidos en cuenta al momento de diseñar, construir, mantener y modificar una instalación eléctrica en Colombia de la manera más segura posible (Algunos le conocen como normas de electricidad en Colombia), si bien esta norma RETIE no se trata de una guía de diseño eléctrico, ya que esta labor debe ser llevada a cabo por personal competente que ponga en práctica los cálculos e ingeniería necesaria según lo establecido en el, es importante tener en cuenta que este es de “Obligatorio” cumplimiento en este país (Castañeda, 2020).

¿Para qué sirve el reglamento Retie?

Este reglamento busca garantizar que las instalaciones, equipos y productos usados en la generación, transmisión, transformación, distribución y uso final de la energía eléctrica, cumplan con los siguientes objetivos legítimos:

- La protección de la vida y la salud humana.

- La protección de la vida animal y vegetal.
- La preservación del medio ambiente.
- La prevención de prácticas que puedan inducir a error al usuario.

¿A que instalaciones se aplica el Retie?

El reglamento debe ser aplicado a toda nueva instalación, ampliación o remodelación, en los procesos de Generación, Trasmisión, Transformación, Distribución y Utilización de la energía eléctrica. Para efectos de este reglamento, se consideran como instalaciones eléctricas los circuitos eléctricos con sus componentes, tales como, conductores, equipos, máquinas y aparatos que conforman un sistema eléctrico y que se utilizan para la generación, transmisión, transformación, distribución o uso final de la energía eléctrica; sean públicas o privadas y estén dentro de los límites de tensión y frecuencia aquí establecidos, es decir, tensión nominal mayor o igual a 24 V en corriente continua (C.C.) o más de 25 V en corriente alterna (C.A.) con frecuencia de servicio nominal inferior a 1000 Hz.

1.4.3 Marco contextual

Acuimayo, es una empresa ubicada geográficamente en el municipio de Sibundoy, departamento del Putumayo, Colombia, además se dedica a la piscicultura del cultivo de la trucha, en donde la estructura principal del negocio radica en el abastecimiento del restaurante propio, a través de su cadena de producción y distribución de la trucha a nivel regional, entre el departamento del Putumayo y Nariño. En la empresa Acuimayo, cuenta en sus instalaciones con una infraestructura de caudales de manera artificial para la oxigenación del agua, diversificando el desarrollo del proceso productivo piscícola y además cuentan con un permiso de uso responsable del agua, mediante la captación en el río San Pedro con un caudal de 0.23 m³s. La ubicación de la infraestructura de la bocatoma y de los filtros, están dentro de la planta acuícola permitiendo mantener este caudal relativamente constante, durante todas las épocas del año (ver Tabla 1).

Tabla 1*Medidas realizadas en las fuentes hídricas en la empresa Acuimayo*

| <i>Desde orilla (m)</i> | <i>Profundidad (m)</i> | <i>% profundidad</i> | <i>Profundidad mediada (m)</i> | <i>Velocidad lineal (m/s)</i> | <i>Velocidad promedio</i> | Δx | <i>Área m²</i> | <i>Caudal (m³/s)</i> |
|-------------------------|------------------------|----------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------|---------------------------|---------------------------------|
| 0,00 | 0,52 | 20 | 0,104 | - | - | 0,00 | | |
| | 0,52 | 80 | 0,416 | - | - | | | |
| 0,20 | 0,54 | 20 | 0,108 | 0,4 | 0,5 | 0,23 | 0,1125 | 0,03 |
| | 0,54 | 80 | 0,432 | 0,6 | | | | |
| 0,45 | 0,58 | 20 | 0,116 | 1,2 | 1 | 0,24 | 0,235 | 0,06 |
| | 0,58 | 80 | 0,464 | 0,8 | | | | |
| 0,67 | 0,57 | 20 | 0,114 | 1,2 | 1,05 | 0,23 | 0,23625 | 0,05 |
| | 0,57 | 80 | 0,456 | 0,9 | | | | |
| 0,90 | 0,50 | 20 | 0,1 | 1,1 | 1 | 0,10 | 0,10 | 0,1 |
| | 0,50 | 80 | 0,4 | 0,9 | | | | |
| | | | | | | | <i>Total</i> | <i>0,23</i> |

Fuente: Proyecto de Investigación Científica Profesoral.

El municipio de Sibundoy, se encuentra localizado aproximadamente a 80 km al occidente de la capital putumayense (Mocoa), sobre territorios boscosos húmedos, cuyo relieve pertenece a la vertiente oriental de la cordillera de Los Andes, considerando que en esta parte de esta región andina se encuentra un cerro llamado Juanoy. Otro de los atractivos de esta localidad, es su topografía, ya que puede ofrecer una buena adaptabilidad en la agricultura, ganadería, entre otras actividades, gracias a su variabilidad en pisos térmicos, siendo el más dominante en este caso, el frío en el Valle de Sibundoy, Putumayo.

1.5 Marco metodológico

1.5.1 Línea de investigación

En Ingeniería Mecatrónica se tienen 3 líneas de investigación: Electrónica, Automatización y Control, Desarrollo de Procesos Productivos y Bioingeniería. El presente proyecto se clasifica en

la línea 1, Electrónica, Automatización y Control, ya que nos va permitir abordar aspectos técnicos relacionados con sistemas o mecanismos mecánicos y electrónicos combinados con la parte de IoT a través de un sistema de monitoreo en donde se realizara una base de datos, centrándonos también en la parte del área de automatización y control de variables, posibilitando así algunos análisis para de esta manera observar el comportamiento y el funcionamiento del sistema, para luego tomar decisiones que pueden ser útiles y precisas, para el procesamiento y almacenamiento de la información.

1.5.2 Tipo de investigación

Este proyecto se centra en el campo de estudio dándole un enfoque hacia el área de la ingeniería, en donde se radica en el área experimental cuantitativa, ya que aborda elementos científicos y físicos fundamentales, como es el control, regulación y la observación. Donde se manipularán variables de forma más detallada, dinámica y experimental en el control de procedimientos estadísticos con el fin de relacionar la potencia con el consumo energético del sistema. Uno de los objetivos fundamentales es el diseño de una turbina adecuada para el sistema hidroeléctrico, ya que va a determinar una existencia significativa frente a otras turbinas.

1.5.3 Descripción metodológica

1.5.3.1 Fase N° 1. Construir un prototipo mecánico de turbina hidroeléctrica que se ajuste a las condiciones del caudal presente.

Para esta fase, las actividades que se pretende desarrollar con el fin de obtener lo requerido, son las siguientes:

Actividad de Consulta

- Revisión y Consulta de Documentación Bibliográfica
- ¿Qué es una turbina? (Partes de una turbina)
- Tipos de Turbinas, (Usos y Características)

- Aplicaciones y Beneficios de las Turbinas
- Ventajas y Desventajas de las Turbinas

Acompañamiento y Apoyo de Asesoría

- Visita de reconocimiento del Área de Trabajo en la empresa
- Comparar y Evaluar los tipos de turbinas
- Identificar y Seleccionar la turbina, más adecuada para el sistema hidroeléctrico
- Análisis y Mediciones, para el diseño de la turbina seleccionada
- Utilización de software de diseño y dibujo técnico, para la Simulación en 3D de la turbina
- Cotizar los costos y gastos, de la turbina que se va a elaborar
- Construcción de la turbina (Físico)
- Elaboración de los Planos de la turbina

Para esta fase, se va a estimar un tiempo de 5 a 7 meses aproximadamente, considerando que el éxito para este proyecto, será la selección adecuada de la turbina, por lo tanto, esa sería la estimación del tiempo, para el desarrollo de esta fase inicial.

1.5.3.2 Fase N° 2. Construir el sistema de intercambio de energía mecánica a eléctrica

Para esta fase 2, las actividades que se pretende desarrollar con el fin de obtener lo requerido, son las siguientes:

Actividad de Consulta

- Conceptos técnicos en relación a la parte eléctrica de componentes
- Listado y cotización de los materiales eléctricos y electrónicos

Acompañamiento y Apoyo de Asesoría

- Realización del esquema eléctrico del sistema

- Construcción del sistema de intercambio de energía mecánica a eléctrica.

Actividad de Seguimiento, Fase 2

- Acoplar el sistema eléctrico al prototipo mecánico de la turbina

Para esta fase, se va a estimar un tiempo de 5 a 7 meses aproximadamente, estará sujeto a cambios, pero considerando cada parámetro que se va a desarrollar, ese es el tiempo más adecuado para la realización de la fase 2.

1.5.3.3 Fase N° 3. Validar el prototipo mediante la puesta en marcha del mismo y el análisis de energía producida.

Para esta fase 3, las actividades que se pretende desarrollar con el fin de obtener lo requerido, son las siguientes:

Actividad de Consulta

- Visitas a la empresa Acuimayo, Sibundoy, Putumayo.

Acompañamiento y Apoyo de Asesoría

- Verificar y Testear las conexiones eléctricas para ensayos de prueba
- Realización del esquema general eléctrico
- Revisión y Vinculación de los sistemas
- Instalación del Sistema Hidroeléctrico en la Empresa

Actividad de Seguimiento, Fase 3

- Verificación del desarrollo de la Fase 1 y 2.
- Entrega Final del montaje en funcionamiento.

Para la realización de esta fase final, no se va a estimar un tiempo aproximado, ya que dependerá del progreso que se va obteniendo en el transcurso del desarrollo de las anteriores fases, pero se estima una duración a 18 meses, como un tiempo máximo para la entrega de este proyecto, pero estará sujeto a cambios.

2. Presentación de resultados

2.1 Resultados de acuerdo a los objetivos

2.1.1 Resultado del primer objetivo

En cualquier proyecto, es fundamental realizar una visita y un reconocimiento visual del área de trabajo donde se llevará a cabo. Esto resulta especialmente relevante en el manejo de fuentes hídricas, ya que las condiciones climáticas y territoriales juegan un papel crucial. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo una inspección del sitio y realizar estudios de caudal para garantizar la viabilidad del proyecto.

2.1.1.1 Reconocimiento del Área de Trabajo en la empresa.

Figura 2

Piscícola Acuimayo.



Nota: Visita a la empresa Acuimayo ubicada en el municipio de Sibundoy, departamento del Putumayo.

Se llevó a cabo un estudio en varios puntos de referencia para medir el caudal de agua, donde se evaluó su capacidad máxima. Este análisis es fundamental para asegurar la efectividad del proyecto en términos de funcionalidad y el manejo continuo de la turbina, ajustándose a las necesidades de movimiento y fuerza durante su implementación. Se incluye un informe de la práctica de laboratorio que detalla los puntos de referencia utilizados en la medición del caudal (ver anexo A).

Figura 3

Práctica de Laboratorio.



Nota: Se realiza la respectiva medición de caudales en Acuímayo, departamento del Putumayo.

Figura 4

Lugares de medición.

✓ **Práctica: Medición de Caudales**

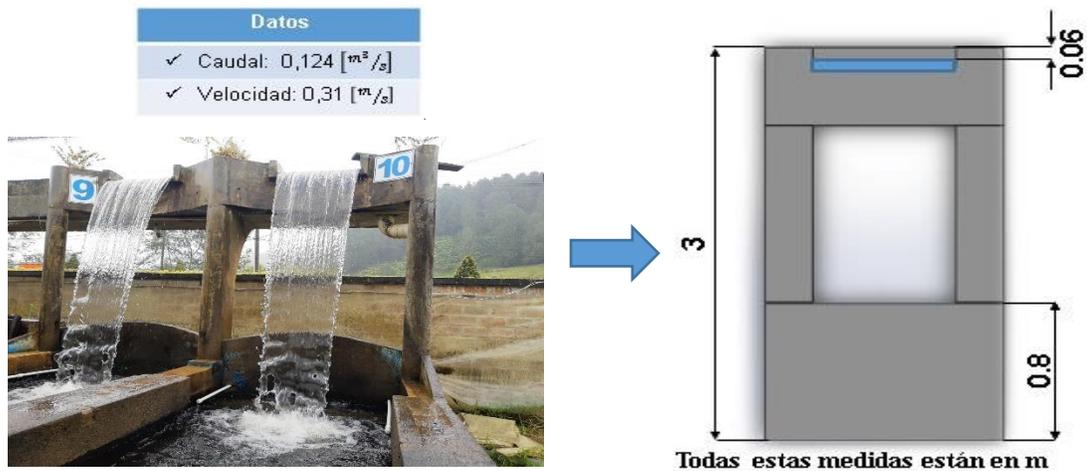
| Lugar de Medición | Caudal |
|---------------------------|---------------------------|
| 1. Canal Principal | 0,089 [m ³ /s] |
| 2. Caídas Artificiales | 0,124 [m ³ /s] |
| 3. Salida del Desarenador | 0,153 [m ³ /s] |
| 4. Bocatoma del Río | 0,467 [m ³ /s] |

Nota: De acuerdo con los datos obtenidos en la práctica de laboratorio de medición de caudales, se calculó el caudal en cada punto de referencia.

Se determinó que el sitio más adecuado para el proyecto en la empresa Acuímayo es la cascada artificial N°10, ubicada en la sección de caídas artificiales. Este lugar se considera el más viable debido a su posición privilegiada y facilidad de instalación, además de contar con un caudal constante (ver figura 5).

