

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA



**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA
MICROTURBINA HIDRÁULICA PARA LA
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
TUBERÍAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL
DISTRITO DE COLASAY, 2023”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

Línea de investigación: Energías Alternativas

Autores: Bach. Osman Darwin Tello Correa

Bach. Jorge Jhonatan Altamirano Vidarte

Asesor: Mg. Henry Oswaldo Pinedo Nava

JAÉN – PERÚ, NOVIEMBRE, 2024

NOMBRE DEL TRABAJO

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MICROTURBINA HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN TU

AUTOR

Osman Darwin Tello Correa y Jorge Jhonatan Altamirano Vidarte

RECUENTO DE PALABRAS

25998 Words

RECUENTO DE CARACTERES

129384 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

136 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.7MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 7, 2024 12:52 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 7, 2024 12:54 PM GMT-5**● 3% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 2% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dr. Alexander Huamán Mera
Presidencia de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería



LEY DE CREACIÓN No. 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo No. 002-2018-SUNEDU/CD

ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la Ciudad de Jaén el día martes 19 de noviembre del año 2024, siendo las ^{17:00}.....horas, se reunieron de manera presencial los integrantes del jurado:

Presidente: Mg. Juan Antonio Labrin Romero

Secretario: Mg. Mario Felix Olivera Aldana

Vocal: Dr. Christiaan Zayed Apaza Panca

Para evaluar la sustentación del Informe Final:

() Trabajo de Investigación (X) Tesis () Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MICROTURBINA HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN TUBERÍAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL DISTRITO DE COLASAY, 2023".

Presentado por los Bachiller(es) Osman Darwin Tello Correa y Jorge Jhonatan Altamirano Vidarte, de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica y Eléctrica**. Después de la Sustentación y Defensa el Jurado

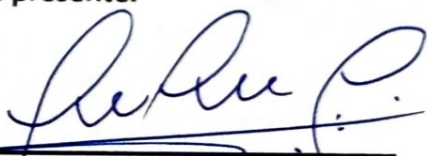
Acuerda:

(X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría


Con la siguiente mención:

Excelente	18, 19, 20	()
Muy bueno	16, 17	(16)
Bueno	14, 15	()
Regular	13	()
Desaprobado	12 o menos	()

Siendo las ^{17:30}..... horas del mismo día el jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.


Mg. Juan Antonio Labrin Romero
Presidente Jurado Evaluador


Mg. Mario Félix Olivera Aldana
Secretario Jurado Evaluador


Dr. Christiaan Zayed Apaza Panca
Vocal Jurado Evaluador

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Realidad problemática	9
1.2. Justificación	10
1.3. Objetivos	11
1.3.1. Objetivo general	11
1.3.2. Objetivos específicos.....	11
1.4. Antecedentes.	11
II. MATERIALES Y MÉTODOS	13
2.1 Instrumentos de recolección de datos	13
2.2 Software CAD y office.....	13
2.3 Población, Muestra y Muestreo.....	15
2.3.1 Ubicación del área de estudio	15
2.3.2 Población.....	15
2.3.3 Muestra	15
2.3.4 Muestreo.....	16
2.4 Métodos, técnicas, procedimientos e instrumentos de Recolección de datos.....	16
2.4.1 Tipo de investigación.....	16
2.4.2 Diseño de investigación.	16
2.4.3 Método de investigación.....	16
2.4.4 Técnicas de investigación.....	17
2.5 Procedimiento	17
2.6 Desarrollo de la investigación.....	19
2.6.1 Muestreo y recolección de datos.....	19
2.6.2 Descripción de red de tuberías	20
2.6.3 Mediciones de caudal y altura	22
2.6.4 Validación interactiva de calidad de medidas obtenidos del muestreo.....	26
2.6.5 Selección el tipo de turbina hidráulica en base a los indicadores (caudal y altura) de la variable independiente	29
2.6.6 Metodología de Cálculo de los parámetros de diseño de microturbina hidráulica seleccionada. (dimensiones)	31
2.6.7 Definición de dimensiones mínimas y el tipo de material del cual estarán construido los componentes y partes del prototipo.	41
2.6.8 Modelamiento del diseño en software CAD.	52
2.6.9 Análisis estático de esfuerzos en software CAD.....	54
2.6.10 Simulación de fluidos con Flow simulation – SOLIDWORKS.....	58
2.6.11 Establecer las especificaciones para la selección del generador eléctrico.....	58

2.6.12	Procesos de manufactura de la microturbina hidráulica.....	60
2.6.13	Fabricación de las partes del prototipo funcional.	61
2.6.14	Evaluación y análisis del prototipo.	64
2.6.15	Instalación y pruebas en el punto de utilización.....	70
2.7	Costo total de implementación del proyecto	74
III.	RESULTADOS	75
3.1.	Análisis de ensayo en banco de pruebas	78
3.1.1.	Análisis de datos del ensayo de RPM-Caudal sin carga.....	78
3.1.2.	Análisis de datos del ensayo de torque y potencia con Freno de Prony.....	84
3.2.	Resultados de pruebas en el punto de utilización.	90
3.2.1.	Mediciones de voltaje.	90
IV.	DISCUSIÓN.....	91
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
5.1.	Conclusiones	94
5.2.	Recomendaciones	95
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
VII.	ANEXOS	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Cronograma para la medición de caudal.....	23
Tabla 2.	Mediciones de caudal en temporada de lluvia.....	24
Tabla 3.	Mediciones de caudal en temporada de verano.....	25
Tabla 4.	Medición de altura.....	25
Tabla 5.	Estimación por Interpolación de caudal y precipitación.....	26
Tabla 6.	Potencia disponible en función del caudal.....	29
Tabla 7.	Potencia, caudal y altura disponible.....	31
Tabla 8.	Coefficiente de Hazen-Williams para diferentes materiales.....	32
Tabla 9.	Límites máximos y mínimos de la relación de diámetros y del número específico de revoluciones de las turbinas Pelton de un solo chorro.....	35
Tabla 10.	Parámetros máximos de diseño para la implementación.....	43
Tabla 11.	Parámetros de diseño determinados para la implementación de la microturbina.	46
Tabla 12.	Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304.....	48
Tabla 13.	Diámetros estándar de eje solido Inox 304.....	50
Tabla 14.	Propiedades mecánicas de la resina.....	50
Tabla 15.	Dimensiones estándar de tubo LAC cuadrado.....	51
Tabla 16.	Parámetros de funcionamiento.....	54
Tabla 17.	Especificaciones técnicas del generador.....	59
Tabla 18.	Gastos generales de la investigación.....	74
Tabla 19.	Datos obtenidos del ensayo RPM-Caudal.....	78
Tabla 20.	Proyección de revoluciones.....	80
Tabla 21.	RPM en función de caudal y altura.....	82
Tabla 22.	Datos obtenidos del ensayo de freno Prony – Q=46.56 l/min.....	84
Tabla 23.	Torque y potencias / Q=46.56 l/min, h=50m.....	86
Tabla 24.	Datos obtenidos del ensayo de freno Prony / Q=57.48 l/min.....	87
Tabla 25.	Valores de tensión en el generador y salida del módulo rectificador en función de RPM.....	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista geográfica de la Red de tuberías de abastecimiento de agua.....	19
Figura 2. Sistema de Red de tuberías de abastecimiento de agua.....	21
Figura 3. Mediciones de caudal y altitud	24
Figura 4. Campo de aplicación de turbinas hidráulicas.....	29
Figura 5. Dimensiones del inyector de una turbina Pelton.....	34
Figura 6. Parámetros dimensionales del rodete.....	36
Figura 7. Orientación de las cucharas	37
Figura 8. Parámetros dimensionales de la cuchara.....	39
Figura 9. Parámetros dimensionales de la cuchara.....	40
Figura 10. Fuerza ejercida por el chorro sobre la cuchara.....	40
Figura 11. Interfaz de macro Visual Basic.....	42
Figura 12. Diagrama de momento flector.....	49
Figura 13. Modelado de cuchara.....	52
Figura 14. Modelado del rodete.....	53
Figura 15. Modelado de la tobera.....	53
Figura 16. Resultados de simulación de esfuerzos al rodete: Desplazamiento estático.....	55
Figura 17. Resultados de simulación de esfuerzos al rodete: tensión.....	56
Figura 18. Resultados de simulación de esfuerzos al rodete: Deformación unitaria y factor de seguridad.....	57
Figura 19. Simulación de velocidad del chorro.....	58
Figura 20. Generador B-400M SMARAAD de imanes permanentes.....	59
Figura 21. Fabricación del rodete.....	61
Figura 22. Fabricación de la carcasa de la microturbina.....	62
Figura 23. Fabricación de la estructura y banco de pruebas.....	62
Figura 24. Ensamblaje de la microturbina hidráulica	63
Figura 25. Diagrama de funcionamiento del banco de pruebas.....	65
Figura 26. Funcionamiento básico del Freno d Prony.....	66
Figura 27. Microturbina habilitada en el banco de pruebas.....	67

Figura 28. Ensayo de aislamiento hidráulico.....	68
Figura 29. Ensayo RPM-Caudal.....	69
Figura 30. Ensayo de torque y potencia con Freno de Prony	69
Figura 31. Tablero de control implementado	70
Figura 32. Generador acoplado a la microturbina.....	71
Figura 33. Diagrama de instalación en el punto de utilización.....	72
Figura 34. Instalación de la microturbina hidráulica en el punto de utilización.....	73
Figura 35. Mediciones de RPM y voltaje en el punto de utilización.....	73

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. Diagrama de procesos.....	18
Gráfico 2. Variación de longitud en función de altura.....	20
Gráfico 3. Histórico de precipitaciones registrado por la estación HACIENDA PUCARA.....	22
Gráfico 4. Pronóstico de incidencia de precipitaciones.....	23
Gráfico 5. Hidrograma manantial	27
Gráfico 6. Potencia disponible en el punto de utilización de la microturbina (PUM).....	28
Gráfico 7. Estimación de potencia en función de la altura.....	29
Gráfico 8. Curva característica de Microturbina Pelton.....	33
Gráfico 9. Perdida de carga, potencia y longitud.....	44
Gráfico 10. Relación RPM - Diámetro – Torque.....	44
Gráfico 11. Relación δ -Ns y Q-Ns.....	45
Gráfico 12. Valores de Ns do y D en función de la altura.....	46
Gráfico 13. Curvas característica Altura-RPM de la microturbina implementada.....	81
Gráfico 14. Curvas características Caudal-RPM de la microturbina implementada.....	82
Gráfico 15. Curva característica RPM-Caudal-Altura	83
Gráfico 16. Curvas característica P-RPM-T / Q=46.56 l/min, h=14m.....	85
Gráfico 17. Curvas característica P-RPM-T / Q=46.56 l/min, h=50m.....	87
Gráfico 18. Curvas característica P-RPM-T / Q=57.48 l/min, h=50m.....	88
Gráfico 19. Curvas característica Eficiencia-RPM.....	89

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo el desarrollo tecnológico y manufactura del prototipo de microturbina hidráulica para la generación de energía eléctrica aprovechando el potencial energético hidráulico disponible en redes de tuberías de abastecimiento de agua. Dichas tuberías de abastecimiento cumplen con su rol de transportar agua, sin embargo, en la actualidad no se está aprovechando su potencial energético hidráulico disponible, i.e. no se está aprovechando dicha energía renovable esencialmente necesaria para zonas rurales donde no existe redes públicas de energía eléctrica. Se plantea una investigación aplicada, de un nivel cuantitativo, diseño experimental y muestreo analítico; el desarrollo del prototipo está relacionado con el resultado del análisis de las variables, con los resultados de simulación en software CAD de un modelo digital y resultados de ensayos del prototipo funcional. De esta manera se logró implementar una microturbina hidráulica de tipo Pelton con una eficiencia máxima de 64% abasteciendo de energía eléctrica a una vivienda rural con una potencia de 0.26 kW, lo suficiente para iluminación LED y carga de dispositivos móviles, demostrando la viabilidad de esta tecnología como alternativa de energía renovable en zonas rurales.

Palabras claves: Microturbina, Pelton, Tuberías, Energía, renovable, eficiencia, iluminación.

ABSTRACT

The present research work led to the technological development and manufacturing of the prototype of a hydraulic microturbine for the generation of electrical energy, taking advantage of the hydraulic energy potential available in pipe networks for water supply. These supply pipes fulfill their role of transporting water, however, currently their available hydraulic energy potential is not being taken advantage of, i.e. This renewable energy, which is essentially necessary for rural areas where there are no public electricity networks, is not being used. An analytical method and an experimental design are proposed; The development of the prototype is related to the result of the analysis of the variables, with the simulation results in CAD software of a digital model and test results of the functional prototype. In this way, a Pelton-type hydraulic microturbine was implemented with a maximum efficiency of 64%, supplying electrical energy to a rural home with a power of 0.26 kW, enough for LED lighting and charging of mobile devices, demonstrating the viability of this technology as an alternative to renewable energy in rural areas.

Keywords: Microturbine, Pelton, Pipelines, Energy, renewable, efficiency, lighting.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En el mundo según la Organización Mundial de la Salud, (2021) la cantidad de habitantes que no tienen acceso a la electricidad descendió de 1200 millones en el año 2010 a 759 millones en el año 2019, así mismo, La cantidad de habitantes conectados a mini redes aumentó de 5 millones a 11 millones de ciudadanos entre el 2010 y 2019, Sin embargo, debido a la crisis provocada por la COVID-19 y políticas actuales, hay una estimación de 660 millones de personas seguirán sin acceso a la energía eléctrica en 2030. Por su parte según el Banco Mundial, (2020) a nivel global solo el 90.4 % de la población tiene acceso a la electricidad, con relación al sector urbano el 97.2 % y al sector rural el 82.5 % de la población cuentan con acceso a la energía eléctrica. En cuanto al tipo de fuente de generación de energía eléctrica según OLADE, (2020) en su estudio estadístico se estima que a nivel mundial y en América Latina las principales fuentes de generación de energía eléctrica es térmico no renovable en un 60.13% a nivel mundial y 36.99% para América Latina y con relación a fuentes de energía renovable a nivel mundial se estima el 16% generación por hidroeléctrica , 6 % por eólica, 3% solar.