Figura 5

Sección caídas artificiales, cascada N°10.



Nota: La imagen presenta datos relevantes sobre el caudal (0.124 m³/s) y la velocidad del flujo de agua (0.31 m/s) en el sitio seleccionado para el proyecto de la empresa Acuímayo.

Una vez definido el lugar, el siguiente paso es realizar mediciones adicionales, como las dimensiones del tanque del cultivo de trucha y determinar la altura de la cascada artificial. Estos datos fueron fundamentales para el diseño de la turbina hidráulica.

- Calcular altura de la caída del agua

Fórmula:

$$H = h_2 - h_1$$
$$H = (3 - 0.06) - 0.8$$
$$H = 2.94 - 0.8$$
$$H = 2.14 [m]$$

A partir del cálculo realizado anteriormente, se determinó que la altura de la caída de agua de la cascada artificial es de 2.14 metros.

- Dimensionamiento de la turbina hidráulica

Para determinar las dimensiones de la turbina hidráulica, se aplicaron las siguientes fórmulas.

Fórmula radio hidráulico

$$R_h = \frac{b \cdot h}{b + 2h}$$

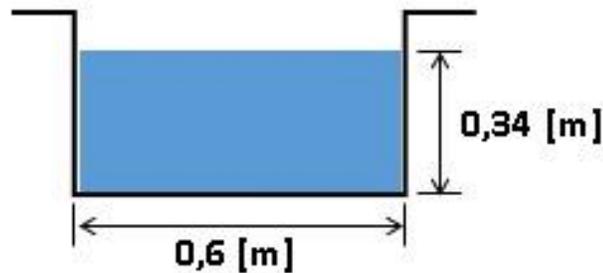
Fórmula diámetro hidráulico

$$D_h = 4 \cdot R_h = 4 \left(\frac{b \cdot h}{b + 2h} \right)$$

Figura 6

Dimensiones de la Sección Mojada de la Cascada.

- **Área Mojada**



Nota: El diagrama presenta la sección transversal de una cascada, detallando su área mojada con dimensiones precisas de 0.6 metros de ancho por 0.34 metros de altura. Esta información geométrica resulta fundamental para el diseño y cálculo de una turbina hidráulica.

- Calcular el diámetro hidráulico de la turbina.

$$D_h = 4 \left(\frac{b \cdot h}{b + 2h} \right)$$

$$D_h = 4 \left(\frac{(0.6)(0.34)}{0.6 + 2(0.34)} \right)$$

$$D_h = 0.64 \text{ m} = 64 \text{ cm}$$

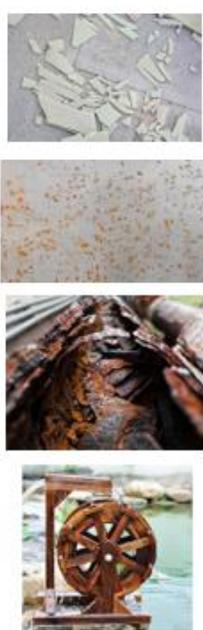
Los cálculos previos permitieron establecer con precisión que la turbina hidráulica posee una dimensión total de 64 centímetros.

Para determinar los materiales más adecuados en la fabricación de la turbina hidráulica, se elaboró una tabla comparativa que evaluó en criterio de ventajas y desventajas de cada uno de los materiales. Este análisis permitió seleccionar la mejor opción para su aplicación específica, considerando diversos aspectos técnicos y funcionales.

Figura 7

Comparación de los materiales

| Materiales | Ventajas | Desventajas |
|-------------------|---|---|
| Plástico | - Menor peso - Resistencia a la corrosión | - Menor resistencia estructural |
| Láminas de acero | - Resistencia estructural | - Susceptibilidad a la corrosión. (Contaminación al agua) - Peso |
| Láminas de hierro | - Resistencia estructural | - Oxidación rápida. (Contaminación al agua) - Fragilidad - Peso |
| Madera | - Resistencia estructural - Libre de corrosión | - Susceptibilidad a humedad - Peso |



Nota: En la tabla se presentan las diversas alternativas de materiales evaluados, destacando la

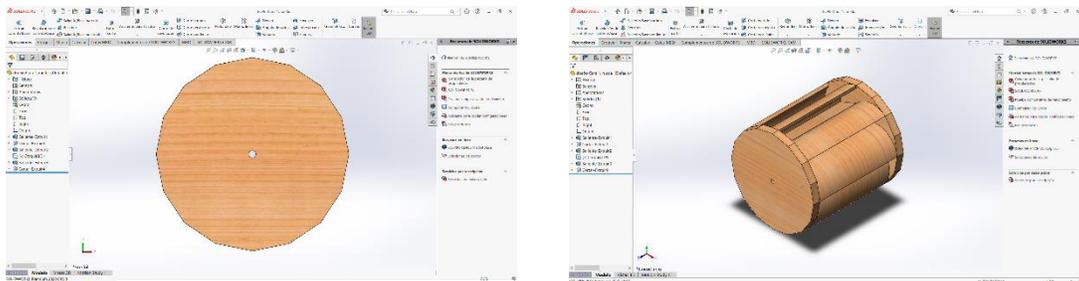
selección de la madera como material principal. Esta elección se fundamentó en sus características como material sostenible y su versatilidad para la fabricación de la turbina hidráulica, además de sus beneficios ambientales y técnicos.

La madera fue seleccionada como materia prima para la fabricación de la turbina hidráulica, superando sus aparentes limitaciones iniciales. A diferencia de otros materiales, sus potenciales desventajas se transformaron en ventajas competitivas. Mediante un proceso de impermeabilización, se redujo significativamente su susceptibilidad a la humedad, aumentando su durabilidad. Adicionalmente, su peso se convirtió en un factor estratégico, permitiendo un movimiento más continuo al interactuar con el flujo de agua.

2.1.1.2 Avances del Proyecto. Con base en la inspección del terreno y el análisis del caudal hídrico, se realizó el diseño en 3D de la turbina. Este proceso consideró las medidas del punto de referencia y las dimensiones especificadas en el estudio, lo que permitió calcular el tamaño total de la turbina.

Figura 8

Turbina Hidráulica



Nota: Diseño en 3D de la turbina hidroeléctrica. Fuente: Propia.

Durante la fabricación de la turbina, se verificaron las medidas para incorporarlas en el diseño. Para ello, se utilizó madera fina y duradera, adecuada para el contacto directo con el agua y capaz de resistir su exposición.

Figura 9

Fabricación de la Turbina Hidráulica



Nota: Se ejecuta el proceso de elaboración de la turbina utilizando como materia prima madera fina tratada, teniendo en cuenta el plano en 3D y los cálculos de dimensión.

Figura 10

Proceso de Fabricación

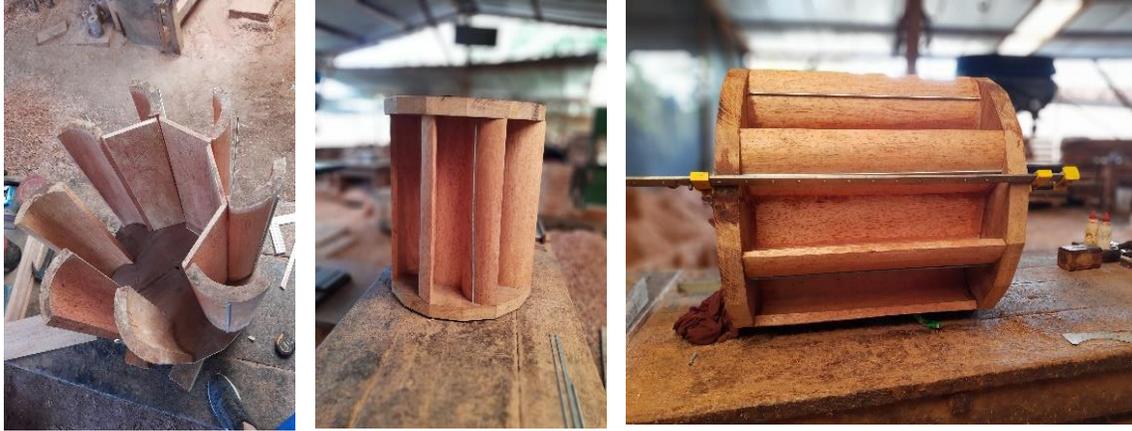


Nota: Continuando con el proceso de fabricación de la turbina se elabora y se da forma a los álabes que son parte de la turbina.

Además, se aplicó un proceso especial de sellado de capas e impermeabilización asfáltica para prevenir filtraciones y asegurar la durabilidad del material ante la constante exposición al agua. Es importante destacar que todo el proceso de fabricación de la turbina hidráulica, se realizó de manera artesanal, basándose en un prototipo en 3D.

Figura 11

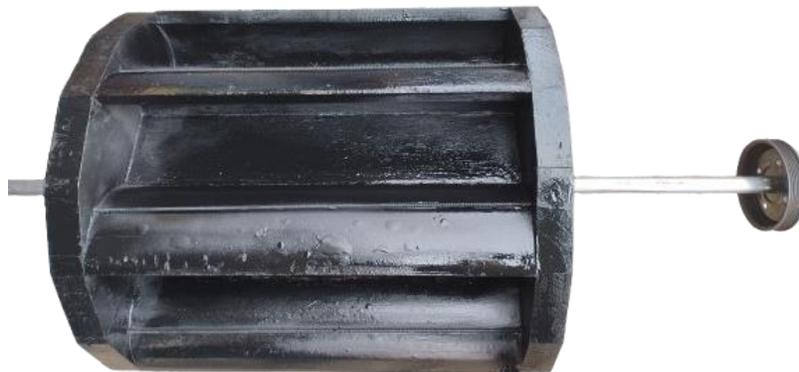
Ensamblaje (Turbina Hidráulica)



Nota: Se continua el proceso con el ensamble de las partes de la turbina hidráulica, álabes y bases.

Figura 12

Proceso de Impermeabilización: Turbina Hidráulica



Nota: Una vez terminado el proceso de fabricación de la turbina inmediatamente se procede a la impermeabilización con emulsión asfáltica, luego se centra el eje principal y mediante soldadura se fija la polea de la turbina.

2.1.2 Resultado del segundo objetivo

A través de la elaboración de un diseño 3D, se logró optimizar los costos de construcción,

obteniendo un plano detallado para implementar el sistema mecánico de la turbina de manera eficiente.

Para la instalación de la turbina, se tuvo en cuenta el funcionamiento del sistema mecánico, evaluando el tamaño y la capacidad en relación con la exposición al agua, así como el caudal y su caída. Se colocaron soportes chumaceras para garantizar el posicionamiento correcto de la turbina, de modo que la fuerza del caudal impulse el movimiento del eje principal. Este eje está vinculado a un generador eléctrico a través de poleas, lo que permite que toda la energía generada se almacene en una batería, asegurando así que el sistema opere de manera autónoma.

2.1.2.1 Diseño en 3D del sistema mecánico.

Figura 13

Diseño CAD del sistema de acoplamiento mecánico



Nota: Una vez diseñadas todas las piezas del sistema en 3D se realiza el acoplamiento de cada parte del sistema mecánico del proyecto. De esta manera se visualiza el posicionamiento de la turbina junto con sus soportes.

2.1.2.2 Implementación del sistema mecánico

Figura 14

Avances en el sistema de acoplamiento mecánico (turbina hidráulica)



Nota: Luego de realizar todo el sistema mecánico del proyecto en 3D se lleva a cabo la implementación en el lugar de trabajo adecuado para el proyecto, una vez cotizado y realizada la compra de los materiales para su ejecución.

Figura 15

Avances en el sistema de acoplamiento mecánico (soldadura)



Nota: Dentro de la implementación del proyecto se utilizó el proceso de soldadura para fijar y unir partes principales del sistema mecánico.

2.1.2.3 Implementación del sistema de intercambio de energía mecánica a eléctrica.

Figura 16

Implementación del sistema de intercambio de energía



Nota: Teniendo como base la implementación del sistema mecánico se continúa con la instalación del motor seguido del controlador y batería como apoyo al sistema eléctrico.

2.1.3 Resultado del tercer objetivo

Con la instalación de la turbina, se llevó a cabo la verificación y validación del funcionamiento de todo el sistema, lo que permitió confirmar su integración con los sistemas eléctrico e hidráulico. Se observó que el tamaño de la turbina era adecuado para el caudal especificado en el estudio previo, lo que resultó en un funcionamiento normal de la turbina y validó la prueba de operación.

El proceso concluyó con la recopilación y análisis de datos, respaldados por registros fotográficos que documentan de manera precisa cada etapa realizada.