En el Perú, según INEI, (2022) la estadística de viviendas que cuentan con servicio de energía eléctrica mediante redes públicas al 2021 es de 94 %, según el área de residencia, en el sector urbano fue 97,1% y en el sector rural el 82,6% y con relación a la región Cajamarca el porcentaje de hogares con acceso a la red pública de electrificación en el sector rural es del 80%, por su parte el Ministerio de Energía y Minas, (2023) a través de la DGER estima que a finales del 2023 la cobertura eléctrica rural solo será del 84.8 %. En cuanto al tipo de fuente de generación de energía eléctrica a nivel nacional la DGE del Ministerio de Energía y Minas, (2023) reporta el 63 % de producción de energía eléctrica por fuente hidráulica, el 34% por fuente térmico no renovable, el 2% por generación eólica y el 1% a través de energía solar.

En el distrito de Colasay, a pesar de las políticas de gobierno que se vienen implementando para dar cobertura de energía eléctrica a todas las zonas rurales más alejadas, presentan aún el mayor porcentaje de población que no tiene servicio de electrificación, según el INEI, (2021) el 17 % de la población Colasaína no cuenta con el servicio de electrificación por red pública.

La falta de acceso a la energía eléctrica en zonas rurales se debe a diversas causas, entre ellas la accesibilidad limitada a las comunidades alejadas, consumo reducido de energía, viviendas dispersas y bajo poder adquisitivo. Además, las políticas gubernamentales ineficientes, la falta de inversión pública y privada en electrificación rural, los costos elevados de implementación y mantenimiento de infraestructura eléctrica, y las limitaciones geográficas y topográficas también contribuyen a este problema. Estas barreras impiden el desarrollo de proyectos de electrificación rentables y viables.

En consecuencia, estas comunidades presentan índices altos de pobreza, accesibilidad limitada a las telecomunicaciones (comunicación telefónica e internet), educación de baja calidad y sin oportunidad de acceder a las tecnologías disponibles que mejora la calidad de vida de las personas.

1.2. Justificación

El presente trabajo de investigación buscó desarrollar tecnología para la producción de microturbinas hidráulicas que permitan generar energía eléctrica con el potencial energético hidráulico (alta presión de agua) que no está siendo aprovechado actualmente en tuberías de abastecimiento de agua ya existentes, de tal manera que el diseño sea adaptable e intercambiable con cualquier red de tuberías existentes en cualquier otro lugar que cuente con suficiente potencial hídrico.

El propósito social de este estudio fue brindar energía a hogares rurales sin electrificación, aprovechando la presión del agua en las tuberías para generar electricidad para cargas básicas como equipos de comunicación e iluminación LED. Esta fuente de energía renovable puede satisfacer parte de la gran demanda en áreas rurales no electrificadas, reduciendo la dependencia de grupos electrógenos que impactan negativamente el medio ambiente.

Además, es una fuente de energía renovable que podría satisfacer parte de la amplia necesidad que se tienen en zonas rurales no electrificadas y que en su defecto se utiliza grupos electrógenos con un gran impacto ambiental, en consecuencia, nos proponemos demostrar el concepto de esta propuesta tecnológica para que se tenga una alternativa viable y amigable con el medio ambiente.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar e implementar una microturbina hidráulica para la generación de energía eléctrica a partir del potencial energético hidráulico en tuberías de abastecimiento de agua, de acuerdo con el escalamiento del sistema se podrá aplicar en zonas rurales.

1.3.2. Objetivos específicos.

- OE1. Determinar el tipo de turbina hidráulica y generador eléctrico que más se adecúa para su implementación, teniendo en cuenta la red de abastecimiento de agua con las condiciones adecuadas (caudal, desnivel de altura y accesibilidad).
- OE2. Diseñar la geometría de los componentes que conformarán la microturbina considerando aspectos fundamentales de diseño (análisis de esfuerzos mecánicos y de evaluación de fluidos básicos).
- OE3. Manufacturar e implementar el prototipo de la microturbina hidráulica.
- OE4. Ensayos de laboratorio y en campo con mediciones de eficiencia energética.

1.4. Antecedentes.

En la investigación de Vásquez, (2015) de tipo aplicada con un diseño experimental, se logró diseñar e implementar una micro turbina hidráulica de tipo Pelton para aprovechar pequeños caudales de agua. Los métodos de recolección de datos, así como también las técnicas de investigación conllevaron una guía significativa para encaminar la presente investigación. De esta investigación se ha rescatado alternativas para determinar soluciones viables respecto a logros de efecto de mini generación hidroeléctrica y su aporte económico en el aprovechamiento hidráulico dándole un valor ambiental dentro del proyecto.

En el trabajo de investigación de Bautista, (2019) se determinó el diseño óptimo de una mini turbina considerando un caudal promedio de $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ para aprovechar la energía potencial del agua, teniendo como resultado un torque calculado de 13 Nm y un torque simulado bajo condiciones ideales mediante flow simulation de 19 Nm, con una lectura de revoluciones de 350-400 en el eje de la turbina instalada. Este proyecto de investigación nos orientó a usar software de simulaciones fluidos para obtener aproximaciones del comportamiento que tendría la microturbina para construir el modelo en impresión 3D en base a condiciones reales de su funcionamiento.

Según, Sarmiento, (2020) en su trabajo de investigación para elaborar la metodología del modelo paramétrico, se basó en las ecuaciones y rangos determinados en los pasos empleados por Bilal Nasir en el Diseño de Turbinas Tipo Pelton, se cumplió con las condiciones de máxima eficiencia hidráulica por tanto el modelo paramétrico es válido. Este trabajo ha servido de guía en nuestro proyecto para diseñar y modelar una turbina Pelton si fuera el caso, con el estudio paramétrico establecido.

En la investigación de Játiva & Valencia, (2017) desarrollado en Guayaquil-Ecuador, tuvo como objetivo diseñar un sistema autónomo generador de energía eléctrica dentro de la red de tuberías de agua potable de la ciudad de Guayaquil, para ello analizaron todas las variables que conducen el funcionamiento del equipo para lograr su diseño óptimo. Este trabajo de investigación sirvió de utilidad como guía para el diseño del sistema mecánico de la turbina, sus componentes y parámetros empleados en el dimensionamiento de los ejes.

Por otro lado, Sanz, (2013) en su trabajo de investigación se tomó como objetivo estudiar la factibilidad técnica y económica de la generación de energía eléctrica con microturbinas instaladas en redes de tuberías de agua potable. Los resultados de la investigación que obtuvieron fue la factibilidad y viabilidad del aprovechamiento energético producido por los saltos en las tuberías de agua potable. Este proyecto sirvió de utilidad para realizar nuestros estudios de viabilidad para generar energía eléctrica en las redes de tuberías para abastecimiento de agua.

Según, Gabriel, (2018) en su trabajo de investigación se logró identificar los potenciales hidroeléctricos a escala de microturbinas en la provincia de Córdoba para la generación de energía eléctrica que busca asegurar el abastecimiento del servicio eléctrico en zonas rurales de forma sostenible, finalmente se diseñó en Solidwork para experimentar las condiciones de diseño y se materializaron en Impresión 3D todas las piezas de la turbina. Se ha tomado este proyecto como modelo para el diseño de la turbina Pelton utilizando los valores de diseño determinados.

En el trabajo de investigación realizado por (Héctor & Canaza, 2018), logran desarrollar un módulo de turbina Pelton con una eficiencia entre 55% y 60%., los actores presentan esta propuesta como una alternativa para el desarrollo tecnológico en la micro generación eléctrica, siguieron un diseño de investigación experimental que le permitió

plantear diversas situaciones de funcionamiento manipulando las variables independientes.

Si bien es cierto que a nivel de la provincia de Jaén no existe alguna investigación para lograr una forma o método eficiente para recuperar la energía disponible en estas redes de tuberías, no obstante, proyectos de investigación que se han desarrollado en algunas universidades tanto del Perú y extranjeras han podido demostrar la viabilidad de la recuperación y aprovechamiento energético en este tipo de instalaciones.

Dentro de este marco se ha referenciado investigaciones enfocadas en su mayoría en el diseño de turbinas hidráulicas, en las cuales el objetivo común es el aprovechamiento energético, el cual coincide con el objetivo de nuestra investigación, en consecuencia, estos trabajos de investigación se tomaron como un guía y camino ya trazado para lograr exitosamente nuestro objetivo.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Instrumentos de recolección de datos

- ✓ Vernier de precisión digital, para llevar un control de las dimensiones (longitud, diámetros, espesores) del prototipo
- ✓ Multitester o pinza perimétrica para medir tensión e intensidad de corriente en los terminales del generador.
- ✓ Manómetros para medir la presión en la tubería
- ✓ Flexómetro para medir longitudes
- ✓ GPS para medir el desnivel de altura desde el punto de instalación a la bocatoma.
- ✓ Tacómetro para medir RPM en la microturbina.
- ✓ Cubo y cronometro para medir el caudal empleando el método volumétrico que consiste en controlar el tiempo de llenado de un recipiente con un volumen determinado.

2.2 Software CAD y office.

Para el modelado y simulación del prototipo se hizo uso de software con versiones de prueba estudiantil. así mismo software para digitalización y procesamiento de datos.

- **SolidWorks** (<https://my.solidworks.com/try-solidworks>)

Pudimos modelar los diversos componentes y ensamblajes en planos 3D y 2D utilizando este software de diseño CAD 3D asistido por computadora. Este programa proporciona respuestas a las cuestiones planteadas durante el proceso de desarrollo del producto. Los productos que forman parte de la suite Solidworks nos brindan la capacidad de crear, diseñar, simular, fabricar y administrar datos de procesos de diseño.

Cabe destacar que la versión utilizada de software fue de prueba vigente por 60 días, esta versión únicamente está disponible en línea.

- **Chitobox** (<https://www.chitobox.com/en/download/chitobox-free>)

Es un software que permite cortar los modelos 3D para su siguiente impresión con una impresora 3D de resina, se usa para las impresoras 3D con tecnología SLA y es compatible con todos los sistemas operativos.

Este software también nos brinda opciones que nos permiten configurar los soportes con métodos de impresión ya sea de forma manual o automática, modificar el objeto y el tamaño final de la pieza, en base a los parámetros establecidos de la impresora 3D seleccionada.

- **Microsoft Word**

Word, una herramienta fundamental que nos ha ayudado en elaborar nuestro informe de tesis, en ello hemos recopilado toda la información fundamental de nuestro proyecto para que posteriormente nos facilite el acceso a leer y editar la información hasta tener un trabajo culminado.

- **Microsoft Excel**

Este programa nos ha facilitado más con el manejo de tablas ya que su programación es más accesible para registrar y manejar los datos.

- **Maquinas CAM.**

Debido a que el prototipo se fabricará a través de un proceso de Manufactura Asistido por Computadora es necesario contar con las siguientes máquinas que trabajan con procesos CAM.

- **Impresora 3D con filamento PLA.**

Cabe precisar que esta impresora junto con el tipo de material (PLA) que se va usar es únicamente para tener una pre visualización y ensayos de laboratorio de los alabes de prototipo.

- **Impresora 3D con resina.**

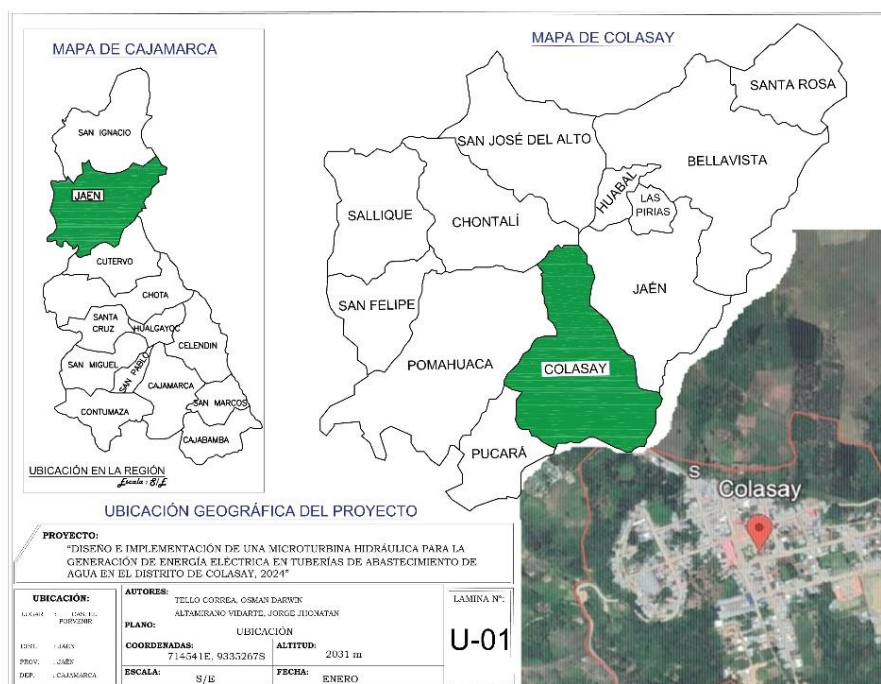
La resina por presentar propiedades mecánicas favorables se utilizará en la fabricación del prototipo funcional.

2.3 Población, Muestra y Muestreo

2.3.1 Ubicación del área de estudio

Figura 1.

Ubicación geográfica de la investigación.



Nota: La Figura 1 muestra la ubicación geográfica del distrito de Colasay en donde se desarrolló la investigación. Fuente: Elaboración propia con datos de Google Maps.

2.3.2 Población

La población para esta investigación, teniendo en cuenta la investigación de tipo tecnológica, estuvo conformada por el potencial energético hidráulico en tuberías de abastecimiento de agua en zonas rurales próximas del distrito de Colasay.

2.3.3 Muestra

Fue una **RED** de tuberías de abastecimiento de agua, necesaria para la **cuantificación** del potencial energético hidráulico basándose en mediciones de

parámetros físicos como el caudal y la altura o desnivel desde el punto de utilización hasta la captación del agua.

2.3.4 Muestreo

El tipo de muestreo para la investigación se determinó por conveniencia, porque se seleccionó una red de tuberías que presenta condiciones de caudal y altura que permitió la implementación de la microturbina. El muestreo por conveniencia, según Ortega, (2023) es un tipo de muestreo no probabilístico en el que las muestras se eligen únicamente porque son de fácil acceso para el investigador.