2.1.3.1 Resultado final del proyecto

Figura 17

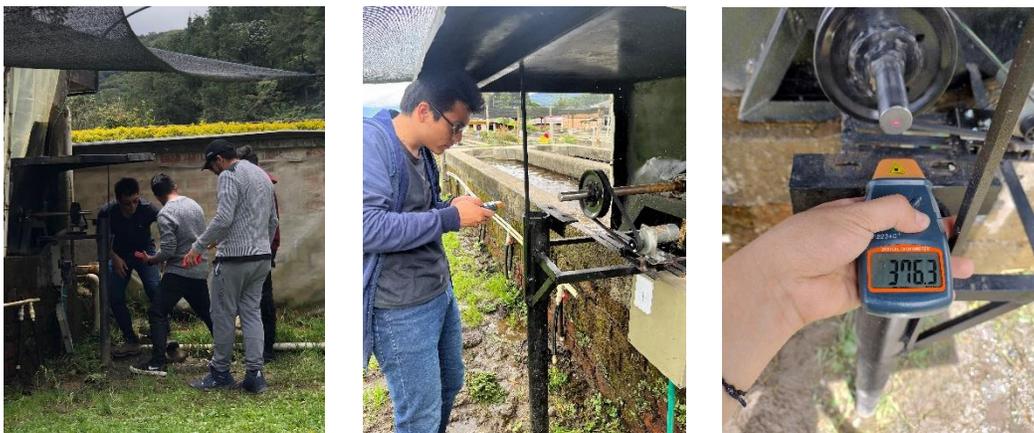
Funcionamiento del proyecto



Nota: Como resultado final se obtiene el desarrollo del sistema hidroeléctrico, validando su funcionamiento hasta la fecha del seguimiento final.

Figura 18

Funcionamiento del proyecto (medición RPM)



Nota: Se evaluó el rendimiento del sistema mediante la medición de revoluciones por minuto (RPM), documentando sistemáticamente los resultados en registros tabulares.

La tabla muestra mediciones de RPM (revoluciones por minuto) de un sistema hidroeléctrico, tomadas cada 10 segundos durante 1 minuto. Se registran los valores de 4 puntos de medición (R1, R3, R2, R4) con su respectiva hora de inicio. También se incluye el promedio de RPM para cada punto.

Tabla 2

Medición de las revoluciones por minuto (RPM)

| Medición N° 1 RPM | | | | |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Tiempo (1min) | R1 | R3 | R2 | R4 |
| 0 | 115,9 | 434,3 | 464,6 | 472,9 |
| 10 | 118,7 | 436 | 472,5 | 468,2 |
| 20 | 120,5 | 505,7 | 4801,9 | 478 |
| 30 | 117,6 | 429,7 | 480,3 | 480,4 |
| 40 | 118,2 | 432,9 | 479,3 | 479 |
| 50 | 116,7 | 513,9 | 498,5 | 471,4 |
| 60 | 118,3 | 410,8 | 479,8 | 477,4 |
| Promedio | | 451,885 | 476,557 | 475,328 |

| Hora de inicio | | | |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|
| 10:21 a. m. | 10:24 a. m. | 10:27 a. m. | 10:29 a. m. |
| R1 | R3 | R2 | R4 |

Nota. La información recopilada durante la Medición N°1 del sistema hidroeléctrico fue registrada.

Tabla 3

Medición de las revoluciones por minuto (RPM)

| Medición N° 2 RPM | | | | |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Tiempo (1min) | R1 | R3 | R2 | R4 |
| 0 | 117,9 | 370,7 | 471,1 | 480,5 |
| 10 | 118,4 | 371,1 | 476,5 | 482,8 |
| 20 | 119 | 373 | 475,7 | 475,2 |

| Medición N° 2 RPM | | | | |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Tiempo (1min) | R1 | R3 | R2 | R4 |
| 30 | 117,2 | 366,9 | 476,2 | 480,5 |
| 40 | 116,1 | 370 | 476,3 | 481,8 |
| 50 | 114,4 | 367,7 | 473,3 | 482,7 |
| 60 | 117,3 | 362,8 | 480,5 | 482,7 |
| Promedio | 117,185 | 368,885 | 475,657 | 480,885 |

| Hora de inicio | | | |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|
| 10:51 a. m. | 10:54 a. m. | 10:56 a. m. | 10:58 a. m. |
| R1 | R3 | R2 | R4 |

Nota. La información recopilada durante la Medición N°2 del sistema hidroeléctrico fue registrada.

Tabla 4

Medición de las revoluciones por minuto (RPM)

| Medición N° 2 RPM | | | | |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Tiempo (1min) | R1 | R3 | R2 | R4 |
| 0 | 115,9 | 494,3 | 464,6 | 472,9 |
| 10 | 118,7 | 436 | 472,5 | 468,2 |
| 20 | 120,5 | 505,7 | 480,9 | 478 |
| 30 | 120,5 | 429,7 | 480,3 | 480,4 |
| 40 | 117,6 | 432,9 | 479,3 | 479 |
| 50 | 118,2 | 513,8 | 498,5 | 471,4 |
| 60 | 116,7 | 410,8 | 479,8 | 477,4 |
| Promedio | 118,3 | 451,885 | 476,557 | 475,328 |

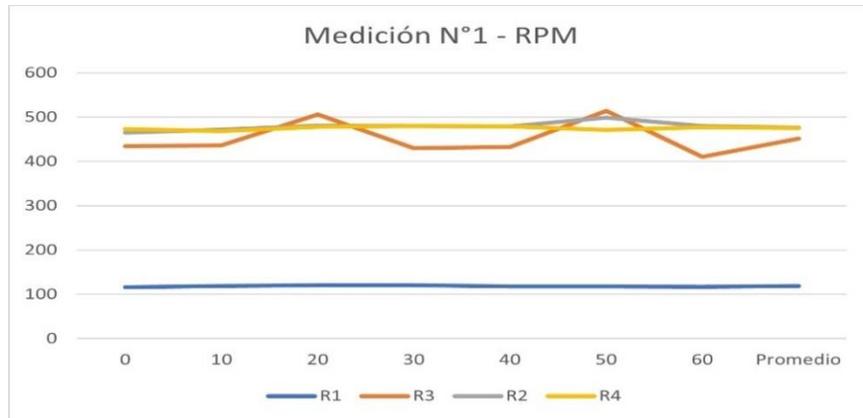
| Hora de inicio | | | |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|
| 11:51 a. m. | 11:53 a. m. | 11:55 a. m. | 11:56 a. m. |
| R1 | R3 | R2 | R4 |

Nota. La información recopilada durante la Medición N°3 del sistema hidroeléctrico fue registrada.

La gráfica visualiza los diferentes valores de RPM a lo largo del tiempo estimado (1min) para los 4 puntos de medición. Donde permite identificar los indicadores en el desempeño del sistema.

Figura 19

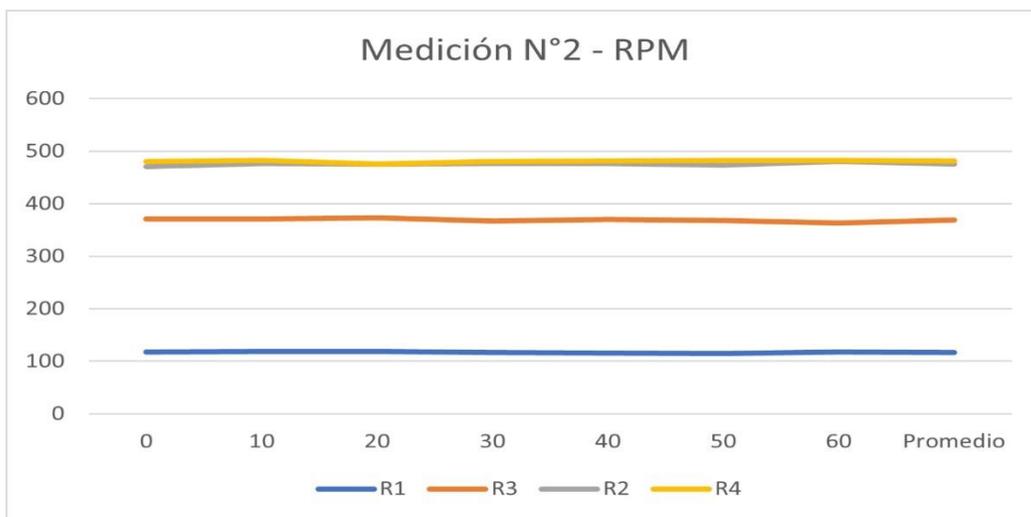
Funcionamiento del proyecto (medición RPM)



Nota. La información de la Tabla 2 se utilizó para generar una gráfica que visualiza el rendimiento del sistema hidroeléctrico durante el período de medición estimado.

Figura 20

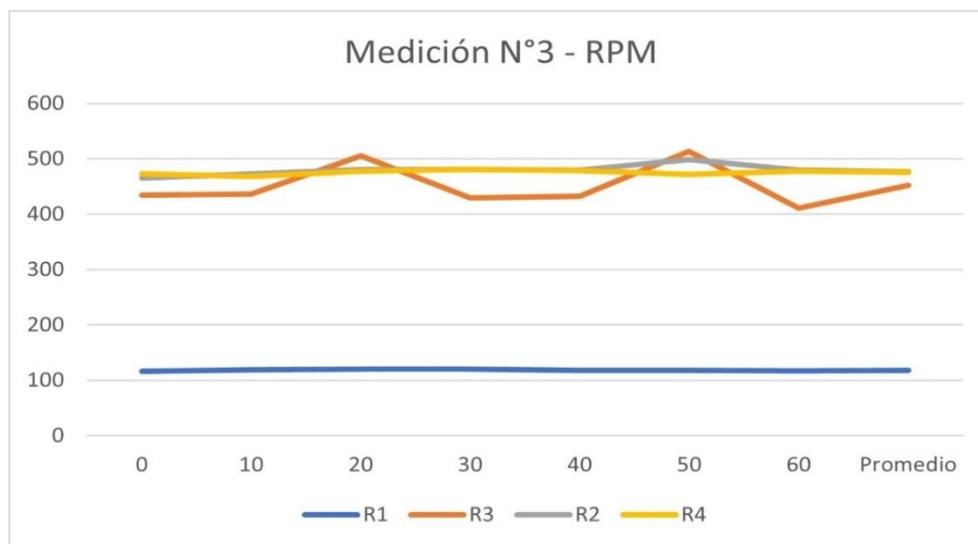
Funcionamiento del proyecto (medición RPM)



Nota. La información de la Tabla 3 se utilizó para generar una gráfica que visualiza el rendimiento del sistema hidroeléctrico durante el período de medición estimado.

Figura 21

Funcionamiento del proyecto (medición RPM)



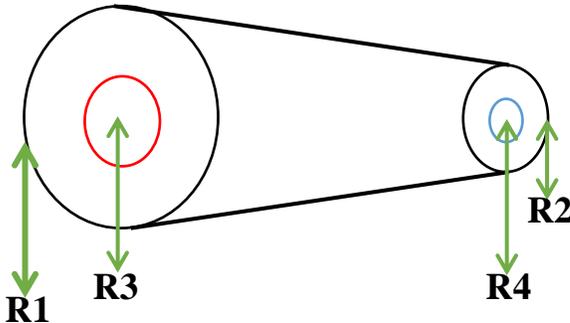
Nota. La información de la Tabla 4 se utilizó para generar una gráfica que visualiza el rendimiento del sistema hidroeléctrico durante el período de medición estimado.

Las tres gráficas muestran el comportamiento de las mediciones de RPM a lo largo del tiempo para diferentes posiciones (R1, R3, R2 y R4). La posición R1 se mantiene más estable a lo largo del tiempo, rondando los 118 RPM. En contraste, las posiciones R3 y R4 presentan mayores fluctuaciones, con picos y caídas más pronunciados, llegando a alcanzar valores por encima de los 500 RPM en algunos momentos. La posición R2 se posiciona en un punto intermedio entre R1 y R3/R4, con menos variaciones que estas últimas. El promedio general de las mediciones se mantiene alrededor de los 450-500 RPM en la primera gráfica, 400-450 RPM en la segunda, y 450 RPM en la tercera.

A través del análisis de estas tres gráficas, se puede observar que la posición R1 y R2 son las más estables en términos de RPM, mientras que las posiciones R3 y R4 presentan una mayor volatilidad, con picos y caídas más pronunciados.

Figura 22

Diagrama de relación RPM



Donde:

- $W_1 R_1 = W_2 R_2$
- $\frac{W_1}{W_2} = \frac{R_1}{R_2}$

Nota. El diagrama muestra la relación entre las revoluciones por minuto (RPM) de las poleas, considerando los radios internos y externos denominados R1, R2, R3 y R4.

Figura 23

Cálculo Promedio Final

- $R_1 = \frac{117,185+118,085+118,300}{3} = 117,856 \text{ rpm}$
- $R_3 = \frac{368,885+382,142+451,885}{3} = 400,970 \text{ rpm}$
- $R_2 = \frac{475,657+475,228+476,557}{3} = 475,814 \text{ rpm}$
- $R_4 = \frac{480,885+479,114+475,328}{3} = 478,442 \text{ rpm}$

Figura 24

Ganancia Práctica

- $\frac{W_2}{W_1} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{475,814 \text{ rpm}}{117,856 \text{ rpm}} = 4,037$

Figura 25

Ganancia Teórica

$$\bullet \frac{W_1}{W_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{14 \text{ cm}}{3,5 \text{ cm}} = 4$$

Los diferentes valores R1, R3, R2 y R4 parecen ser promedios de tres mediciones o cálculos diferentes. Estos valores son 117.856 rpm para R1, 400.970 rpm para R3, 475.814 rpm para R2 y 478.442 rpm para R4. Estas métricas numéricas son indicadores de desempeño en la aplicación del sistema hidroeléctrico.

Adicionalmente, el cálculo incluye dos métricas denominadas "Ganancia Práctica" y "Ganancia Teórica". La "Ganancia Práctica" se calcula como la relación w_s/w_i , donde w_s y w_i son valores no especificados, pero que posiblemente representen alguna medida de eficiencia o rendimiento. El resultado de esta relación es 4.037. Por otro lado, la "Ganancia Teórica" se calcula como w_1/w_2 , donde w_1 y w_2 son otros valores no definidos, pero que probablemente reflejen una relación de rendimiento esperada o teórica. El resultado de esta relación es 4. Estas métricas de "ganancia" son utilizadas para evaluar y comparar el desempeño real versus el desempeño esperado o teórico de un sistema o algún tipo de aplicación de ingeniería.

Figura 26

Funcionamiento del proyecto (medición Voltaje)



30/11/2023



06/04/2024

Nota: Proceso de medición de voltaje en el sistema hidroeléctrico.

Figura 27

Funcionamiento del proyecto (medición Corriente)



Nota: Proceso de medición de corriente en el sistema hidroeléctrico.

Análisis de los datos obtenidos de la medición

- Voltaje: 20,2 V
- Corriente: 5,8 A

Se calculó la potencia del sistema:

Fórmula:

$$P = V \cdot I$$

Donde:

- P (Potencia)
- V (Voltaje)
- I (Corriente)

$$P = (20,2)(5,8)$$

$$P = 117,16 \text{ W}$$

- Se conoce la potencia de cada bombillo LED y es de 9W

Ahora se calculó la capacidad máxima del sistema para determinar cuántos bombillos LED se podían conectar, dividiendo la potencia máxima del sistema entre la potencia de cada bombillo.

$$\text{Numero de bombillos} = \frac{\text{Potencia máxima del sistema}}{\text{Potencia bombillo LED}}$$

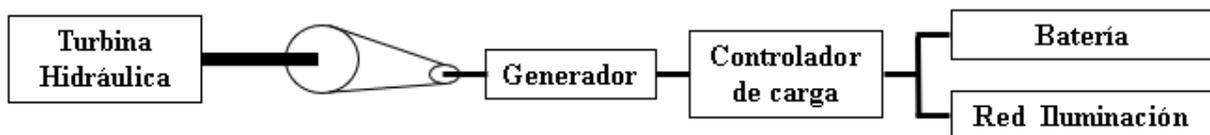
$$\text{Numero de bombillos} = \frac{117,16 \text{ W}}{9 \text{ W}}$$

$$\text{Numero de bombillos} = 13,02$$

Con un voltaje de 20.2V y una corriente máxima de 5.8A, el sistema hidroeléctrico puede soportar aproximadamente 13 bombillos LED de 9W cada uno. Esta capacidad se ha demostrado matemáticamente; aunque la potencia máxima del sistema es de 117.16W, cada bombillo LED consume 9W, lo que permite conectar hasta 13 bombillos sin exceder la capacidad del sistema.

Figura 28

Estructura general del sistema hidroeléctrico



Nota: Este esquema permitió simplificar de forma estructurada todo el sistema hidroeléctrico.

- **Mantenimiento**

El mantenimiento regular es fundamental para garantizar el buen funcionamiento del sistema. Existen dos tipos principales de mantenimiento:

Mantenimiento Preventivo del Sistema hidroeléctrico

- Rutinas de Mantenimiento

- Inspección mensual de los componentes mecánicos y eléctricos.
- Limpieza general del sistema
- Revisión y ajuste de conexiones eléctricas.
- Revisión del estado de la banda (desgaste)
- Verificación del funcionamiento del motor

Mantenimiento Correctivo del Sistema hidroeléctrico

- Rutinas de Mantenimiento
- Reemplazo de piezas defectuosas.
- Realización de ajustes mecánicos y eléctricos según sea necesario.
- Verificación del funcionamiento del motor

3. Conclusiones

La turbina hidroeléctrica diseñada y construida ha demostrado ser una solución efectiva y sostenible para la generación de energía eléctrica en la Empresa Acuimayo, ubicada en Sibundoy, Putumayo. Este proyecto ha cumplido con los objetivos establecidos para el desarrollo de un prototipo mecánico de turbina con fines educativos. Los resultados obtenidos han superado las expectativas iniciales, lo que abre la posibilidad de implementar proyectos similares en otras localidades con recursos hídricos comparables.

Se puede precisar de manera viable la utilización de una nueva materia prima como la fibra de vidrio, siendo una alternativa prometedora para la fabricación de turbina, ofreciendo una combinación de durabilidad, resistencia y eficiencia que supera a la madera. Su capacidad para ser moldeada en formas complejas y su resistencia a los impactos la convierten en un material ideal para aplicaciones en entornos exigentes, lo que genera una menor inversión económica. Además, la reducción del peso y la mejora de la eficiencia energética contribuye a una menor huella de carbono.

A través de esta iniciativa, se ha adquirido un conocimiento con mayor énfasis sobre el diseño, construcción y funcionamiento de la turbina hidroeléctrica. Los desafíos enfrentados durante el proceso han permitido identificar áreas de mejora y desarrollar nuevas habilidades en diseño e implementación. Este proyecto establece una base sólida para futuras investigaciones y desarrollos que se adapten a las condiciones y necesidades específicas de cada sitio.

La implementación de energías renovables permite el buen uso de los recursos naturales aprovechando de la mejor manera la turbina como eje principal para la transformación de la energía mecánica del agua y aprovechando su movimiento se convierte en energía eléctrica a través de un generador eléctrico donde su funcionamiento se debe gracias a la inducción electromagnética, siendo un proceso amigable con el medio ambiente ya que, estas tecnologías no son contaminantes ni transforman los recursos naturales por el contrario, ayudan a mejorar el proceso de oxigenación del agua en los cultivos de trucha con el movimiento continuo del agua, de esta manera logra disminuir la mortalidad de los peces una característica importante para que se logre implementar este sistema en otras empresas cuyo ámbito sea la piscicultura en el departamento del Putumayo.

4. Recomendaciones

Se sugiere llevar a cabo un estudio de factibilidad antes de iniciar el proyecto. Este análisis debe incluir una evaluación de las condiciones del sitio, la disponibilidad de recursos y un examen de los materiales e implementos requeridos. Realizar este estudio asegurará la viabilidad técnica y económica del proyecto, optimizando el uso de los recursos y garantizando la calidad de los resultados finales.

Se recomienda realizar una inspección visual del proyecto cada mes. Además, es fundamental llevar a cabo un mantenimiento regular en el eje para prevenir el desgaste de las chumaceras. Este mantenimiento ayudará a garantizar el funcionamiento de la turbina y prolongará su vida útil, asegurando así la eficiencia del sistema a lo largo del tiempo.

Sería interesante realizar un estudio comparativo en el futuro para evaluar el rendimiento de turbinas fabricadas con fibra de vidrio y madera, sin embargo, debido a limitaciones económicas, no fue posible llevar a cabo esta investigación en el presente proyecto.

Para replicar el proyecto hidroeléctrico realizado en la empresa Acumayo en otros contextos, es fundamental llevar a cabo un estudio de factibilidad, que evalúe las condiciones específicas de cada sitio. La selección de tecnologías hidroeléctricas adecuadas y un diseño en 3D mejorado, considerando criterios de sostenibilidad ambiental, son clave para garantizar la eficiencia energética y minimizar los impactos negativos. La participación activa de las comunidades locales, a través de procesos de consulta y capacitación, no solo promueve la apropiación social del proyecto, sino que también facilita la identificación de soluciones innovadoras, fortaleciendo además la búsqueda de financiamiento, siendo esencial para asegurar la viabilidad económica a largo plazo.

Referencias bibliográficas

- Barrero, G. F. (2004). *Sistemas de Energía Eléctrica*. Paraninfo, SA. <https://miniurl.cl/fuvrf0>
- Bernal Jiménez, J. (2022). *Conjunto hidroeléctrico del río Pámea: análisis de impacto ambiental y económico*. Cartagena, Colombia [tesis maestría, Universidad Politécnica de Cartagena]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.upct.es/server/api/core/bitstreams/8b4a50a0-0996-4527-802c-c5f55afb5917/content>
- Castañeda, F. (2020). *¿Qué es el Retie?, y porque es obligatoria la NTC 2050*. <https://www.retieingenieriaygestion.com/que-es-el-retie/>
- Ceupe Magazine. (s.f.). *Ciencias*. <https://www.ceupe.com/blog/turbinas-hidraulicas.html>
- Enel Green Power. (s.f.). *Energías Renovables*. <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-hidroelectrica/turbina-hidroelectrica>
- Factorenergia. (2021). *La energía hidráulica*. <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-renovable-hidraulica/>
- Grupo Ferre-Max. (2021). *¿Qué es un generador eléctrico y cómo funciona?* <https://distribuidortruper.mx/que-es-un-generador-electrico/>
- Industria Nuclear Española. (s.f.). *Foro Nuclear*. <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-la-energia-hidraulica-y-como-se-aprovecha/>
- Marchegiani A., Audicio, O. y Kurtz V. (2023). *Vista de los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos y la necesidad de especialistas*. <https://autoresjidetev.fio.unam.edu.ar/index.php/jidetev/article/view/315/137>

- Naciones Unidas. (2022). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/es/impacto-acad%C3%A9mico/page/objetivos-de-desarrollo-sostenible>
- Orbe, I. y Yampier, K. (2017). *Efecto de diferentes concentraciones de Sapo Huasca (Cissus verticillata) en el enraizamiento de limón rugoso (Citrus jambhiri L.) Pucallpa-Ucayali*.
- Ortiz Flórez, R. (2011). *Pequeñas Centrales Hidroeléctricas*. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
- Pizzo, M. (2015). *Sistemas de medición: Cómo obtener información de forma eficiente*. <https://www.pdcahome.com/6204/sistemas-de-medicion-como-obtener-informacion-de-forma-eficiente/>
- Romero, F., Velásquez, L. y Chica, E. (2020). Consideraciones de diseño de una turbina Michell-Banki. *Revista UIS Ingenierías*, 23 - 46.
- Zamora Juárez, M. (2023). *Análisis de la eficiencia y diseño de una turbina para la generación de energía hidrieléctrica a superficie libre bajos flujos no estacionarios* [tesis doctoral, Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/24902/1/1080328745.pdf>

Anexos

Dentro de los anexos se incluye los links de videos, planos de diseño, informes de laboratorio, evidencia fotográfica de cada uno de los procesos (Fabricación de la Turbina, Implementación del sistema de intercambio de energía mecánica a eléctrica y montaje final del proyecto).

Anexo A. Informe de Laboratorio (Medición de Caudal)



Universidad
Mariana

Práctica N°1 – Medición de Caudal en Acuimayo
(Sibundoy, departamento del Putumayo)

Ever Mauricio Rodríguez Cuaichar

Universidad Mariana
Facultad de Ingenierías
Programa Ingeniería Mecatrónica
San Juan de Pasto

2022

Práctica N°1 – Medición de Caudal en Acuimayo
(Sibundoy, departamento del Putumayo)

Ever Mauricio Rodriguez Cuaichar

MSc Jairo Andrés Fajardo
Asesor

Álvaro León Ibarra
Tito Manuel Piamba
Coasesores

Universidad Mariana
Facultad de Ingenierías
Programa Ingeniería Mecatrónica
San Juan de Pasto
2022

Contenido

| | | |
|-------|--|---|
| 1. | 57 | |
| 2. | 58 | |
| 2.1 | Procedimiento | 5 |
| 2.2 | Desarrollo de la Práctica | 5 |
| 2.2.1 | Registro de Datos y Cálculos de los Caudales en cada lugar de medición en la empresa Acuimayo, Sibundoy, Putumayo | 8 |

1. Equipos e Insumos

- Molinetes para aforo de caudal:
- Molinete de cazoletas
- Molinete de rotor axial
- Flexómetro
- Botas



Molinete de cazoletas



Molinete de rotor axial



Botas



Flexómetro

Figura No. 1. Equipos para la práctica, Medición de Caudal

2. Metodología

2.1 Procedimiento

✓ *Con la ayuda de los profesores y coasesores del trabajo de grado:*

1. Se identifica los puestos de trabajo, donde se va realizar la medición de caudal de agua y se reconoce los componentes de los equipos a usar en la práctica.
2. Se verifica y se calibra los molinetes antes de ser usados en la práctica.
3. Se procede a realizar las mediciones del caudal en el puesto de trabajo N°1.
4. Antes de realizar las mediciones del caudal, se escogen dos puntos de referencia para medir en distintas profundidades el caudal del puesto de trabajo N°1.
5. Se monta y se ubica el molinete de cazoletas, para empezar a realizar las mediciones en el punto A y B del puesto de trabajo N°1
6. Una vez que el molinete haya terminado su lectura de caudal, los datos e información del punto A y B, deberán ser registrados y anexados a una tabla N°1.
7. Se repite el paso 5 y 6, con ayuda del molinete para las distintas profundidades del canal A en los puntos de referencia A y B.
8. Repita este procedimiento para los puestos de trabajo N°2 y N°3.
9. Registre rápidamente las lecturas del molinete de cazoletas, para completar las tablas.
10. Se finalizará la práctica con un informe y entrega de cálculos para conocer el caudal en cada uno de los lugares de medición.