2.4 Métodos, técnicas, procedimientos e instrumentos de Recolección de datos.

2.4.1 Tipo de investigación

Dado que se obtuvieron valores numéricos, la Investigación es de tipo **cuantitativa**, así mismo el modelamiento y simulación en software CAD 3D ayudo a determinar un diseño de prototipo optimo y eficiente. En efecto **la investigación es aplicada**, Según Castro Maldonado et al., (2022) este tipo de investigación tiene en cuenta toda la información ya conocida en un campo en particular y utiliza esa información para tratar de resolver problemas particulares.

2.4.2 Diseño de investigación.

La investigación se desarrolló con un **diseño experimental**, dado que la variable independiente fue manipulada para conocer la influencia y efectos que tiene en las variables dependientes. Según Muguira, (2022) El diseño de investigación experimental se utiliza para determinar una relación causal entre las causas y los efectos de un evento, donde el efecto producido por la manipulación de la variable independiente se ve en la variable dependiente.

2.4.3 Método de investigación.

Método analítico.

Para lograr un buen aprovechamiento de la energía hidráulica que se transformará en energía eléctrica a través de la microturbina, es importante saber aprovechar y optimizar cada variable que se ha determinado en la investigación. El diseño y construcción del prototipo de microturbina estuvo estrechamente relacionado con el resultado del análisis de las variables. Para Kohn, (2022) el método analítico usa números

y estadísticas para entender relaciones de causa y efecto en experimentos y se puede usar para interpretar los datos que fueron recolectados y analizados en una forma estadística válida.

2.4.4 Técnicas de investigación

a. Fichas de recolección de datos

Para la recolección de datos tanto en campo como para ensayos que se realizó al prototipo se elaboraron fichas para registrar los datos, para lo cual se utilizarán instrumentación para medir los parámetros citados, estableciendo periodo de muestreo y durante 2 temporadas meteorológicas (temporada de lluvias y temporada de verano). A partir de dichas mediciones se elaboraron cuadros estadísticos que intenten caracterizar dichos parámetros.

b. Experimento

Consiste en la elaboración de una prueba en relación con las variables de un fenómeno, con el objetivo de analizar sus efectos Kohn, (2022). La microturbina diseñada y fabricada estuvo sometida a diferentes pruebas modificando el caudal y la altura de la tubería de agua.

c. Análisis de datos

Se utilizó la **estadística descriptiva** para sintetizar los datos recolectados de la pruebas y ensayos experimentales en campo. Según Guanabara et al., (2012) Se puede obtener un sentido de la ubicación de los datos, la variabilidad y las características generales de la distribución de las observaciones en la muestra a partir de la estadística descriptiva.

2.5 Procedimiento

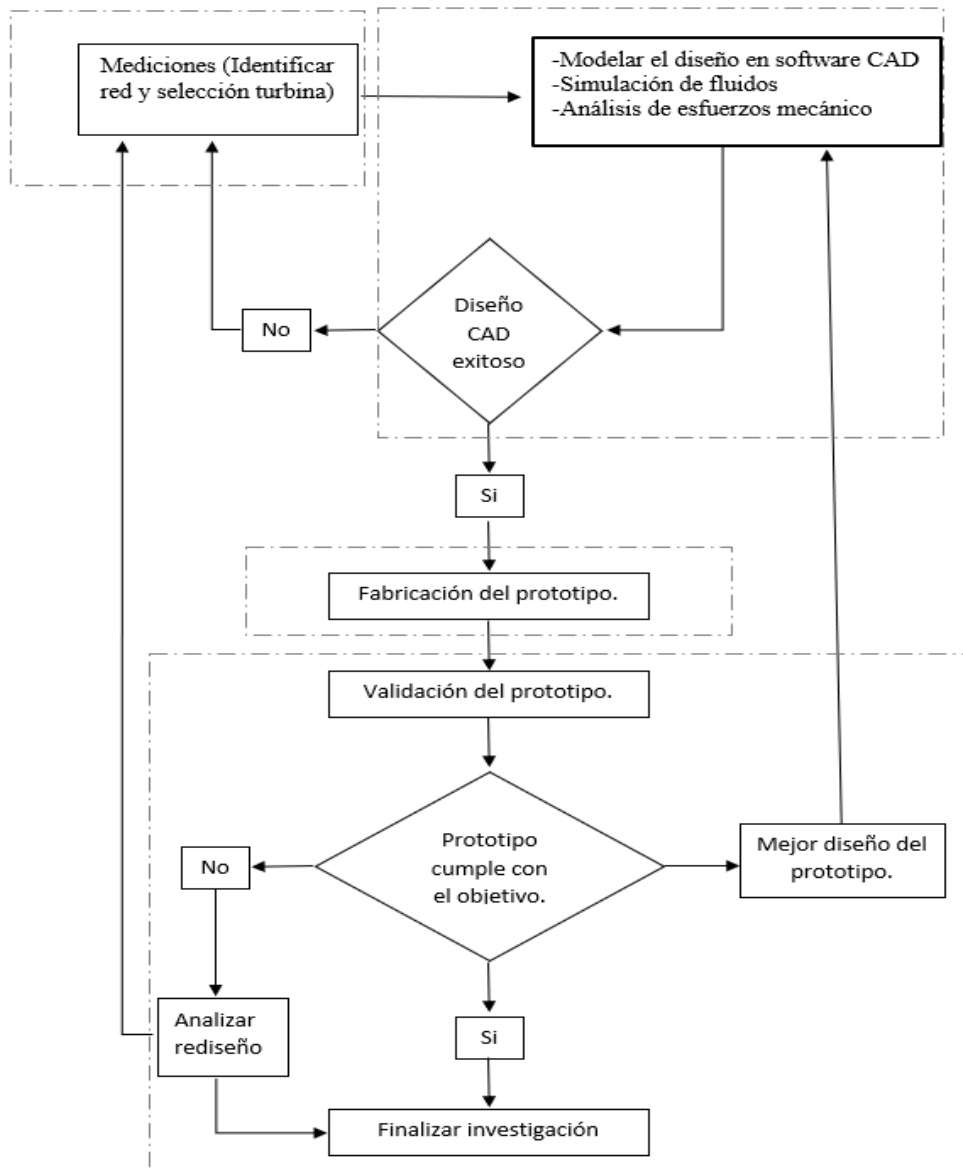
Con el fin de lograr el objetivo de diseñar e implementar una microturbina hidráulica para la generación de energía eléctrica a partir del potencial hídrico en tuberías de abastecimiento de agua, este proceso se adaptó en 4 fases que conformaron la investigación. (Grafico 1)

El diagrama de flujo mostrado en el **Gráfico 1** ilustra el proceso de diseño y validación del prototipo. El proceso comenzó con la toma de mediciones y la selección de una turbina, seguido del modelado del diseño en software CAD, simulaciones de fluidos y análisis de esfuerzos mecánicos. Una vez que el diseño CAD fue exitoso, se

procedió con la fabricación del prototipo; de lo contrario, se habría regresado a la etapa de mediciones. Tras la fabricación, el prototipo fue validado, cumpliendo con el objetivo y finalizando la investigación. En caso de no haber cumplido con el objetivo, se habría realizado un rediseño, repitiendo el ciclo hasta lograr un prototipo satisfactorio.

Gráfico 1.

Diagrama de procesos



Nota: el diagrama muestra las 4 etapas de la investigación, se siguió el proceso definido para el diseño e implementación de la microturbina hidráulica. **Fuente:** Elaboración propia.

2.6 Desarrollo de la investigación

A. OE1. Determinar el tipo de turbina hidráulica y generador eléctrico que más se adecúa para su implementación, teniendo en cuenta la red de abastecimiento de agua con las condiciones adecuadas (caudal, desnivel de altura y accesibilidad).

2.6.1 Muestreo y recolección de datos.

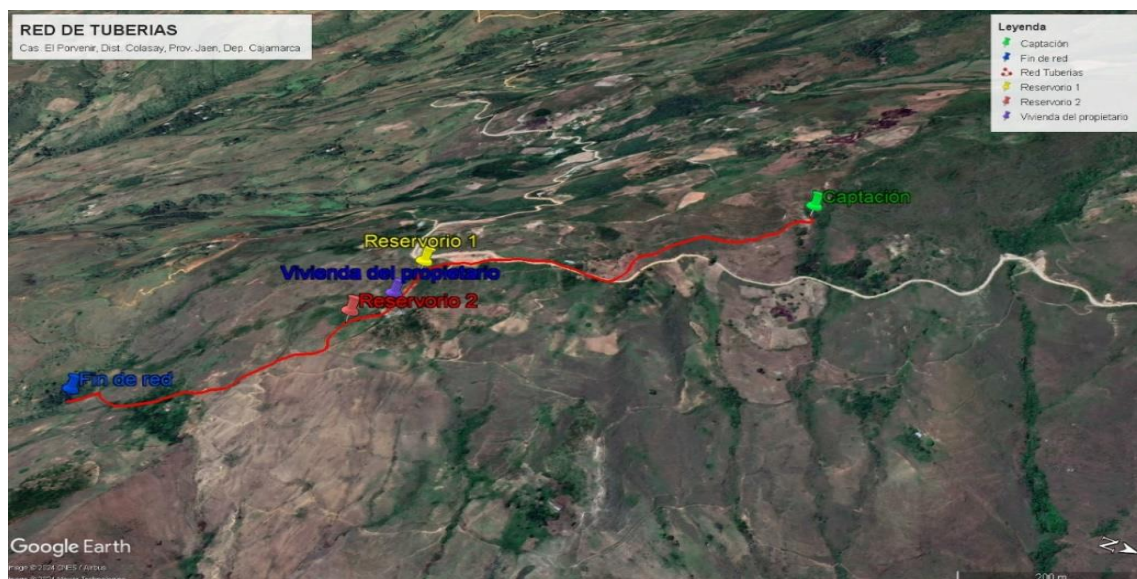
De acuerdo al tipo de muestreo determinado para la investigación (muestreo por conveniencia), se procedió a seleccionar una red de tuberías de abastecimiento de agua ubicada en la localidad de El Porvenir distrito de Colasay, por presentar características que se adaptan al objetivo de la investigación:

- Permiso directo del propietario
- Fácil accesibilidad a todos los puntos de la red.
- Localidad no cuenta con red pública de energía eléctrica.

Se llevó a cabo un recorrido detallado de la red de tuberías de abastecimiento de agua, utilizando GPS para determinar con precisión la longitud total de la tubería y el recorrido que sigue, tal como se ilustra en la Figura 2.

Figura 2.

Vista geográfica de la Red de tuberías de abastecimiento de agua.



Nota: La **Figura 2:** muestra la ubicación geográfica y recorrido de la red de tuberías de abastecimiento de agua. **Fuente:** Elaboración propia, Google Earth.

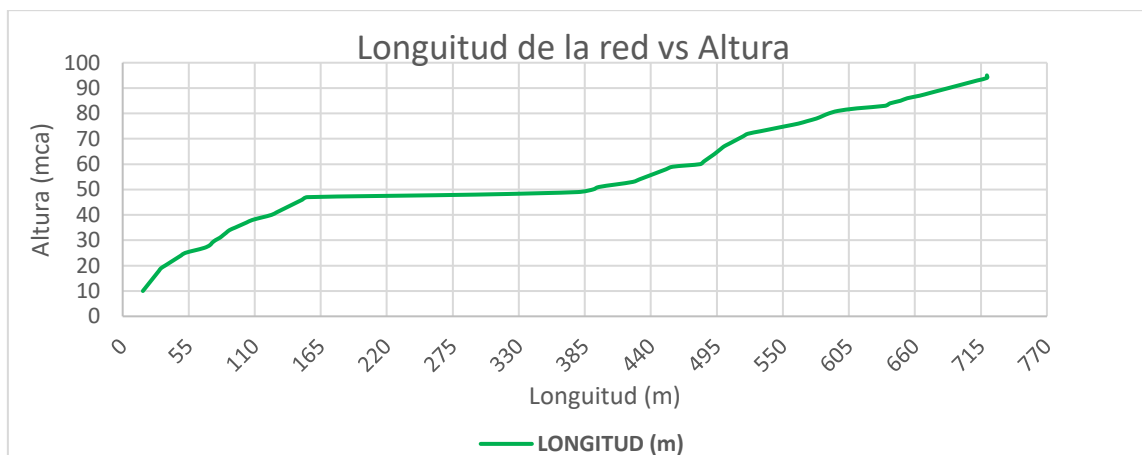
2.6.2 Descripción de red de tuberías

La red de abastecimiento de agua está conformada por un primer tramo de tuberías de PVC clase 10 de diámetro 1.5 pulgadas que hacen una longitud de 720 metros, seguido de un segundo tramo con mangueras HDPE clase 12 de 2 pulgadas de diámetro a largo de una longitud de 540 metros, conformando así una longitud total de la red de 1260 metros. El sistema cuenta con una captación de concreto armado, un reservorio de concreto armado y un reservorio de geomembrana HDPE. Además de otras asesorías como válvulas de aire, cajas de romper presión. Para el diseño e implementación de la microturbina solo se consideró los 720 metros de tuberías de PVC.

Para conocer la distribución de la altura de la tubería en cada punto de su recorrido, se ha medido con GPS todo su trayecto, los resultados se muestran en el Gráfico 2.

Gráfico 2.

Variación de longitud en función de altura



Nota: El gráfico 2 muestra la variación de la longitud de la red, primer tramo de 720 metros en tuberías de PVC, en función de altura.

La Figura 3 muestra sistema de red de tuberías de abastecimiento de agua utilizada para la ejecución del proyecto de investigación, estructura ya existente en el lugar que fue aprovechada para la implementación de la microturbina hidráulica.

Figura 3.

Sistema de Red de tuberías de abastecimiento de agua.



Nota: La Figura 3 muestra, de izquierda a derecha, en el orden correspondiente: vertiente de agua y captación, terreno por donde pasa la tubería PVC enterrada, reservorio de concreto armado, punto donde se instaló la microturbina, reservorio de geomembrana, domicilio del propietario beneficiario. Fuente: Elaboración propia

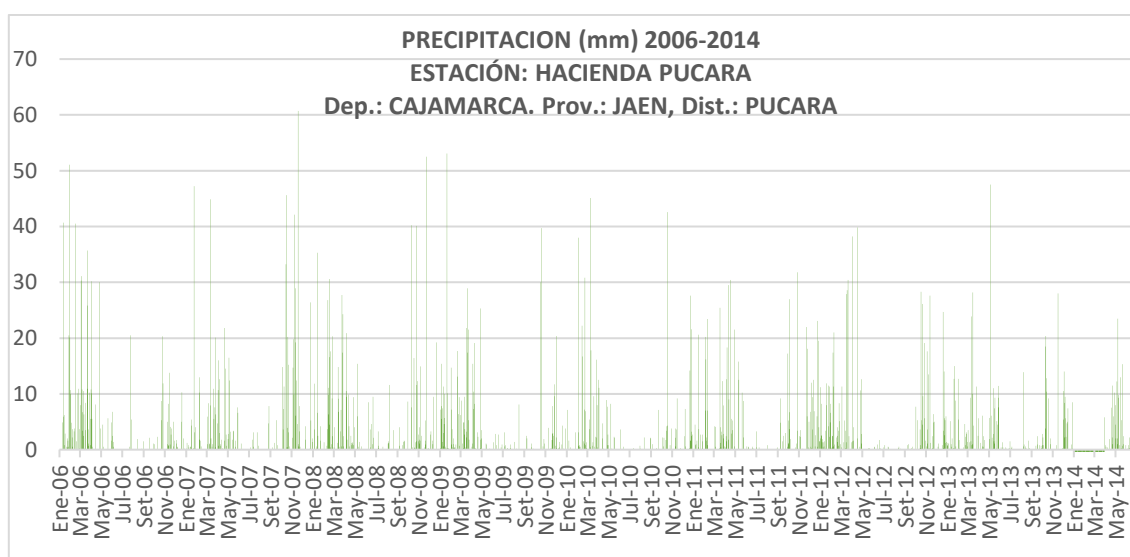
2.6.3 Mediciones de caudal y altura

Con la finalidad de determinar la variación del potencial energético en la red de tuberías; la recolección de datos se llevó a cabo en dos temporadas meteorológicas, temporada de lluvias y temporada de sequía. Para determinar las fechas en las cuales se llevaron a cabo las mediciones de caudal se consideró la información disponible de la estación meteorológica, HACIENDA PUCARA administrada por el Servicio *Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI*, por encontrarse geográficamente próximo a la localidad donde se encuentra la red de tuberías de abastecimiento de agua.

En el Gráfico 3 se presenta las precipitaciones en mm registradas entre el 2006 y 2014, pudiendo determinar aproximadamente los meses con más incidencia de lluvia.

Gráfico 3.

Histórico de precipitaciones registrado por la estación HACIENDA PUCARA.

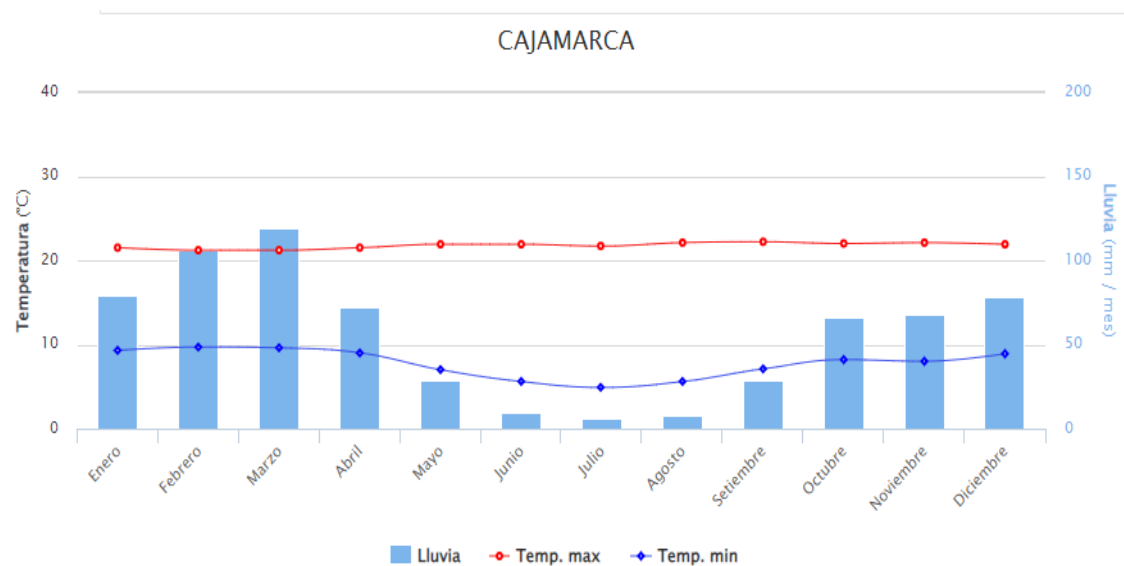


Nota: Incidencia de precipitaciones por mes desde el año 2006 al 2014. **Fuente:** (SENAMHI, 2023a)

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) en el pronóstico para el año 2023 Para CAJAMARCA, los meses con menos incidencia de lluvias son Junio, agosto y septiembre valores representados en el Gráfico 4.

Gráfico 4.

Pronóstico de incidencia de precipitaciones



Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Con base en la información proporcionada por el SENAMHI, se determinaron los meses en los que se llevaron a cabo las mediciones de caudal, los cuales se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1.

Cronograma para la medición de caudal

Temporadas con más incidencia de lluvia y verano						
Temporada	Enero	Febrero	Marzo	Junio	Julio	Agosto
Lluvia	X	X	X			
Verano				X	X	X

Nota: La **Tabla 1** muestra los meses establecidos para medición de caudal; para la temporada de lluvias se determinó marzo, para la temporada de verano o sequía se determinó el mes de Julio. **Fuente:** Elaboración propia

- Método empleado para medir el caudal

Para las mediciones de caudal, se utilizó el método volumétrico, recomendado por MINAGRI (2015) para determinar caudales pequeños, como los de manantiales. Este método consiste en medir el tiempo necesario para llenar un recipiente de volumen conocido y, posteriormente, calcular el caudal en litros por segundo (l/s) dividiendo la capacidad del recipiente por el tiempo empleado.

$$\text{Caudal } \frac{l}{\text{seg}} (Q) = \frac{\text{valumen del valde (l)}}{\text{tiempo en llenarse (s)}} \quad (1)$$

Las mediciones de caudal se obtuvieron mediante el método volumétrico, y las lecturas de altitud se registraron utilizando tecnología GPS satelital, como se puede observar en la Figura 4

Figura 4.

Mediciones de caudal y altitud



Nota: La Figura 4 muestra mediciones de caudal a través del método volumétrico y toma de lectura de altitud utilizando GPS satelital. **Fuente:** Elaboración propia

Las mediciones se llevaron a cabo de manera repetitiva durante días consecutivos, y posteriormente se calcularon los valores promedio, los cuales se presentan en la Tabla 2 y Tabla 3 para temporada de lluvia y temporada de verano respetivamente.

Tabla 2.

Mediciones de caudal en temporada de lluvia

VARIABLE INDEPENDIENTE	PARAMETROS A MEDIR				
	CAUDAL		ALTURA		
Sub Parámetros	Tiempo (s)	vol. (L)	Caudal (L/min)	Elevación m.s.n.m	Punto de Medición

Medición día 1	25.5	25	58.8	2124	captación
Medición día 2	26.3	25	57.0	2127	captación
Medición día 3	26.3	25	57.0	2125	captación
Medición día 4	26.0	25	57.6	2129	captación
Medición día 5	26.3	25	57.0	2130	captación
PROMEDIO	26.08	25	57.48	2126.4	captación

Nota: la Tabla 2 muestra los valores medidos de caudal y altitud sobre el nivel del mar en temporadas de lluvia. Para las mediciones de caudal se empleó el método volumétrico durante 5 días y la medición de altitud se empleó un GPS. Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.

Mediciones de caudal en temporada de verano

VARIABLE INDEPENDIENTE	PARAMETROS A MEDIR				
	CAUDAL			ALTURA	
Sub Parámetros	Tiempo (s)	vol. (L)	Caudal (L/min)	Elevación m.s.n.m	Punto de Medición
Medición día 1	33	25	45.45	2126	captación
Medición día 2	34	25	44.12	2120	captación
Medición día 3	33	25	45.45	2129	captación
Medición día 4	36	25	41.67	2125	captación
Medición día 5	32	25	46.88	2131	captación
PROMEDIO	33.6	25	44.71	2126	captación

Nota: la Tabla 3 muestra los valores medidos de caudal y altitud sobre el nivel del mar en temporadas de verano. Para las mediciones de caudal se empleó el método volumétrico durante 5 días y la medición de altitud se empleó un GPS. Fuente: Elaboración propia

Se utilizó GPS satelital para registrar la altitud, los valores tomados se presentan en la Tabla 4. La vivienda del propietario es el punto de utilización de la microturbina (PUM).

Tabla 4.

Medición de altura

Punto	Altitud (msnm)	Altura (m)
Captación	2126	95
Reservorio 1	2065	34
Vivienda (PUM)	2031	0

Nota: La Tabla 4 muestra mediciones de altura. Fuente: Elaboración propia

2.6.4 Validación interactiva de calidad de medidas obtenidos del muestreo

Con medidas de caudal realizadas en campo más la información meteorológica de la estación HACIENDA PUCARA, resumido en el **Anexo 7**, se procedió a elaborar un hidrograma con la finalidad de cuantificar el potencial energético en función del tiempo en el punto de utilización.

Según (Ordóñez, 2011) el hidrograma permite representar la variación del caudal de una fuente y está en relación del aporte de precipitaciones que puedan existir en la superficie de la cuenca.

Se promedió datos de precipitaciones, adjuntos en el **Anexo 7**, por mes y valores medidos de caudal en cada temporada meteorológica. A través del método de interpolación polinómica se encuentra la **Ecuación 2** de grado 1 que describe los valores de caudal en función de la precipitación promedio por mes, los cuales se presentan en la Tabla 5.

$$y = 0.1088x + 43.94 \quad (2)$$

Donde y viene a ser el caudal en l/min y x representa a la precipitación en mm/mes

En la Tabla 5 se puede apreciar la variación de caudal; en los meses de junio a septiembre sufre una disminución máxima del -11% con respecto al promedio anual y en los meses de enero a abril el caudal se incrementa en un 14% con respecto al promedio anual.

Tabla 5.

Estimación por Interpolación de caudal y precipitación

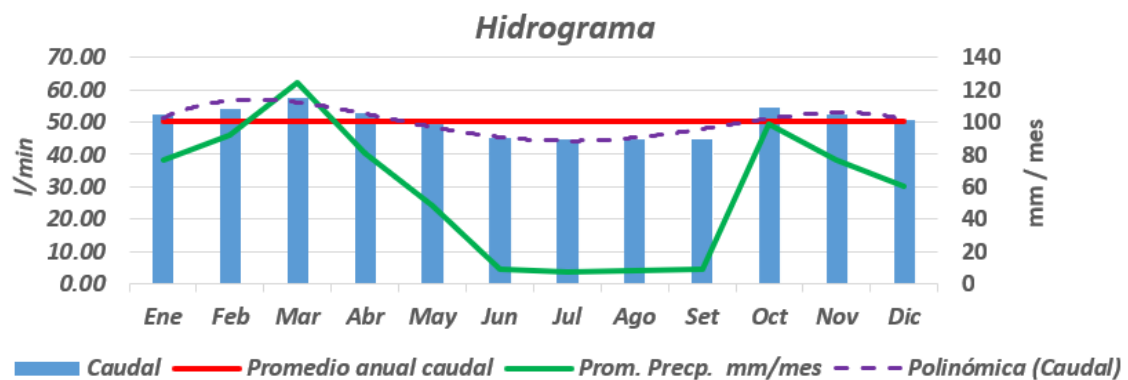
Mes	Precipitación mm/mes	Caudal l/min	Prom anual caudal l/min	% variación
Ene	76.82	52.29	50.21	4%
Feb	92.24	53.97	50.21	7%
Mar	124.50	57.48	50.21	14%
Abr	81.05	52.76	50.21	5%
May	48.60	49.23	50.21	-2%
Jun	8.98	44.92	50.21	-11%
Jul	7.08	44.71	50.21	-11%
Ago	8.37	44.85	50.21	-11%
Set	8.79	44.90	50.21	-11%
Oct	98.59	54.66	50.21	9%
Nov	76.42	52.25	50.21	4%
Dic	60.64	50.54	50.21	1%

Nota: La **Tabla 5** muestra los valores resultantes de caudal de la interpolación entre el promedio de precipitaciones por mes y las medidas de caudal por temporada meteorológica. **Fuente:** Elaboración propia

En el hidrograma mostrado en el Gráfico 5, se puede observar la variación del caudal a lo largo de las dos temporadas meteorológicas, lo que permite visualizar claramente los patrones de Caudal.

Gráfico 5.

Hidrograma manantial



Nota: Hidrograma del manantial que abastece a la red de tuberías, muestra la variación de caudal durante los meses del año en función de las precipitaciones. **Fuente:** Elaboración propia

Con los datos obtenidos se procedió a calcular el potencial energético geodésico en la red de tuberías. La energía potencial geodésica es igual al trabajo que la fuerza de la gravedad puede ejercer cuando el líquido se remonta, en una altura determinada (Mataix, 1986)

$$P = Q\rho gH \quad (3)$$

Utilizando la ecuación 3, tomando la altura total (95 m) se estimó la potencia hidráulica teórica disponible en el punto de utilización (PUM), lo valores se presentan en la Tabla 6

Tabla 6.