2.2 Desarrollo de la Práctica



Figura N°2. Reconocimiento del lugar de trabajo y revisión de la guía
(Coasesores, Álvaro Ibarra y Tito Piamba)



Figura N°3. Se reconoce los componentes de los equipos, se verifica y se calibra los molinetes antes de ser usados en la práctica. (Jairo Fajardo (Asesor) y Álvaro León (Coasesor))



Figura N°4. Se procede a realizar las mediciones del caudal, pero antes se escogen los puntos de referencia para medir en distintas profundidades, el caudal del puesto de trabajo N°1.



Figura N°5. Se monta y se ubica el molinete de cazoletas, para empezar a realizar las mediciones en el punto A y B del puesto de trabajo N°1



Figura N°6. Lectura del caudal por parte del molinete, los datos e información del punto A y B, deberán ser registrados y anexados a una tabla N°1.

| <i>N° de Mediciones</i> | <i>Tipo de Profundidad</i> | <i>Revoluciones (rpm)</i> | <i>Velocidad ($\frac{m}{s}$)</i> |
|-------------------------|----------------------------|---------------------------|---|
| 1 | A la mitad | 57 | 0.8 |
| 2 | A la mitad | 57 | 0.963 |
| 3 | A la mitad | 65 | 1.095 |
| 4 | Al fondo | 54 | 0.906 |
| 5 | Superficial | 67 | 1.632 |
| 6 | Limite Superficial | 69 | 1.165 |



Figura N°7. Se repetirán los pasos 5 y 6, con ayuda del molinete para las distintas profundidades del canal A en los puntos de referencia A y B.

1. Repita este procedimiento para los puestos de trabajo N°2 y N°3.
2. Registre rápidamente las lecturas del molinete de cazoletas, para completar las tablas.
3. Se finalizará la práctica con un informe y entrega de cálculos para conocer el caudal en cada uno de los lugares de medición.

2.2.1 Registro de Datos y Cálculos de los Caudales en cada lugar de medición en la empresa Acuimayo, Sibundoy, Putumayo

Datos del Caudal $Q = v * A$

Planta Principal del Sistema de agua

Lugar de Medición: Fuente N°1

| <i>N° de Mediciones</i> | <i>Tipo de Profundidad</i> | <i>Revoluciones (rpm)</i> | <i>Velocidad ($\frac{m}{s}$)</i> |
|-------------------------|----------------------------|---------------------------|---|
| 1 | A la mitad | 57 | 0.8 |
| 2 | A la mitad | 57 | 0.963 |
| 3 | A la mitad | 65 | 1.095 |
| 4 | Al fondo | 54 | 0.906 |
| 5 | Superficial | 67 | 1.632 |
| 6 | Limite Superficial | 69 | 1.165 |

Tabla N°1 – Medición del Caudal Punto A

| <i>Ancho</i> | <i>Altura</i> | <i>Área</i> | |
|--------------|---------------|---------------------|-----------------------|
| 34 cm | 24 cm | 816 cm ² | 0.0816 m ² |

Tabla N°2 – Área del Punto A

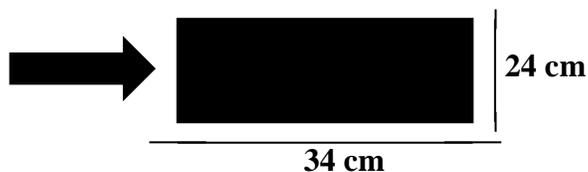


Figura N°8 – Área del Punto A

➤ **Cálculo del caudal: Punto A**

| <i>Área (m²)</i> | <i>Velocidad Promedio ($\frac{m}{s}$)</i> | <i>Caudal ($\frac{m^3}{s}$)</i> |
|-----------------------------|--|--|
| 0.0816 | 1.0935 | 0.0892 |

Tabla N°3 – Caudal del Punto A

Lugar de Medición: Fuente N°1

| <i>N° de Mediciones</i> | <i>Tipo de Profundidad</i> | <i>Revoluciones (rpm)</i> | <i>Velocidad ($\frac{m}{s}$)</i> |
|-------------------------|----------------------------|---------------------------|---|
| 1 | A la mitad | 57 | 0.956 |
| 2 | A la mitad | 52 | 0.873 |
| 3 | A la mitad | 60 | 1.030 |
| 4 | Al fondo | 71 | 1.726 |
| 5 | Superficial | 84 | 1.417 |
| 6 | Limite Superficial | 84 | 1.406 |

Tabla N°4 – Medición del Caudal Punto B

| Ancho | Altura | Área | |
|--------|--------|---------------------|-----------------------|
| 102 cm | 8 cm | 816 cm ² | 0.0816 m ² |

Tabla N°5 – Área del Punto B

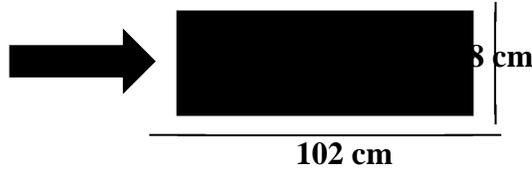


Figura N°9 – Área del Punto B

➤ Cálculo del caudal: Punto B

| Área (m ²) | Velocidad Promedio ($\frac{m}{s}$) | Caudal ($\frac{m^3}{s}$) |
|------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| 0.0816 | 1.2346 | 0.1007 |

Tabla N°6 – Caudal del Punto B

Canal de las Caídas Artificiales

Lugar de Medición: Fuente N°2

| N° de Mediciones | Tipo de Profundidad | Revoluciones (rpm) | Velocidad ($\frac{m}{s}$) | Caudal ($\frac{m^3}{s}$) |
|------------------|---------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 1 | Superficial | Muy bajo | 0.03 | No hay caudal |

Tabla N°7 – Medición del Caudal Canal

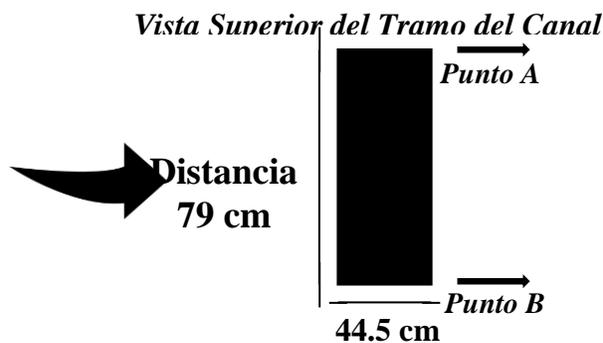


Figura N°10 – Área del Tramo del Canal

| Distancia | Altura | Área |
|-----------|---------|------------------------|
| 79 cm | 44.5 cm | 3515.5 cm ² |

Tabla N°8 – Área del Canal

Vista Frontal de la Caída de agua



Figura N°11 – Área de la Caída de agua

| <i>Ancho</i> | <i>Altura</i> | <i>Área</i> | |
|--------------|---------------|---------------------|----------------------|
| 60 cm | 4 cm | 240 cm ² | 0.024 m ² |

Tabla N°9 – Área del Canal

Observación: Los datos que se obtuvieron fue de la caída artificial de agua N°4 en sentido del trayecto de izquierda a derecha



Figura N°12 – Trayectoria del Canal de la Caída de agua

Desagüe del Sistema de Drenaje

Lugar de Medición: Fuente N°3

| <i>N° de Mediciones</i> | <i>Tipo de Profundidad</i> | <i>Revoluciones (rpm)</i> | <i>Velocidad (m/s)</i> |
|-------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------|
| 1 | Superficial | 101 | 2.456 |
| 2 | A la mitad | 125 | 2.105 |
| 3 | Al fondo | 92 | 1.593 |

Tabla N°10 – Medición del Caudal Punto A

| <i>Ancho</i> | <i>Altura</i> | <i>Área</i> | |
|--------------|---------------|---------------------|----------------------|
| 54 cm | 14 cm | 756 cm ² | 0.075 m ² |

Tabla N°11 – Área del Punto A

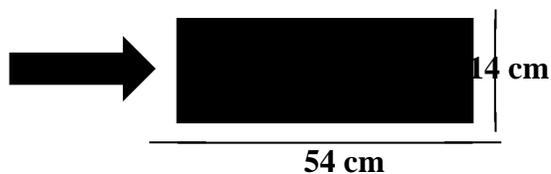


Figura N°13 – Área del Punto A

➤ **Cálculo del caudal: Punto A**

| Área (m ²) | Velocidad Promedio ($\frac{m}{s}$) | Caudal ($\frac{m^3}{s}$) |
|----------------------------------|--|--------------------------------------|
| 0.075 | 2.051 | 0.153 |

Tabla N°12 – Caudal del Punto A

Lugar de Medición: Fuente N°3

| N° de Mediciones | Tipo de Profundidad | Revoluciones (rpm) | Velocidad ($\frac{m}{s}$) |
|-------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| 1 | A la mitad | 62 | 1.044 |
| 2 | A la mitad | 62 | 1.046 |

Tabla N°13 – Medición del Caudal Punto B

| Ancho | Altura | Área | |
|--------------|---------------|----------------------|----------------------|
| 55 cm | 25 cm | 1375 cm ² | 0.137 m ² |

Tabla N°11 – Área del Punto B

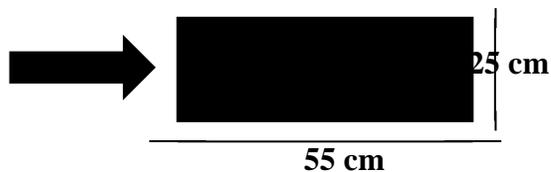


Figura N°14 – Área del Punto B

➤ **Cálculo del caudal: Punto A**

| Área (m ²) | Velocidad Promedio ($\frac{m}{s}$) | Caudal ($\frac{m^3}{s}$) |
|----------------------------------|--|--------------------------------------|
| 0.137 | 1.045 | 0.143 |

Tabla N°14 – Caudal del Punto B



Universidad **Mariana**

Práctica N°2 – Medición de Caudal en Acuimayo
(Sibundoy, departamento del Putumayo)

Ever Mauricio Rodríguez Cuaichar

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

Práctica N°2 – Medición de Caudal en Acuimayo
(Sibundoy, departamento del Putumayo)

Ever Mauricio Rodriguez Cuaichar

MSc Jairo Andrés Fajardo
Asesor

Álvaro León Ibarra
Tito Manuel Piamba
Coasesores

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

Contenido

| | | |
|-------|--|---|
| 1. | 57 | |
| 2. | 58 | |
| 2.1 | Procedimiento | 5 |
| 2.2 | Desarrollo de la Práctica | 5 |
| 2.2.1 | Registro de Datos y Cálculos de los Caudales en cada lugar de medición en la empresa Acuimayo, Sibundoy, Putumayo | 8 |

1. Equipos E Insumos

- Molinetes para aforo de caudal:
- Molinete de cazoletas
- Molinete de rotor axial
- Flexómetro
- Botas



Molinete de cazoletas



Molinete de rotor axial



Botas



Flexómetro

Figura N°1. Equipos para la práctica, Medición de Caudal

2. Metodología

2.1 Procedimiento

✓ *Con la ayuda de los profesores y coasesores del trabajo de grado:*

1. Se identifica los puestos de trabajo, donde se va realizar la medición de caudal de agua y se reconoce los componentes de los equipos a usar en la práctica.
2. Se verifica y se calibra los molinetes antes de ser usados en la práctica.
3. Se procede a realizar las mediciones del caudal en el puesto de trabajo.
4. Antes de realizar las mediciones del caudal, se escogen los puntos de referencia para medir en distintas profundidades el caudal del puesto de trabajo.
5. Se monta y se ubica el molinete de cazoletas, para empezar a realizar las mediciones en los puntos del puesto de trabajo
6. Una vez que el molinete haya terminado su lectura de caudal, los datos e información de los puntos, deberán ser registrados y anexados a una tabla N°1.
7. Se repite el paso 5 y 6, con ayuda del molinete para las distintas profundidades en los puntos de referencia.
8. Se hace el registro rápidamente de las lecturas del molinete de cazoletas, para completar las tablas correspondientes.
9. Se finalizará la práctica con un informe y entrega de cálculos para conocer el caudal en cada uno de los lugares de medición.

2.2 Desarrollo de la Práctica



Figura N°2. Reconocimiento del lugar de trabajo y revisión de la guía
(Coasesores, Álvaro Ibarra y Tito Piamba)



Figura N°3. Se reconoce los componentes de los equipos, se verifica y se calibra los molinetes antes de ser usados en la práctica.
(Jairo Fajardo (Asesor) y Álvaro León (Coasesor))



Figura N°4. Se procede a realizar las mediciones del caudal, pero antes se escogen los puntos de referencia para medir en distintas profundidades, el caudal del puesto de trabajo N°1.