Potencia disponible en función del caudal

Mes	Caudal l/min	Caudal m ³ /s	Potencia hidráulica (watts)
Feb	44.71	0.00074516	694

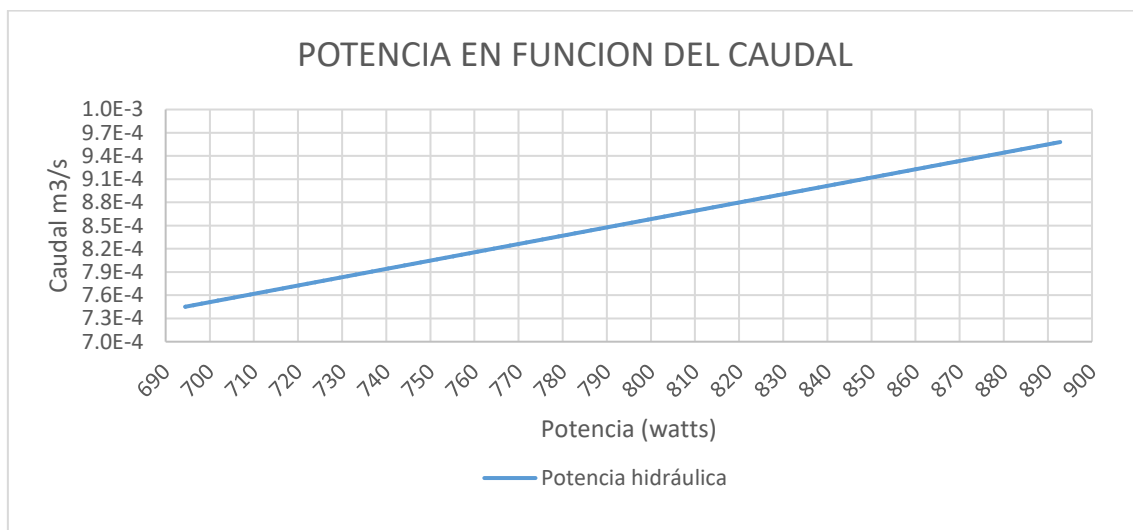
Nov	44.85	0.00074750	697
Dic	44.90	0.00074826	697
Set	44.92	0.00074861	698
May	49.23	0.00082042	765
Abr	50.54	0.00084226	785
Ago	52.25	0.00087084	812
Oct	52.29	0.00087158	812
Mar	52.76	0.00087925	819
Jul	53.97	0.00089953	838
Ene	54.66	0.00091104	849
Jun	57.48	0.00095799	893

La **Tabla 6** muestra valores calculados de potencia en el punto de utilización (PUM).

La potencia generada en watts se relaciona directamente con el caudal disponible, como se puede observar en el Gráfico 6.

Gráfico 6.

Potencia disponible en el punto de utilización de la microturbina (PUM)

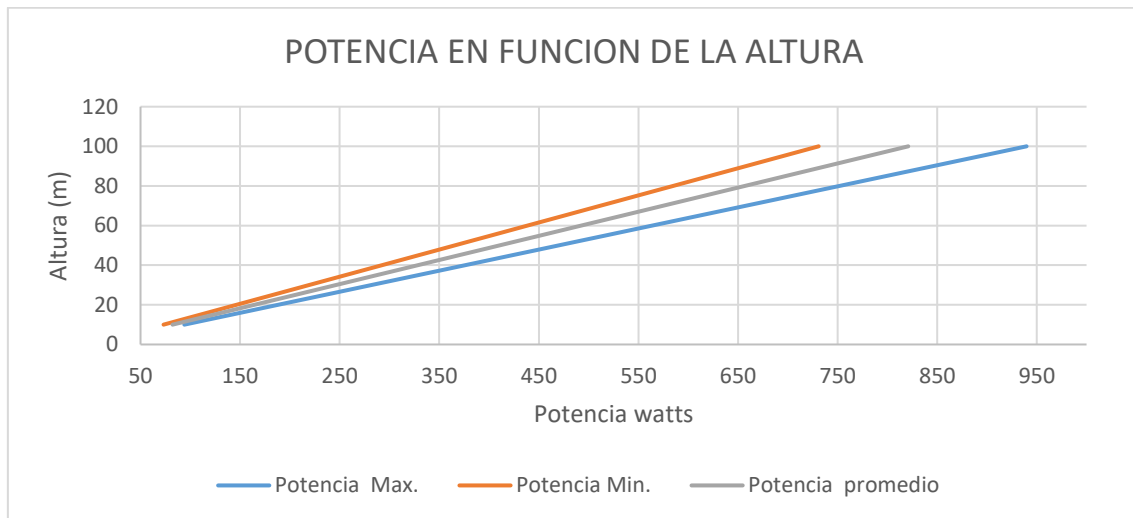


Nota: El **Gráfico 6** muestra la potencia en watts, en función del caudal disponible durante el año. No se considera pérdidas de carga. **Fuente:** Elaboración propia

Del mismo modo se estimó la potencia máxima, potencia mínima, potencia promedio en función a la altura disponible de la red de tuberías de abastecimiento de agua. se consideró el caudal máximo, mínimo y promedio descritos en el Grafico 7.

Gráfico 7.

Estimación de potencia en función de la altura.



Nota: El Gráfico 7 muestra la potencia disponible en toda la red de tuberías en función de la altura. No se considera pérdidas de carga. **Fuente:** Elaboración propia

2.6.5 Selección el tipo de turbina hidráulica en base a los indicadores (caudal y altura) de la variable independiente

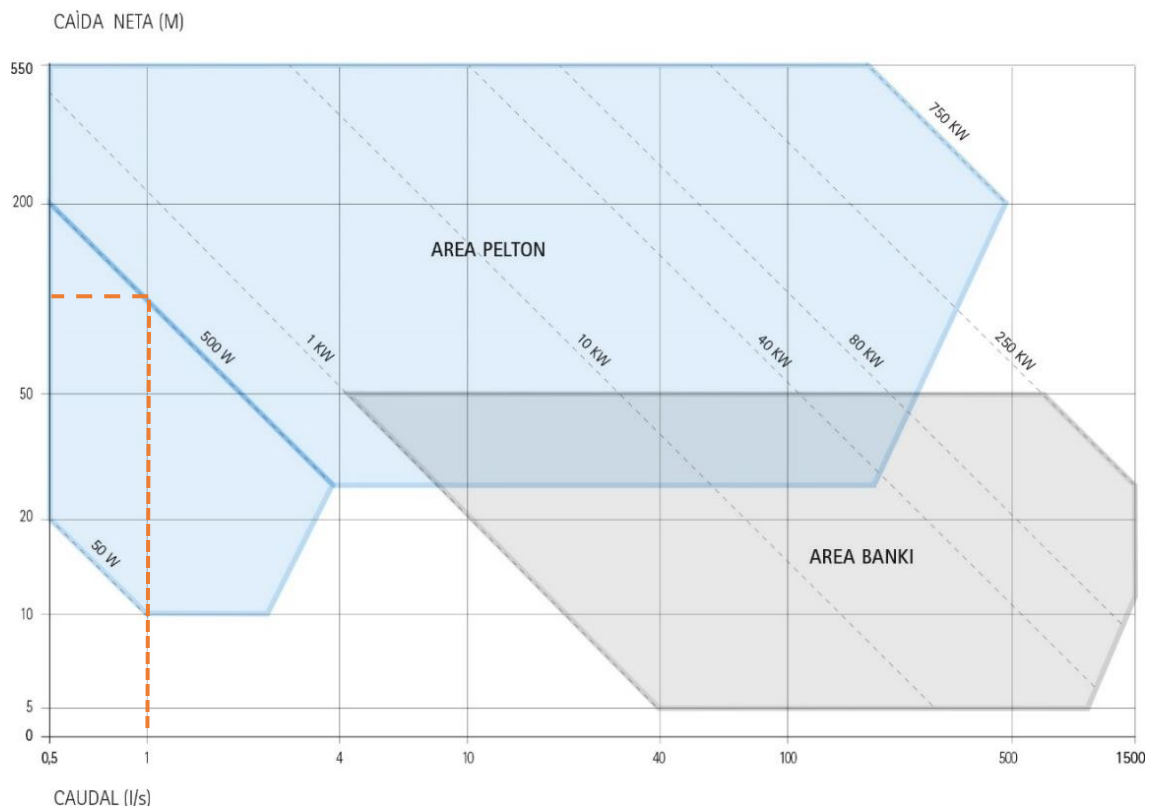
Para determinar el tipo de turbina a diseñar se tuvo en cuenta la información obtenida de la recolección de datos y las bases teóricas. Según el desnivel de altura y el caudal disponible en el cauce se da la elección de uno u otro tipo de turbina hidráulica (Mataix, 1986).

Según (Enel, 2018) los tipos más comunes de turbinas hidráulicas son la turbina Francis empleada para saltos de altura media y caudales medios de agua entre 2 a $100m^3$, la turbina Kaplan utilizada en pequeños saltos y grandes variaciones en el caudal desde $200m^3$ y la turbina Pelton empleada en grandes saltos y pequeños caudales menores de $50m^3$.

De esta manera se eligió la turbina Pelton por estar dentro del campo de utilización (**Figura 5**) según el caudal y la altura disponible, además por contar con una infraestructura de tuberías existe la que se puede adaptar con facilidad haciendo más viable la implementación del proyecto.

Figura 5.

Campo de aplicación de turbinas hidráulicas.



Nota: Con el caudal disponible en la red de tuberías aproximadamente 1l/s y una altura aproximada de 100 metros elegimos la turbina Pelton para la implementación en el punto de utilización. **Fuente:** (IREN, 2020)

Coz Federico, (1995) explica la definición y las partes de una turbina Pelton:

Una turbina de acción, flujo tangencial y admisión parcial son tres definiciones para la turbina Pelton. Cuando hay cabezales grandes y caudales bajos, funciona de manera efectiva. El flujo de presión atmosférica se usa durante el proceso. En cambio, el distribuidor de una turbina Pelton se compone de uno o más inyector. En turbinas más pequeñas utilizadas en microcentrales eléctricas, se puede eliminar la aguja y el impulsor puede funcionar con una o más boquillas y un flujo constante mientras ocasionalmente se mantiene la placa deflectora, El impulsor tiene admisión parcial, depende de la cantidad de inyector o jets, y está construido de un disco con varias cucharas unidas a su borde. Las turbinas Pelton pueden instalarse horizontalmente con 1 o 2 inyector, y verticalmente

con 3 a 6 inyectores. Lo cual es ideal para que se emplean en pequeñas y grandes centrales.

Fernandez Díez, (1996) afirma que, “la turbina Pelton es tangencial, y la más utilizada para saltos grandes”.

B. OE2. Diseñar la geometría de los componentes que conformarán la microturbina considerando aspectos fundamentales de diseño (análisis de esfuerzos mecánicos y de evaluación de fluidos básicos).

2.6.6 Metodología de Cálculo de los parámetros de diseño de microturbina hidráulica seleccionada. (dimensiones)

Se consideró como caudal y altura de diseño los valores medidos en la recolección de datos, los cuales se muestran en la Tabla 7, en caso de caudal se toma el valor máximo resultante de las mediciones en temporada de lluvias, para la altura se considera el desnivel existente entre punto de utilización y la captación.

Tabla 7.

Potencia, caudal y altura disponible.

Potencia watts	Caudal (m^3/s)	Altura (m)
893	0.00095799	95

Fuente: *Elaboración propia.*

El cálculo de los parámetros de diseño se realizó interactivamente para lo cual se implementó una hoja de cálculo utilizando visual Basic, con la finalidad de interactuar entre las variables independientes y dimensiones de la microturbina, Esto con el propósito de adecuarnos a las condiciones de la red de tuberías y recursos de manufactura disponible para la implementación.

A continuación, se describe la metodología de cálculo adaptada de (Mataix, 1986) y (Maldonado et al., 2022), los autores plantean en sus libros una metodología de cálculo y dimensionamiento de turbinas Pelton basándose en la experimentación de prototipos funcionales.

- **Potencia neta de la turbina**

La potencia está en función del caudal, altura, y propiedades del agua y a la eficiencia total del sistema y se define con la Ecuación:

$$P = Q\rho gH \quad (4)$$

La potencia disponible para la implementación de la microturbina está determinada en la Sección 2.7.4.

- **Perdidas de carga en la red de tuberías.**

La determinación precisa de las pérdidas de carga es uno de los factores más destacados en los diseños hidráulicos de conducción. Por esta razón, es necesario calcular con mayor precisión dichas pérdidas (Alegret & Martínez, 2019).

La ecuación de Hazen-Williams en función de las pérdidas de carga, escrita en su formato más conocido (Alegret & Martínez, 2019)

$$h_f = 10,672 \frac{L}{D^{4,871}} \left(\frac{Q}{C_{HW}} \right)^{1,852} \quad (5)$$

Donde:

h_f : pérdidas de carga en un conducto circular de longitud L (m)

C_{HW} : coeficiente de pérdidas de Hazen-Williams se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8.

Coficiente de Hazen-Williams para diferentes materiales.

Material	C	Material	C
Asbesto cemento	140	Hierro galvanizado	120
Latón	130-140	Vidrio	140
Ladrillo de saneamiento	100	Plomo	130-140
Hierro fundido nuevo	130	Plástico (PE, PVC)	140-150
Hierro fundido, 10 años de curado	107-113	Tubería lisa nueva	140
Hierro fundido, 20 años de curado	89-100	Acero nuevo	140-150
Hierro fundido, 30 años de curado	75-90	Acero	130
Hierro fundido, 40 años de curado	64-83	Acero rolado	110
Concreto	120-140	Lata	130
Cobre	130-140	Madera	120
Hierro dúctil	120	Hormigón	120-140

Fuente: *Elaboración propia con datos de (Alegret & Martínez, 2019).*

- **Potencia útil**

$$P_a = P\eta_T \quad (6)$$

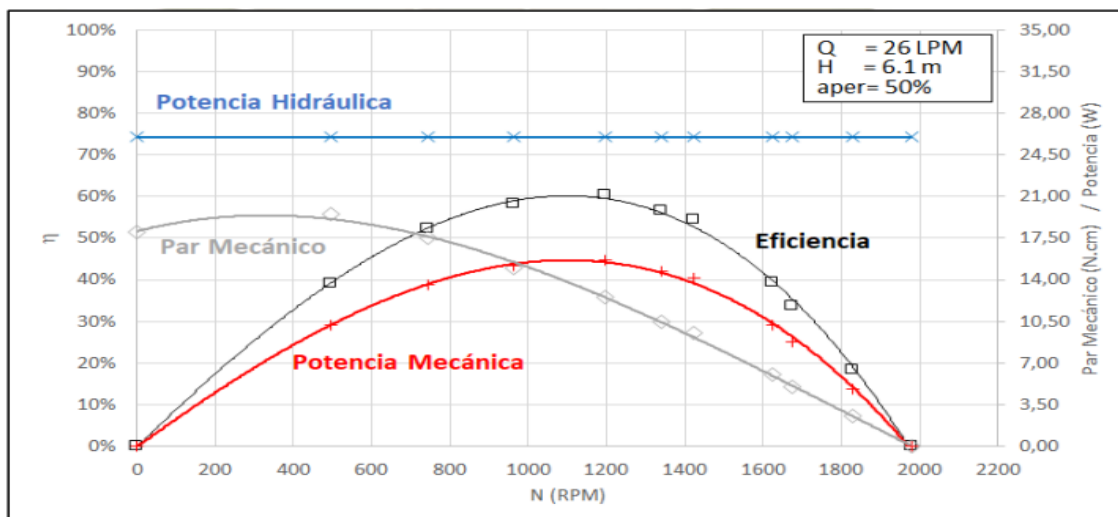
Para fines de comparación se seleccionó interactivamente la eficiencias de las curvas características del diseño de una microturbina Pelton resultantes de los ensayos en el marco del trabajo de investigación de (Héctor & Canaza, 2018).