Figura N°5. Se monta y se ubica el molinete de cazoletas, para empezar a realizar las mediciones en el punto A y B del puesto de trabajo N°1



Figura N°6. Lectura del caudal por parte del molinete, los datos e información del punto A y B, deberán ser registrados y anexados a una tabla N°1.

| <i>N° de Mediciones</i> | <i>Tiempo (segundos)</i> | <i>Profundidad Total</i> | <i>Profundidad del Molinete</i> | <i>Revoluciones (rpm)</i> | <i>Velocidad ($\frac{m}{s}$)</i> |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------|---|
| 1 | 40 s | 40 cm | Baja | 26 | 0.438 |
| 2 | | | 14 cm | 31 | 0.768 |
| 3 | | | 20 cm | 26 | 0.438 |
| 4 | | | 16 cm | 29 | 0.480 |

| <i>N° de Mediciones</i> | <i>Tiempo (segundos)</i> | <i>Profundidad Total</i> | <i>Profundidad del Molinete</i> | <i>Revoluciones (rpm)</i> | <i>Velocidad ($\frac{m}{s}$)</i> |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------|---|
| 1 | 40 s | 50 cm | 12 cm | 83 | 1.396 |
| 2 | | | 15 cm | 85 | 1.433 |

Figura N°7. Se repetirán los pasos 5 y 6, con ayuda del molinete para las distintas profundidades del canal A en los puntos de referencia A y B.

1. Repita este procedimiento para los puestos de trabajo N°2 y N°3.
2. Registre rápidamente las lecturas del molinete de cazoletas, para completar las tablas.
3. Se finalizará la práctica con un informe y entrega de cálculos para conocer el caudal en cada uno de los lugares de medición.

2.2.1 Registro de Datos y Cálculos de los Caudales en cada lugar de medición en la empresa Acuímayo, Sibundoy, Putumayo

Datos del Caudal $\square Q = v * A$

Planta Principal del Sistema de agua

Lugar de Medición: Fuente N°1

| <i>N° de Mediciones</i> | <i>Tipo de Profundidad</i> | <i>Revoluciones (rpm)</i> | <i>Velocidad ($\frac{m}{s}$)</i> |
|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--|
| 1 | A la mitad | 57 | 0.8 |
| 2 | A la mitad | 57 | 0.963 |
| 3 | A la mitad | 65 | 1.095 |
| 4 | Al fondo | 54 | 0.906 |
| 5 | Superficial | 67 | 1.632 |
| 6 | Limite Superficial | 69 | 1.165 |

Tabla N°1 – Medición del Caudal Punto A

| <i>Ancho</i> | <i>Altura</i> | <i>Área</i> | |
|---------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|
| 34 cm | 24 cm | 816 cm ² | 0.0816 m ² |

Tabla N°2 – Área del Punto A

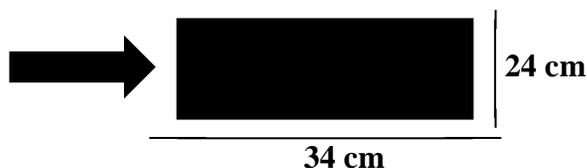


Figura N°8 – Área del Punto A

➤ **Cálculo del caudal: Punto A**

| <i>Área (m²)</i> | <i>Velocidad Promedio ($\frac{m}{s}$)</i> | <i>Caudal ($\frac{m^3}{s}$)</i> |
|------------------------------------|---|---|
| 0.0816 | 1.0935 | 0.0892 |

Tabla N°3 – Caudal del Punto A

Lugar de Medición: Fuente N°1

| <i>N° de Mediciones</i> | <i>Tipo de Profundidad</i> | <i>Revoluciones (rpm)</i> | <i>Velocidad ($\frac{m}{s}$)</i> |
|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--|
| 1 | A la mitad | 57 | 0.956 |
| 2 | A la mitad | 52 | 0.873 |
| 3 | A la mitad | 60 | 1.030 |
| 4 | Al fondo | 71 | 1.726 |
| 5 | Superficial | 84 | 1.417 |
| 6 | Limite Superficial | 84 | 1.406 |

Tabla N°4 – Medición del Caudal Punto B

| <i>Ancho</i> | <i>Altura</i> | <i>Área</i> | |
|--------------|---------------|---------------------|-----------------------|
| 102 cm | 8 cm | 816 cm ² | 0.0816 m ² |

Tabla N°5 – Área del Punto B



Figura N°9 – Área del Punto B

➤ **Cálculo del caudal: Punto B**

| <i>Área</i> (m ²) | <i>Velocidad Promedio</i> ($\frac{m}{s}$) | <i>Caudal</i> ($\frac{m^3}{s}$) |
|----------------------------------|--|--------------------------------------|
| 0.0816 | 1.2346 | 0.1007 |

Tabla N°6 – Caudal del Punto B

Canal de las Caídas Artificiales

Lugar de Medición: Fuente N°2

| <i>N° de Mediciones</i> | <i>Tipo de Profundidad</i> | <i>Revoluciones</i> (rpm) | <i>Velocidad</i> ($\frac{m}{s}$) | <i>Caudal</i> ($\frac{m^3}{s}$) |
|-------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | Superficial | Muy bajo | 0.03 | No hay caudal |

Tabla N°7 – Medición del Caudal Canal

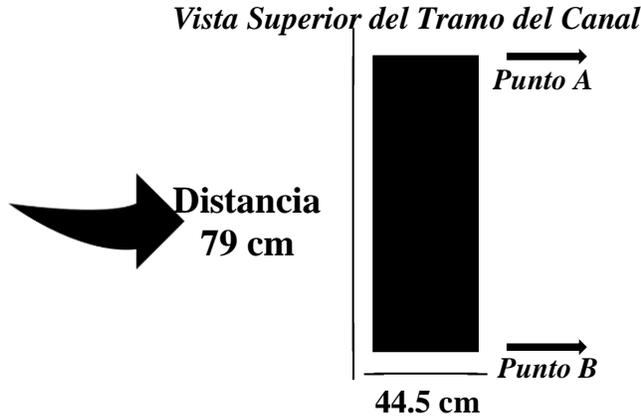


Figura N°10 – Área del Tramo del Canal

| <i>Distancia</i> | <i>Altura</i> | <i>Área</i> |
|------------------|---------------|------------------------|
| 79 cm | 44.5 cm | 3515.5 cm ² |

Tabla N°8 – Área del Canal

Vista Frontal de la Caída de agua

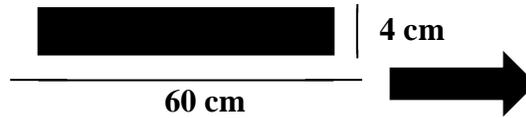


Figura N°11 – Área de la Caída de agua

| <i>Ancho</i> | <i>Altura</i> | <i>Área</i> | |
|--------------|---------------|---------------------|----------------------|
| 60 cm | 4 cm | 240 cm ² | 0.024 m ² |

Tabla N°9 – Área del Canal

Observación: Los datos que se obtuvieron fue de la caída artificial de agua N°4 en sentido del trayecto de izquierda a derecha



Figura N°12 – Trayectoria del Canal de la Caída de agua

Desagüe del Sistema de Drenaje

Lugar de Medición: Fuente N°3

| <i>N° de Mediciones</i> | <i>Tipo de Profundidad</i> | <i>Revoluciones (rpm)</i> | <i>Velocidad ($\frac{m}{s}$)</i> |
|-------------------------|----------------------------|---------------------------|---|
| 1 | Superficial | 101 | 2.456 |
| 2 | A la mitad | 125 | 2.105 |
| 3 | Al fondo | 92 | 1.593 |

Tabla N°10 – Medición del Caudal Punto A

| <i>Ancho</i> | <i>Altura</i> | <i>Área</i> | |
|--------------|---------------|---------------------|----------------------|
| 54 cm | 14 cm | 756 cm ² | 0.075 m ² |

Tabla N°11 – Área del Punto A



Figura N°13 – Área del Punto A

➤ **Cálculo del caudal: Punto A**

| <i>Área (m²)</i> | <i>Velocidad Promedio ($\frac{m}{s}$)</i> | <i>Caudal ($\frac{m^3}{s}$)</i> |
|-----------------------------|--|--|
| 0.075 | 2.051 | 0.153 |

Tabla N°12 – Caudal del Punto A

Lugar de Medición: Fuente N°3

| <i>N° de Mediciones</i> | <i>Tipo de Profundidad</i> | <i>Revoluciones (rpm)</i> | <i>Velocidad ($\frac{m}{s}$)</i> |
|-------------------------|----------------------------|---------------------------|---|
| 1 | A la mitad | 62 | 1.044 |
| 2 | A la mitad | 62 | 1.046 |

Tabla N°13 – Medición del Caudal Punto B

| <i>Ancho</i> | <i>Altura</i> | <i>Área</i> | |
|--------------|---------------|----------------------|----------------------|
| 55 cm | 25 cm | 1375 cm ² | 0.137 m ² |

Tabla N°11 – Área del Punto B



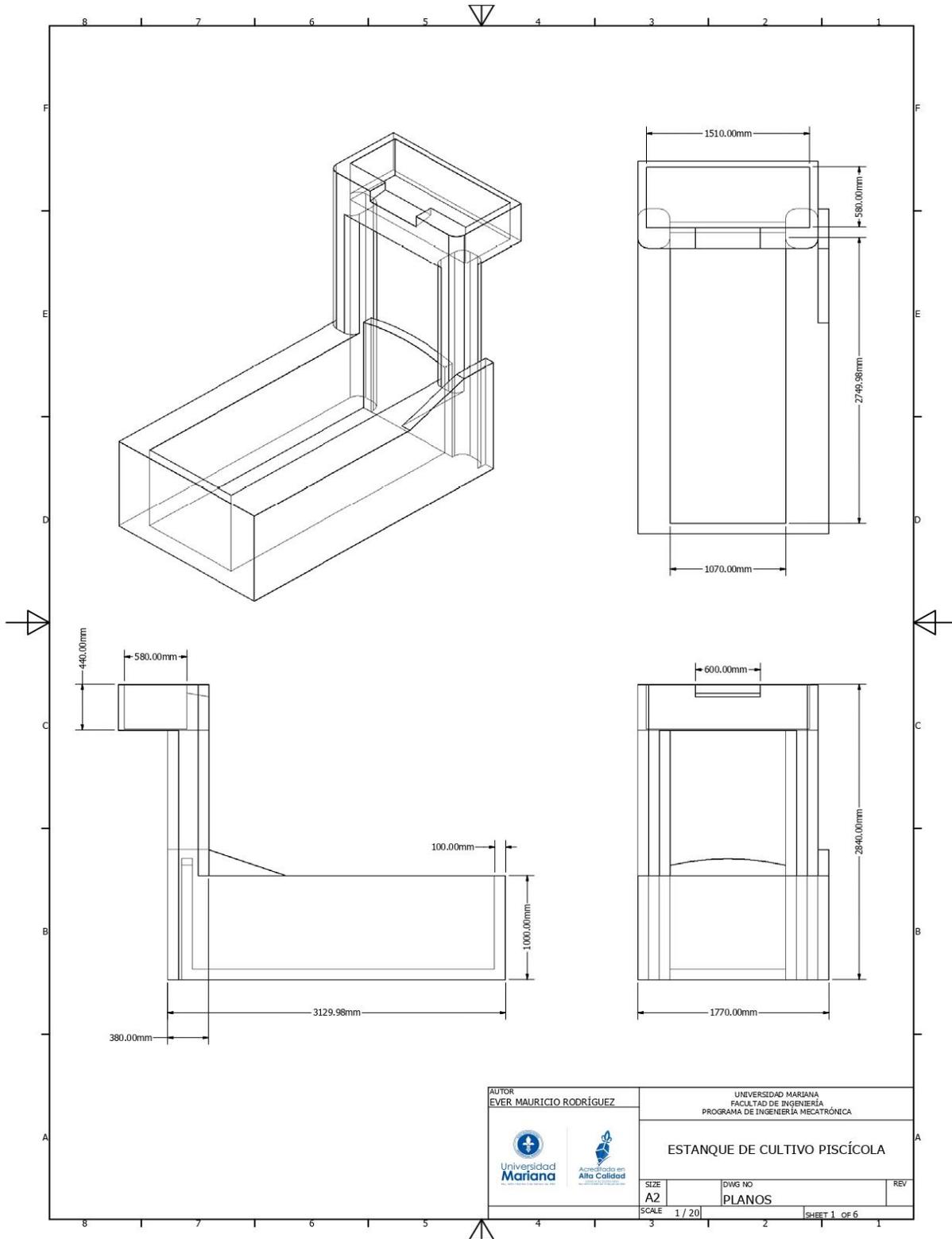
Figura N°14 – Área del Punto B

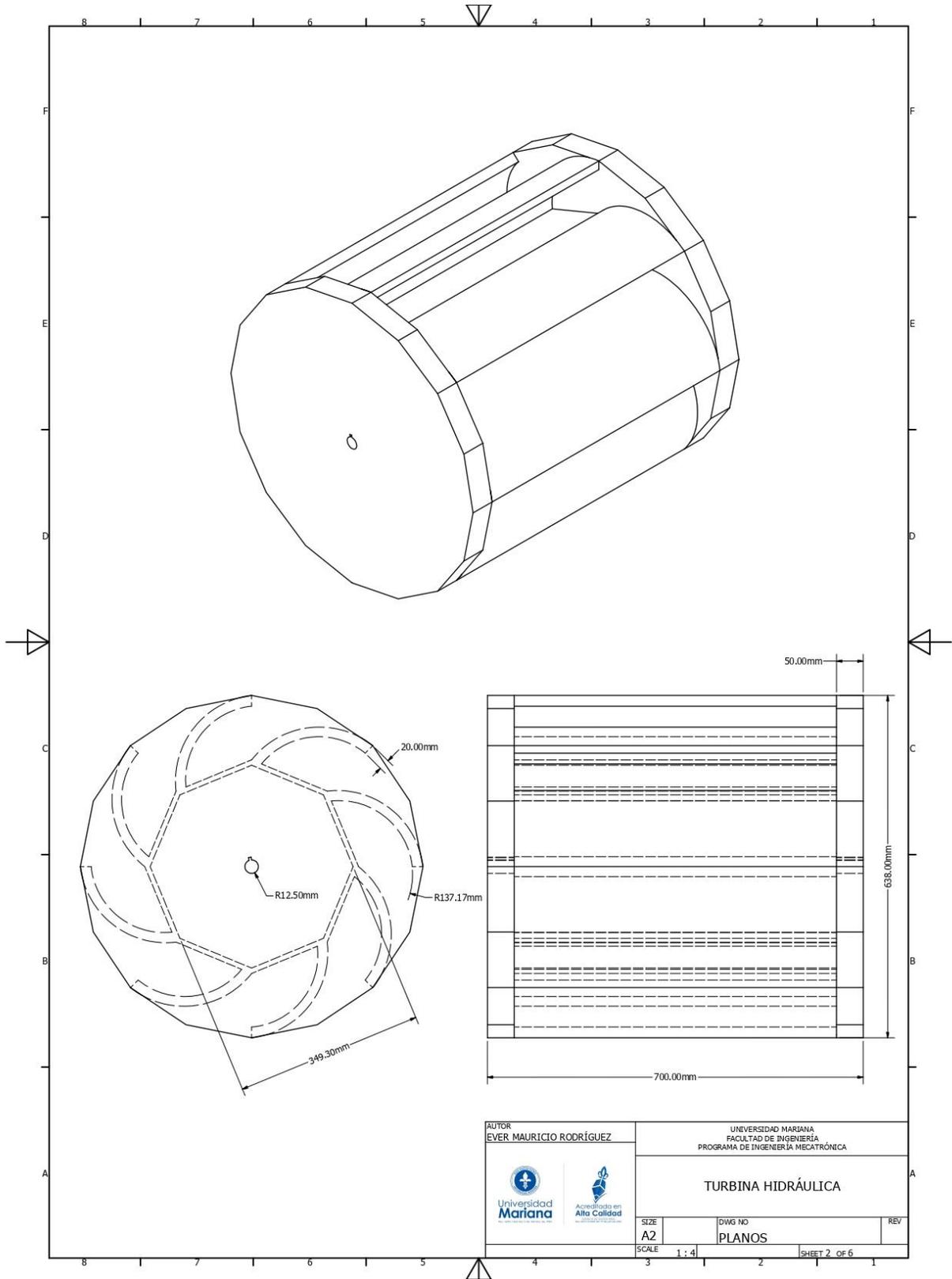
➤ *Cálculo del caudal: Punto A*

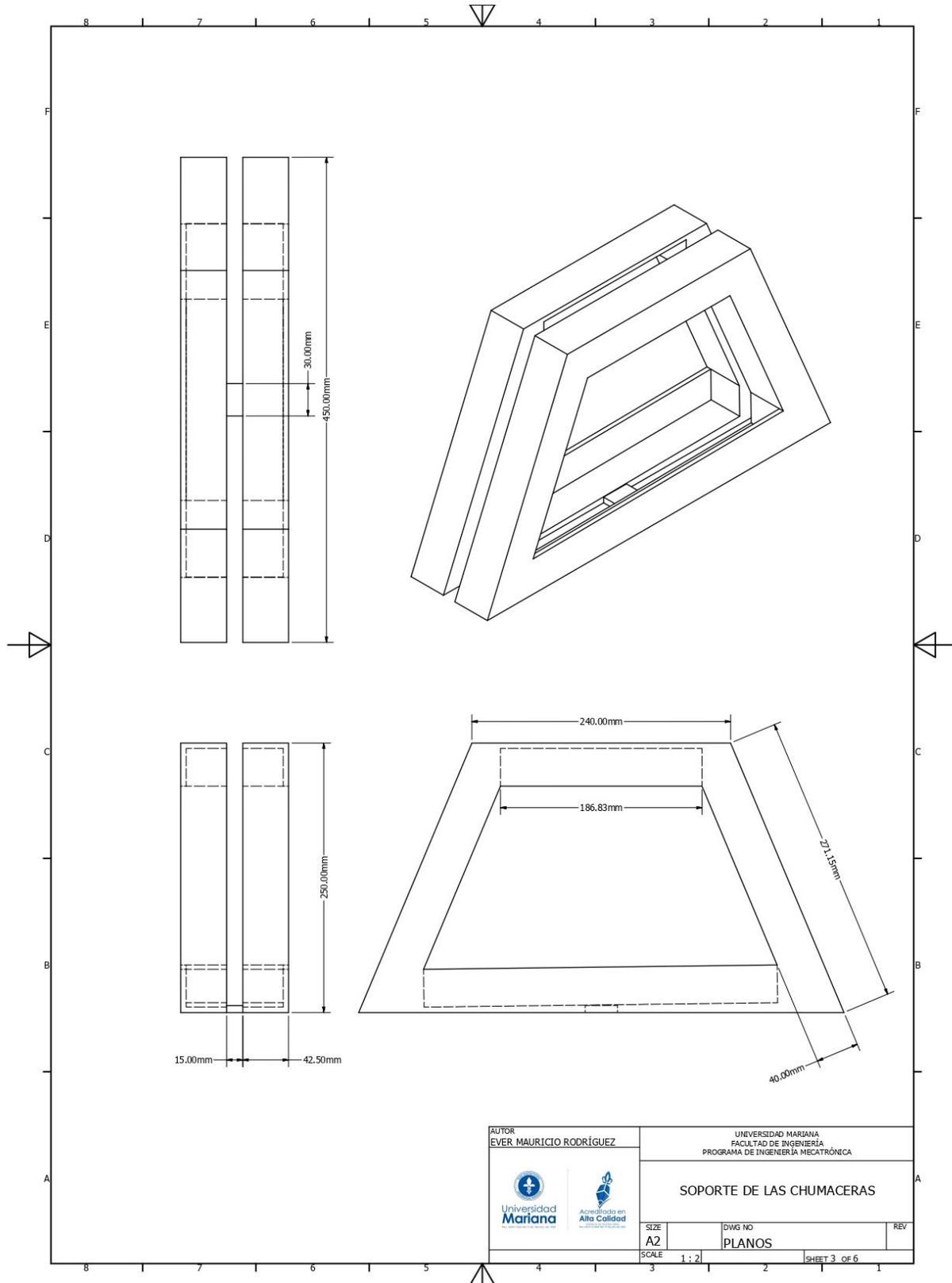
| <i>Área</i> (m^2) | <i>Velocidad Promedio</i> ($\frac{m}{s}$) | <i>Caudal</i> ($\frac{m^3}{s}$) |
|--------------------------|--|--------------------------------------|
| 0.137 | 1.045 | 0.143 |