Según (Nava & García, 2014) la eficiencia de una turbina hidráulica está estrechamente relacionada con su tamaño debido a las pérdidas por fuga, a diferencia de la turbina Pelton donde la eficiencia de éstas es en la práctica independiente de su tamaño, dado que no puede hablarse en este caso de pérdidas por fugas.

Las curvas características de una turbina Pelton presentan una forma definida, tan como se muestra en el Grafico 8.

Gráfico 8.

Curva característica de Microturbina Pelton.



Nota: El **Grafico 8** muestra las curvas características producto de ensayos realizados a una micro turbina Pelton. **Fuente:**(Héctor & Canaza, 2018)

- **Número específico de revoluciones**

Las turbinas hidráulicas están caracterizadas por una constante llamada también número específico de revoluciones que abarca variables de diseño (Nava & García, 2014) y se determina con la ecuación 7:

$$n_s = n * \frac{P_a^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}} \quad (7)$$

- **Parámetros del inyector.**

Según (Mataix, 1986) en el caso de las turbinas Pelton toda la energía disponible se convierte, en el chorro, en energía cinética y está determinado por la Ecuación 8, donde K_{c1} viene a ser el coeficiente de velocidad comprendido entre 0.97 a 0.99.

$$c_1 = K_{c1} * \sqrt{2 * g * H} \quad (8)$$

El diámetro de salida de la tobera (d) se determina con la Ecuación 9, calculamos previamente el diámetro del chorro (d_0) con la Ecuación 10.

$$d = \frac{1}{C_c} * d_0 \quad (9)$$

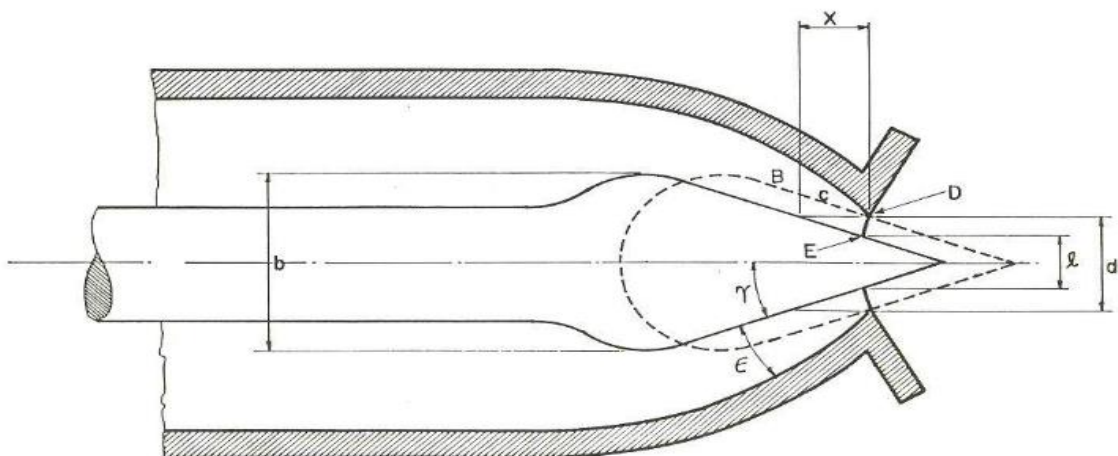
$$d_0 = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * c_1}} \quad (10)$$

C_c es el coeficiente de contracción del chorro del agua respecto al diámetro de boquilla cuyo valor puede oscilar entre 0.87 - 0.80, para el diseño de la microturbina hidráulica por conveniencia elegimos el valor de 0.87.

La forma referencial del inyector se muestra en la Figura 6, al ser el diseño desarrollado en micro escala la válvula de agujas se suprimió.

Figura 6.

Dimensiones del inyector de una turbina Pelton.



Nota: La **Figura 6** muestra los parámetros dimensionales del inyector de una turbina Pelton, para pequeñas y microturbinas la válvula de aguja se suprime. **Fuente:** (Hernández & Idacochea, 1988)

- **Parámetros del rodete.**

El dimensionamiento geométrico del rodete está estrechamente relacionado entre la relación del diámetro Pelton y el diámetro del chorro (Hernández & Idacochea, 1988). El diámetro del rodete se determina con la Ecuación 11.

$$D = \frac{u}{\pi \cdot n} = \frac{K_{u1} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}}{\pi \cdot n} \quad (11)$$

Donde K_{u1} es el coeficiente de velocidad periférica, este valor adimensional se ha obtenido en banco de pruebas y oscila entre 0.44 a 0.46 (Mataix, 1975).

De igual manera determinamos la relación de diámetros con la Ecuación 12

$$\delta = \frac{d_0}{D} \quad (12)$$

Si la relación de diámetros es excesivamente pequeña el chorro pierde eficiencia al aumentar la distancia desde la salida del inyector al rodete por lo contrario al aumentar la relación de diámetros, aumentaría las dimensiones de las cucharas que serían imposible de acoplar al rodete (Mataix, 1975).

La Tabla 9 contiene los valores máximos y mínimos admitidos de δ en función de n_s . cuyos valores fueron útiles para validar los resultados del cálculo para el diseño de la microturbina Pelton implementada. (se resalta la condición selecciona para el diseño)

Tabla 9.

Límites máximos y mínimos de la relación de diámetros y del número específico de revoluciones de las turbinas Pelton de un solo chorro. (se resalta la condición selecciona para el diseño)

Límite de aplicación	Relación de diámetros $\delta = d_0/D$	Número específico de revoluciones $n_s = 240 \delta$
Límite mínimo (mal rendimiento)	$\frac{1}{100}$ (1)	2,4
Límite mínimo práctico (buen rendimiento)	$\frac{1}{30}$	8

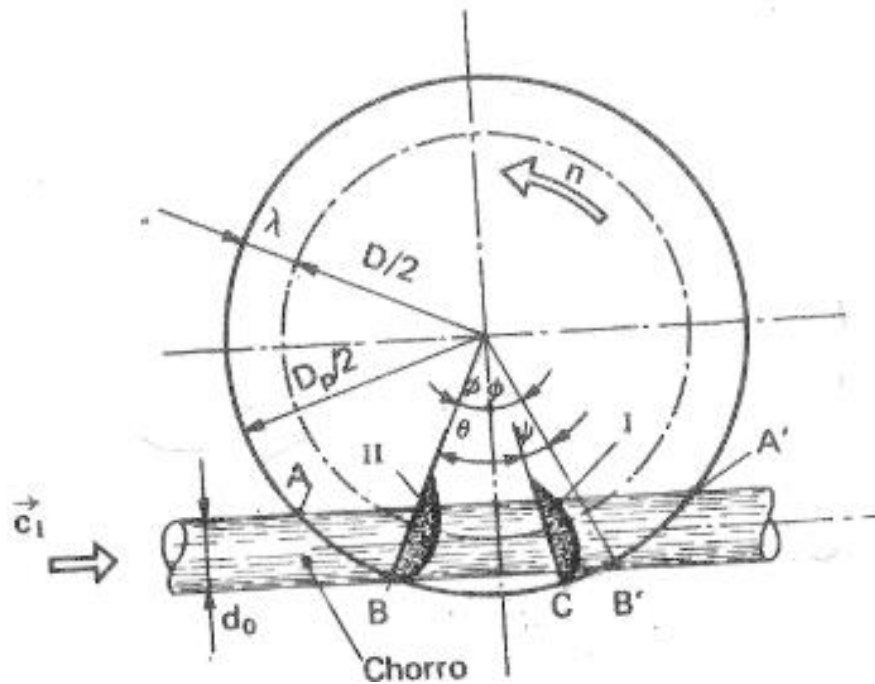
Límite máximo (mal rendimiento)	$\frac{1}{7}$	35
Límite máximo práctico (buen rendimiento)	$\frac{1}{9}$	27

Fuente: (Mataix, 1975).

Los parámetros dimensionales del rodete se ilustran en la Figura 7.

Figura 7.

Parámetros dimensionales del rodete



Fuente: (Mataix, 1975).

El número de cucharas de la turbina Pelton esto relacionado con el paso angular Ecuación 13 describe esta relación:

$$z = \frac{2\pi}{\theta} \quad (13)$$

Donde θ es el paso angular y se determina con la ecuación:

$$\theta = 2 * \phi - \psi \quad (14)$$

ϕ es el paso medio de la circunferencia del diámetro de la turbina Pelton y se determina con la siguiente expresión:

$$\phi = \cos^{-1} \frac{1+\delta}{1+2*k*\delta} \quad (15)$$

Y ψ es el ángulo de incidencia de la cuchara y se determina con la siguiente expresión:

$$\psi = \frac{2 * K_{u1}}{K_{c1}} * \sqrt{(1 + 2 * k * \delta)^2 - (1 + \delta)^2} \quad (16)$$

k es una contante que está en función de la forma del rodete como también del número específico de revoluciones y se calcula con la siguiente ecuación:

$$k = \frac{1}{2} * \frac{D_p - D}{d_0} \quad (17)$$

Donde D_p es el diámetro de las puntas de la cuchara, ver Figura 7, existe don expresiones por las cuales se puede calcular D_p cuyos resultados son aproximadamente iguales:

Según (Mataix, 1975):

$$D_p = 2 * d_0 + D \quad (18)$$

Según (Jara T, 1998) para aproximar con más exactitud D_p a valores reales es incrementando el diámetro de chorro d_0 en un 16% aproximadamente esto para compensar la contracción, esta es una expresión aproximada para un primer calculo.

$$D_p = D + 2 * 1.16 * d_0 \quad (19)$$

- **Orientación de las cucharas**

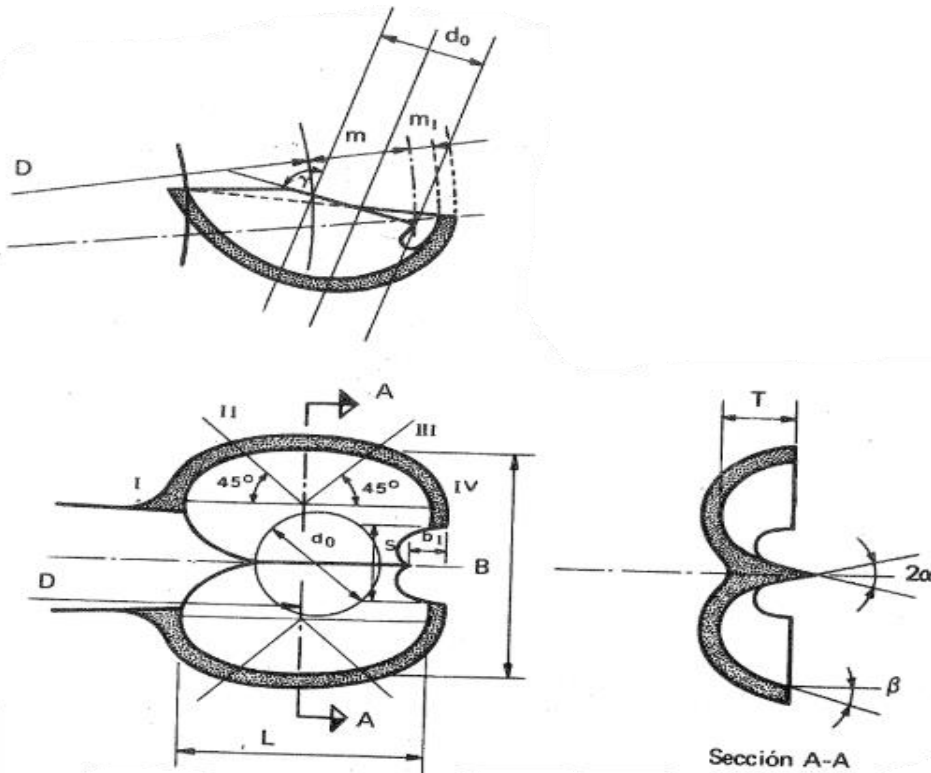
Es importante que las cucharas tengan una orientación definida con respecto a la trayectoria del chorro. (Hernández & Idacochea, 1988) a partir de análisis gráficos ha determinado una fórmula empírica (Ecuación 20) por tanteo que determina un diámetro D' concéntrico al diámetro del rodete donde las tangentes definen la orientación de las aristas con las cucharas.

$$\frac{D_p}{D'} = \frac{7.87 * \left(\frac{D_p}{d}\right)^{-26}}{z} \quad (20)$$

La Figura 8 muestra la orientación de las cucharas en el rodete cuyas aristas son perpendiculares al chorro y tangentes al diámetro D' .

Figura 8.

Orientación de las cucharas.

Figura 9.*Parámetros dimensionales de la cuchara**Fuente: (Mataix, 1975).*

Del mismo modo (Jara T, 1998) establece otras expresiones empíricas, para evitar el desgaste prematuro de la arista media el ángulo α no debe ser inferior a 20° y el ángulo β de 8 a 12.

$$b = [2,8 - 3,6] d \quad (28)$$

$$h = [2,5 - 2,85] d \quad (29)$$

$$e = [0,8 - 1,0] d \quad (30)$$

$$B = [1,2 - 1,7]d \text{ ó } 3h/5 \quad (31)$$

$$M = [1,1 - 1,25] d \quad (32)$$

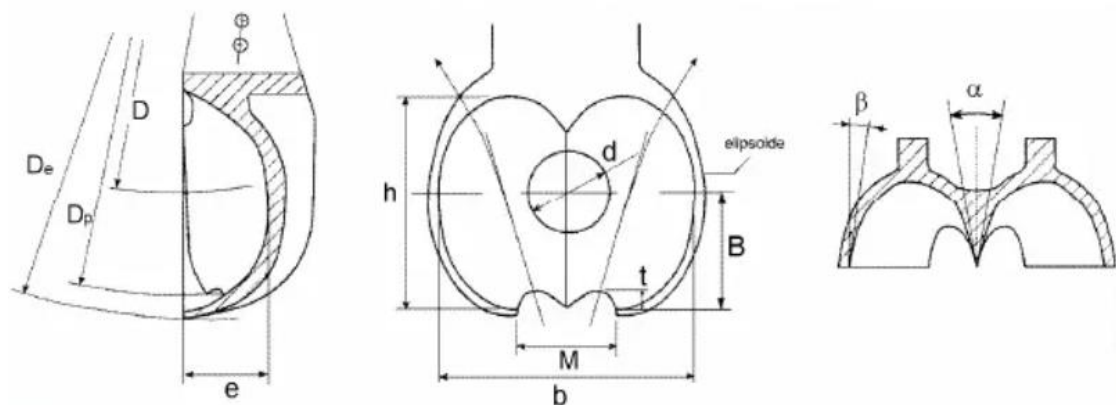
$$t = 1,5 d \quad (33)$$

$$\alpha \approx 20^\circ; \quad \beta = 8^\circ - 12^\circ \quad (33.5)$$

$$D_e = D + 2 \times 3 h/5 \text{ ó } D_e = D_p + d \text{ ó } D_e = (1,028 + 0,013 n_s)D \quad (34)$$

Figura 10.

Parámetros dimensionales de la cuchara



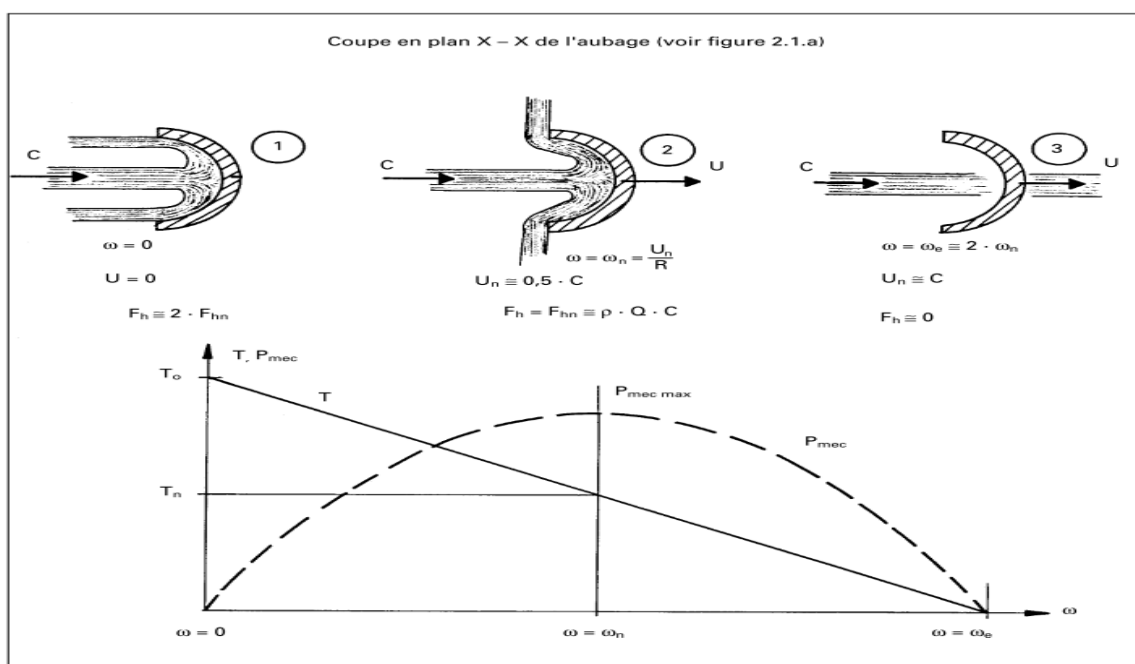
Fuente: Adaptado de (Jara T, 1998)

- **Cálculo de Potencia teórica en el eje.**

Para determinar la potencia teórica en el eje de la turbina calculamos la fuerza que el chorro ejerce sobre la cuchara cuando esta se encuentra estática (cuyo momento se ilustra en la Figura 11) la velocidad tangencial u_1 es igual a cero y cuando u_1 es equivalente a c_1 la fuerza ejercida por el chorro se iguala a cero (Chapallaz et al., 1995).

Figura 11.

Fuerza ejercida por el chorro sobre la cuchara



Fuente: (Chapallaz et al., 1995)

$$F = F_h = \rho * Q * (c_1 - u_1) \quad (35)$$

Además, el torque está definido con la ecuación:

$$\tau = \Gamma * F \quad (36)$$

Donde Γ es el radio del rodete

Y finalmente La potencia teórica en el eje de la microturbina se define con la siguiente ecuación:

$$P_t = \tau * \omega \quad (37)$$

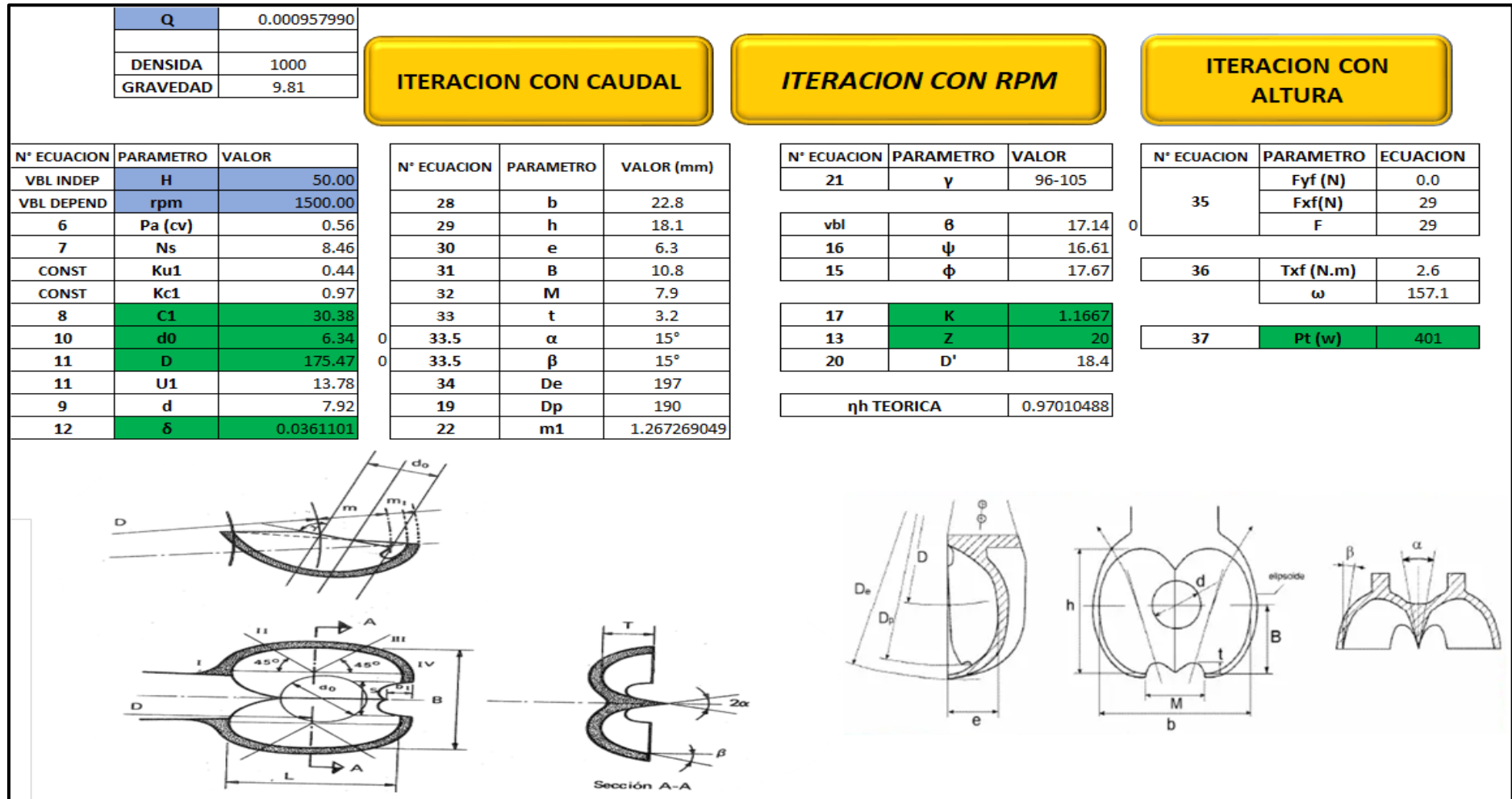
Donde ω es la velocidad angular.

2.6.7 Definición de dimensiones mínimas y el tipo de material del cual estarán construido los componentes y partes del prototipo.

Con base en el método de cálculo descrito y las bases teóricas presentadas en la sección anterior, se desarrolló un macro en Visual Basic, cuya interfaz se muestra en la Figura 12. Este macro permitió aplicar un proceso de iteración para optimizar los parámetros de diseño, determinando así las dimensiones ideales que se ajustan a las condiciones específicas de la red y los recursos disponibles para su implementación.

Figura 12.

Interfaz de macro Visual Basic



Nota: La Figura 12 muestra la interfaz del macro programado en Visual Basic, esto nos permitió seleccionar las dimensiones optimas de la microturbina adaptándonos así a las condiciones de la red de tuberías y recursos de manufactura. Fuente: Elaboración propia.

Es importante destacar que las ecuaciones descritas en el apartado 2.2.6 fueron utilizadas para calcular cada parámetro mostrado en la Figura 12. Se implementaron estas ecuaciones en una plantilla y se creó un bucle en Visual Basic para ejecutar el cálculo, explorando diferentes combinaciones de valores para las variables independientes Caudal y Altura

- **Iteración con variables independientes.**

Con ayuda del macro se pudo calcular los parámetros de diseño de la microturbina Pelton en cada punto de la red de tuberías de PVC, desde la captación hasta el punto de implementación. El macro programado permitió automatizar el cálculo ingresando únicamente las variables independientes, iterando con posibles condiciones de funcionamiento.

Después del análisis iterativo se estableció los valores máximos de caudal, altura y rpm teniendo en cuenta las siguientes condiciones:

- La universidad a través del Instituto de Investigación en Energías Renovables cuenta con tecnología de impresión 3D por filamentos, sin embargo, por las características de acabado necesarias para los álabes de la turbina, se requirió de impresora 3D con resina que cuenta el Instituto de Investigación en Ciencia de Datos en UNJ.
- Materiales disponibles de baja resistencia a la tensión.
- Presupuesto limitado para la implementación.
- Finalmente, solo se pretende demostrar el aprovechamiento energético en redes de tubería de abastecimiento de agua.

Con estas condiciones en la Tabla 10 se presentan los valores de variables para el diseño e implementación del modelo.

Tabla 10.

Parámetros máximos de diseño para la implementación

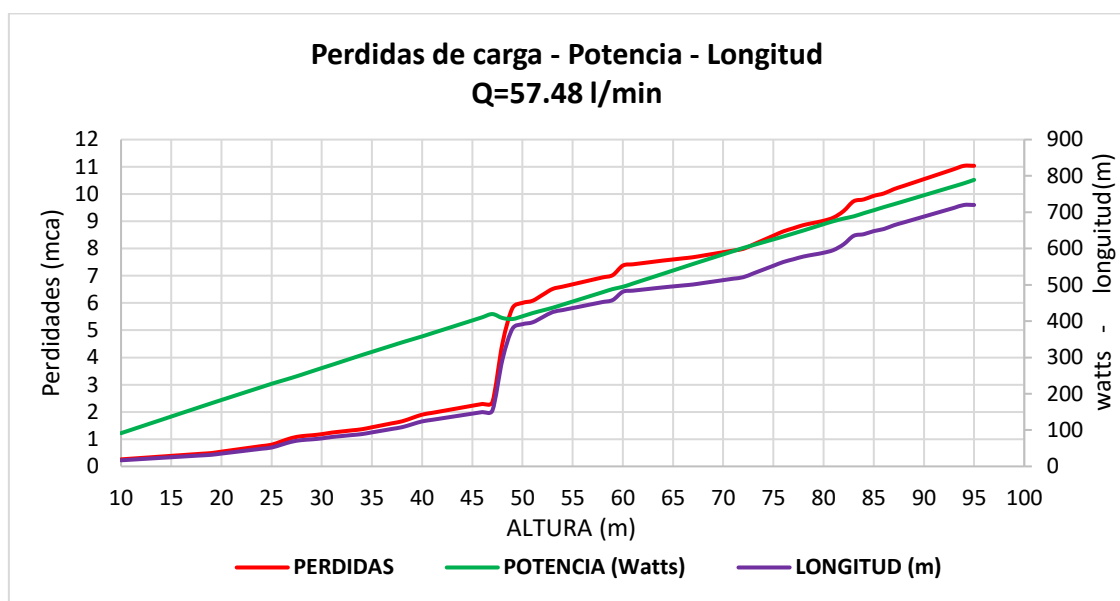
Caudal <i>(m³/s)</i>	Altura (m)
0.00095799	50

Nota: Se estableció aprovechar el potencial energético existente en una altura máxima de 50 metros con el caudal máximo de la red.