Tabla N°14 – Caudal del Punto B

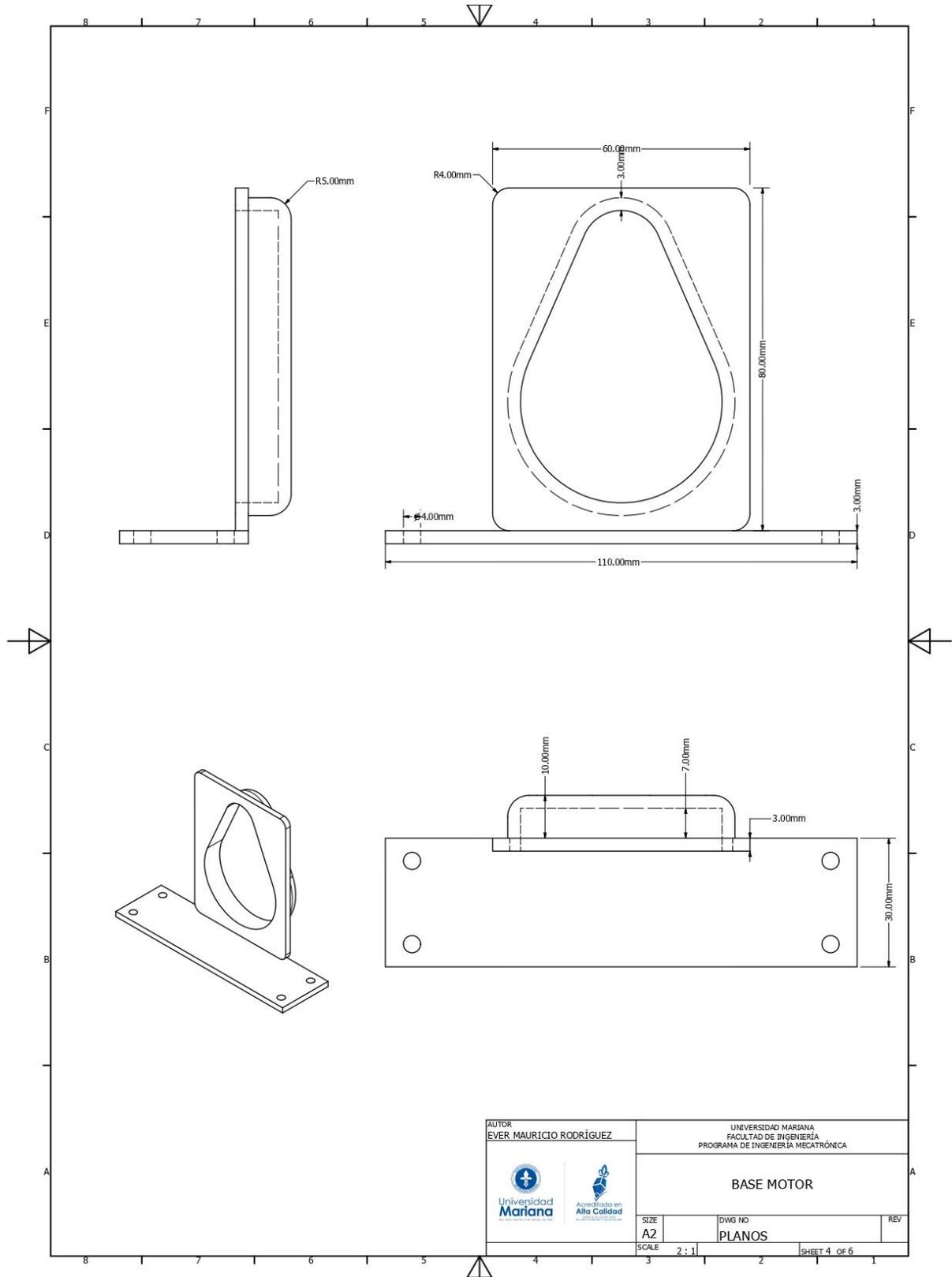
Anexo B. Planos de Diseño

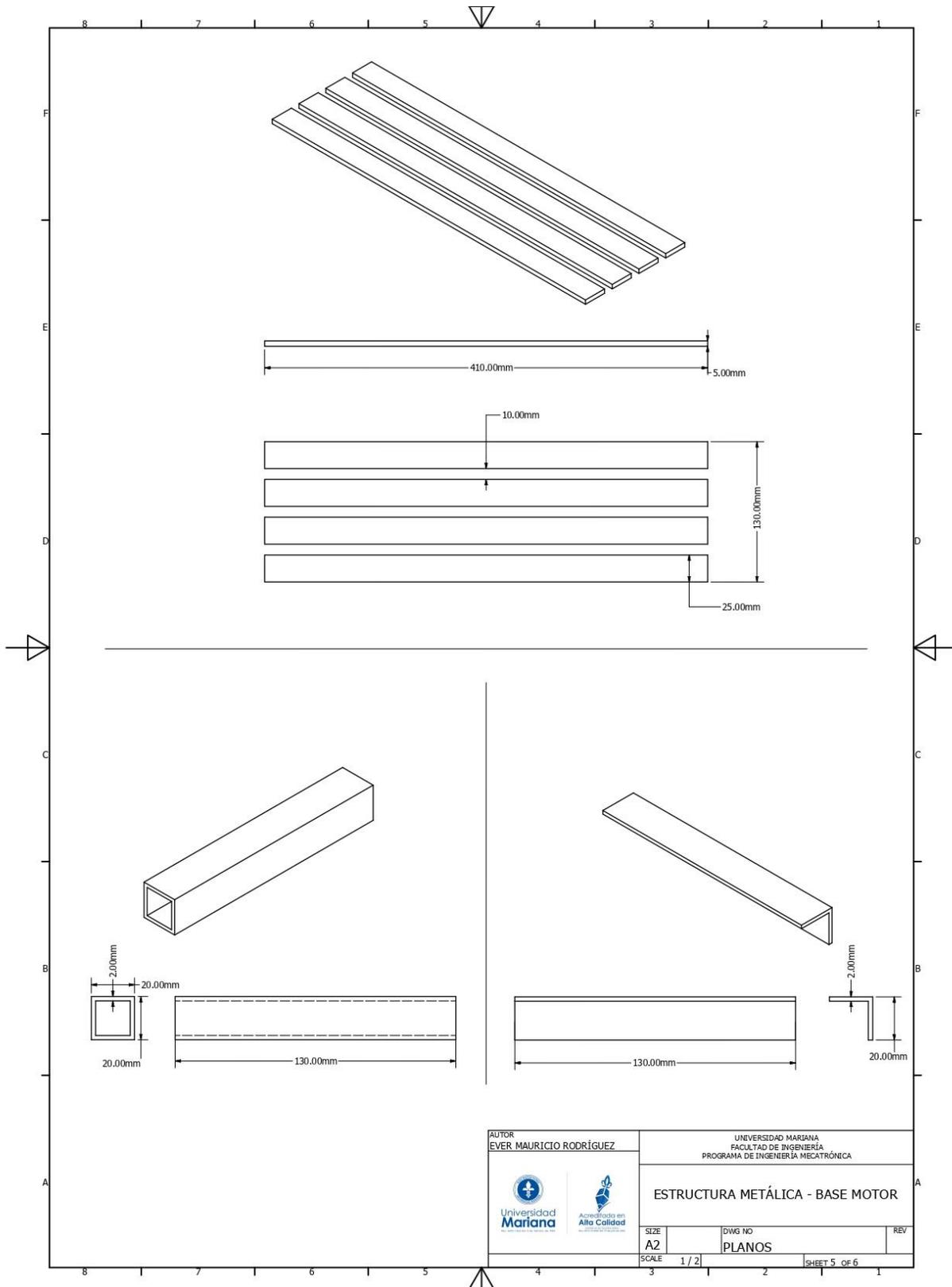




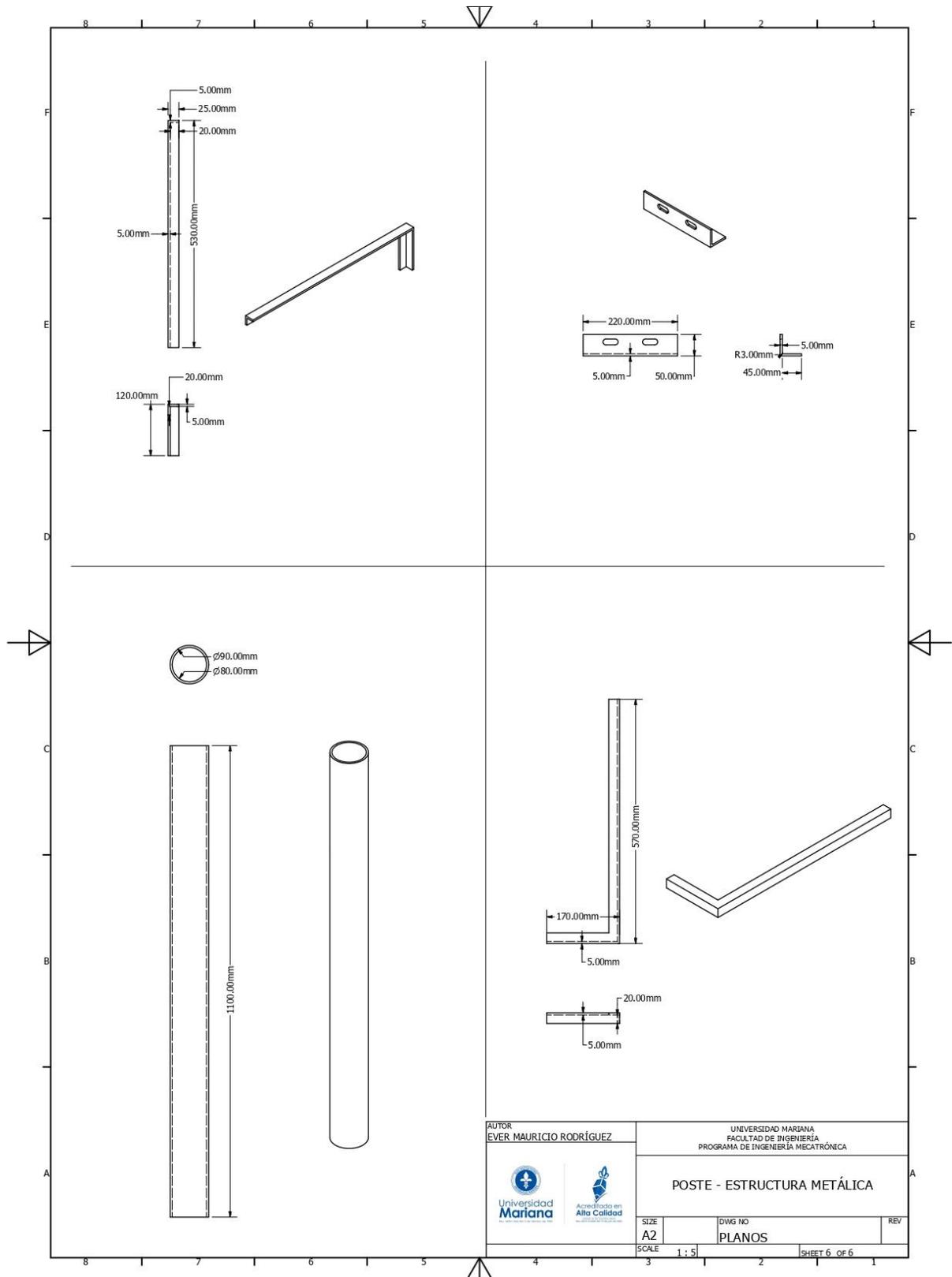


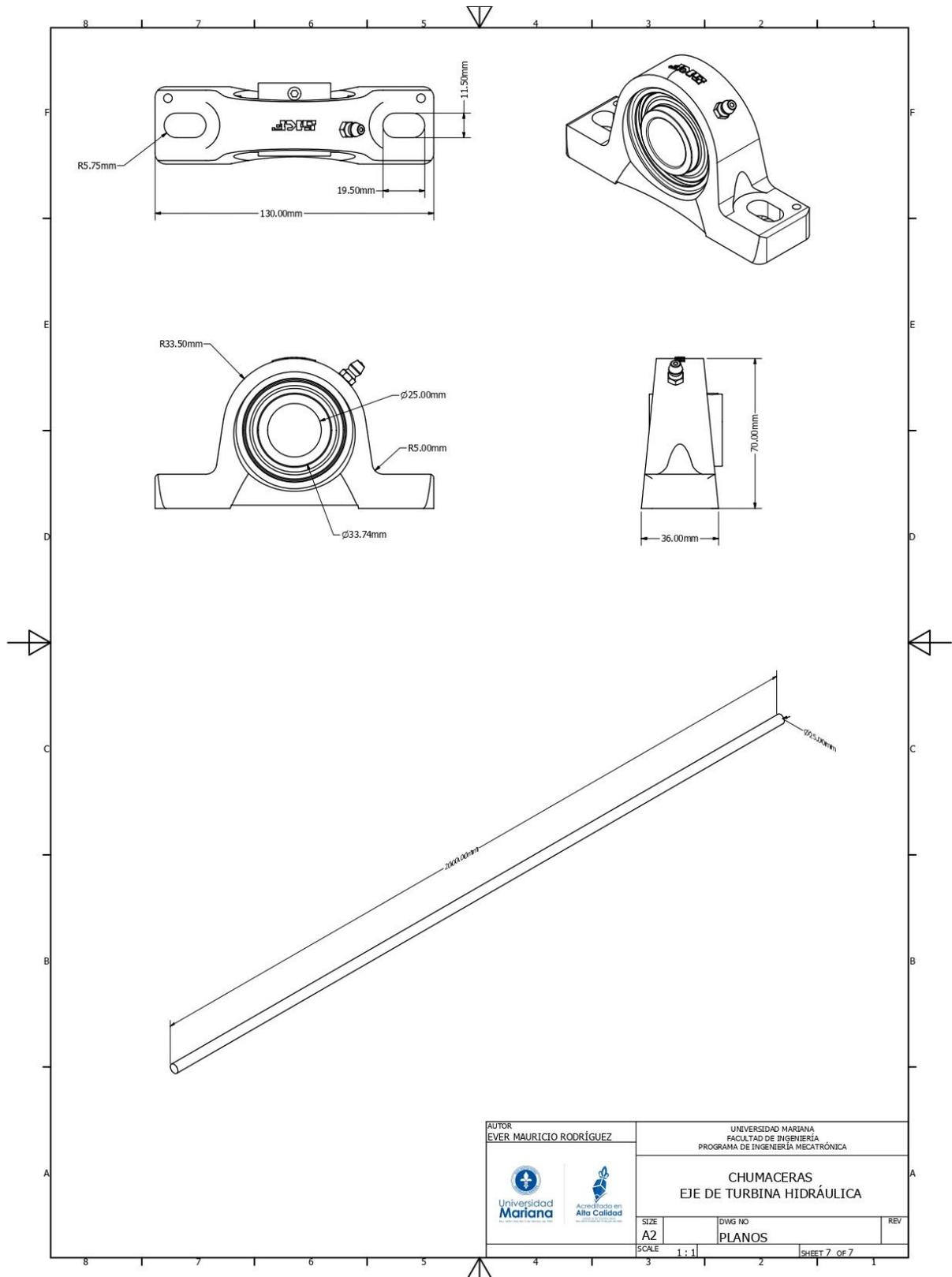
| | | | |
|---|------------------|---|--|
| AUTOR EVER MAURICIO RODRÍGUEZ | | UNIVERSIDAD MARIANA FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA | |
|   | | SOPORTE DE LAS CHUMACERAS | |
| SIZE A2 | DWG NO PLANOS | REV | |
| SCALE 1 : 2 | SHEET 3 OF 6 | | |





| | | | |
|---|------------------|---|--|
| AUTOR EVER MAURICIO RODRÍGUEZ | | UNIVERSIDAD MARIANA FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA | |
|   | | ESTRUCTURA METÁLICA - BASE MOTOR | |
| SIZE A2 | DWG NO PLANOS | REV | |
| SCALE 1 / 2 | SHEET 5 OF 6 | | |





| | | | |
|---|------------------|---|--|
| AUTOR EVER MAURICIO RODRÍGUEZ | | UNIVERSIDAD MARIANA FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA | |
|   | | CHUMACERAS EJE DE TURBINA HIDRÁULICA | |
| SIZE A2 | DWG NO PLANOS | REV | |
| SCALE 1 : 1 | SHEET 7 OF 7 | | |

Anexo C. Evidencia Fotográfica

https://drive.google.com/drive/folders/1HUAyFL-bRw9GgCuw4aE-kcr6sbXyqDXu?usp=drive_link

Anexo D. Link, Videos

https://drive.google.com/drive/folders/1uCf2BMMF0aIhU8C19j1-YOpu3jIXIKr0?usp=drive_link

Anexo E. Cronograma

| Cronograma | | Meses | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Fases | Actividades | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| Fase N°1 | Revisión y Consulta de Documentación Bibliográfica | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Visita de reconocimiento del Área de Trabajo en la empresa | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Selección y Diseño de la Turbina Hidroeléctrica | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| | Simulación del Diseño de la Turbina en 3D (Software) | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| | Cotización de Costos y Gastos (Turbina) | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| | Construcción de la Turbina Hidroeléctrica | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | |
| Fase N°2 | Consulta, Listado y Cotización de los materiales eléctricos y electrónicos | | | | | | | | ■ | | | | | | | | | | |
| | Realización del Esquema Eléctrico del Sistema | | | | | | | | | ■ | | | | | | | | | |
| | Construcción del sistema de intercambio de energía mecánica a eléctrica. | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | |
| | Verificar y Testear las conexiones eléctricas para ensayos de prueba | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | |
| | De Consulta: Base de Datos y sus aplicaciones (Software) | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | |
| | Selección del Software y Creación de la Base de Datos (Interfaz Gráfica) | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | |
| | Construcción del sistema de control y monitoreo IoT. | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | |
| Realizar ensayos de prueba de los sistemas | | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | |
| Fase N°3 | Revisión de los reglamentos (Norma Retie) | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | |
| | Realización del Esquema General Eléctrico | | | | | | | | | | | | | | | ■ | | | |
| | Revisión y Vinculación de los sistemas | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | | |
| | Instalación del Sistema Hidroeléctrico en la Empresa | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | |
| | Realización de cálculos de Potencia, Distribución Eléctrica vs Consumo | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ |
| | Registro de Control y Monitoreo de la potencia producida | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ |
| Validación del funcionamiento del sistema (Entrega del Proyecto) | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | |
| Asesoría y Visitas a la Empresa Acuimayo - Sibundoy, Putumayo | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

Nota. Cronograma de actividades planificadas.