En el Gráfico 9 podemos apreciar las pérdidas de carga en función de la longitud de la tubería, así mismo se puede notar un declive en la pendiente de la recta de potencia esto debido a que en este punto las pérdidas se incrementan al existir una gran longitud de tuberías y poco desnivel de terreno.

Gráfico 9.

Perdida de carga, potencia y longitud



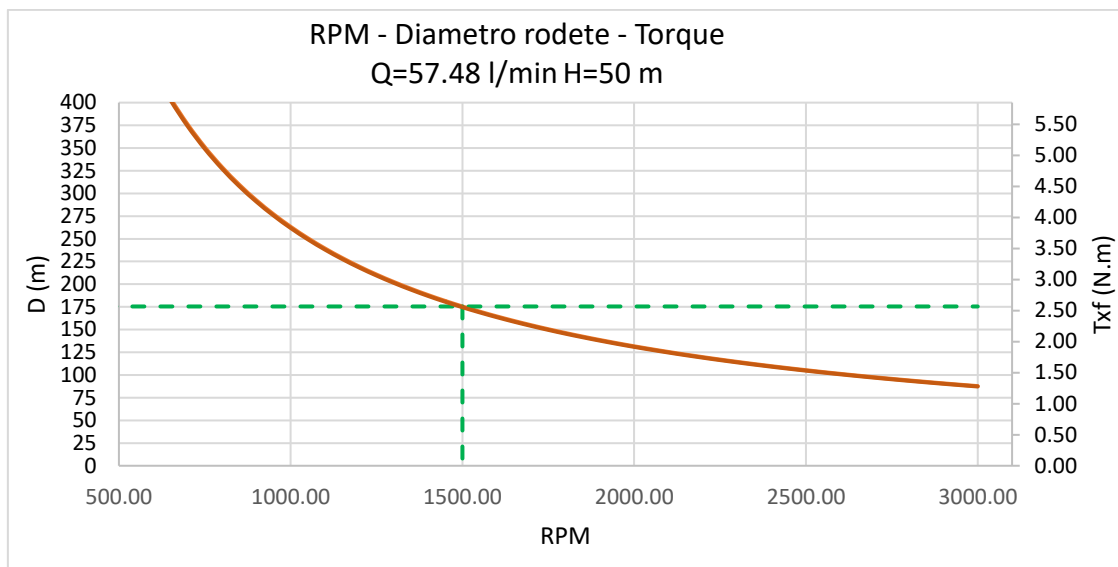
Fuente: Elaboración propia

El sistema de la red de tuberías de abastecimiento de agua presenta pérdidas en un total 11 mca (metros de columnas de agua). con los parámetros máximos de diseño determinados según la **Tabla 10** las pérdidas son 6 mca, esto se traduce en 12% de pérdidas de potencia en el punto de utilización. Las perdidosas se calcularon con **Ecuación 5**

Se demuestra que mientras más elevado el rpm se requiere menos diámetro de rodete, pero el torque disminuye, esta relación de muestra en el Gráfico 10. Por la condición de capacidad de volumen de impresión 3D se estableció como máximo diámetro de rodete de 175 mm y su defecto un rpm de 1500.

Gráfico 10.

Relación RPM - Diámetro - Torque.

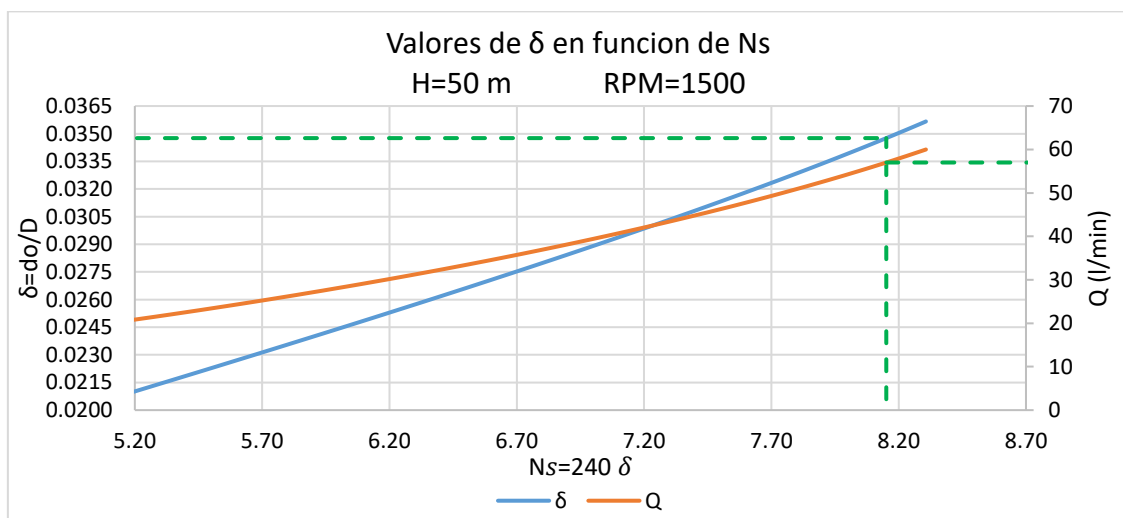


Nota: el Gráfico 10 muestra la curva DIAMETRO-RPM-TORQUE. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 9 establece el límite mínimo aceptable de δ para garantizar un buen rendimiento de la microturbina, lo que se corrobora con la relación entre δ y N_s mostrada en el Gráfico 11.

Gráfico 11.

Relación δ - N_s y Q - N_s



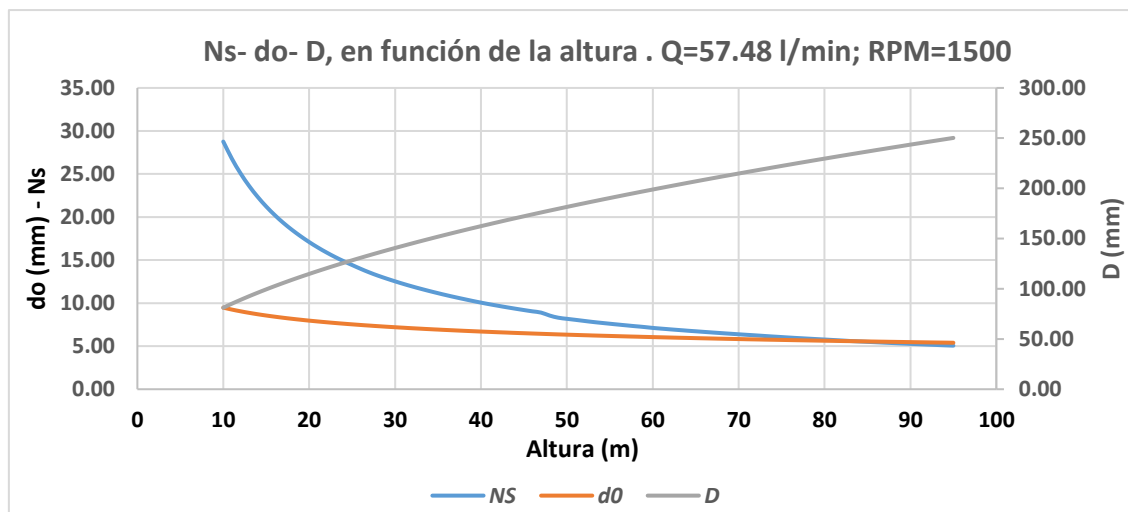
Nota: El Gráfico 11 muestra los valores de δ en función del N_s , con la Tabla 9 establecemos el límite mínimo de δ para un buen rendimiento de la microturbina. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con las bases teóricas resumidas en la Tabla 9, para lograr un buen rendimiento en el modelo, es necesario mantener la relación de diámetros (δ) y las revoluciones específicas (N_s) dentro de límites máximos y mínimos. Tras iterar, se estableció 1500 rpm como parámetro de diseño óptimo, acercándonos lo máximo posible a los límites mínimos de δ y N_s , con el fin de obtener un rendimiento óptimo en la microturbina hidráulica.

Una altura de implementación de 50 m para la microturbina resulto en parámetros de diseño óptimos para un rendimiento eficiente, como se puede observar en el Gráfico 12, donde se presentan las curvas N_s -H, d_0 -H y D-H.

Gráfico 12.

Valores de N_s d_0 y D en función de la altura.



Nota: El Gráfico 12 muestra las curvas N_s -H, d_0 -H y D-H. La altura determinada para la implementación de la microturbina (50m) da como resultado parámetros de diseño aceptables para un buen rendimiento, Según la Tabla 9. **Fuente:** Elaboración propia.

Los parámetros de diseño óptimos para la implementación de la microturbina, determinados en base a los análisis y cálculos previos, se presentan en la Tabla 11

Tabla 11.

Parámetros de diseño determinados para la implementación de la microturbina.

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Q_{max} (m ³ /s)	9.58E-04	b	22.8
H (m)	50.000	h	18.1

rpm	1500	e	6.3
Pa (cv)	0.562	B	10.8
Ns	8.459	M	7.9
Ku1	0.440	t	3.2
Kc1	0.970	α	15°
C1 (m/s)	30.381	β	15°
d0 (mm)	6.336	De	197
D (mm)	175.473	Dp	190
U1 (m/s)	13.781	D' (mm)	18.4
D (mm)	7.920	m1	1.267
δ	0.036	Fyf (N)	0.036
γ	96°-105°	Fxf(N)	29.105
θ	17.14°	F	29.105
ψ	16.61°	Txf (N.m)	2.554
φ	17.67°	ω	157.080
K	1.167	Pt (w)	401.114
Z	20.374	ηh	
		TEORICA	0.970

Nota: La Tabla 11 contiene los valores definidos de los parámetros de diseño para la implementación de la microturbina. Fuente: Elaboración propia.

- **Cálculo de diámetro de eje**

Para determinar el diámetro mínimo de eje de la microturbina usamos el método de ED-Goodman descrito por (Budynas & Nisbett, 2014).

$$d = \left(\frac{16}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{1/3} \quad (38)$$

Donde M_a, M_m representan los Momentos flexionante medio y alterno, T_a, T_m son pares de torsión medio y alterno, K_f, K_{fs} representan los factores de esfuerzo por fatiga de flexión, torsión, S_{ut} es la Resistencia a la tensión y S_e es el límite de resistencia contra la fatiga.

Dado que, en un eje giratorio con flexión y torsión constantes, el esfuerzo flexionante es en su totalidad reversible, por otro lado la torsión es constante, M_m y T_a toman valor 0 (Budynas & Nisbett, 2014). Del mismo modo se asume para K_f, K_{fs} valores de 1.

De acuerdo con (Budynas & Nisbett, 2014), el límite de resistencia a la fatiga para los aceros se puede estimar como:

$$S_e = \begin{cases} 0.5 * S_{ut} & S_{ut} \leq 200Kpsi (1400 MPa) \\ 100Kpsi & S_{ut} > 200 \\ 700Kpsi & S_{ut} > 1400MPa \end{cases}$$

El eje estará directamente en contacto con el agua por lo cual se determinó como material acero inoxidable 304 para evitar la oxidación, cuyas propiedades mecánicas se presentan en la Tabla 12.

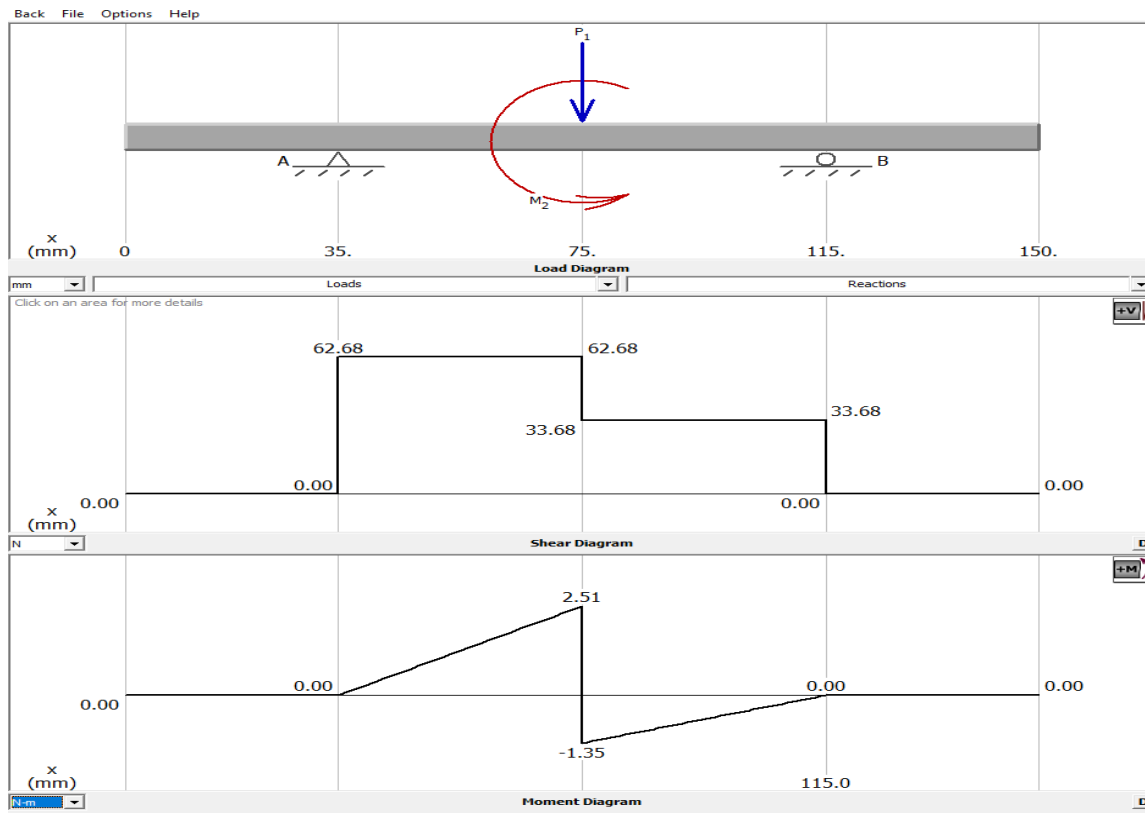
Tabla 12.

Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304

AISI 304							
Composición	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Cr	%Ni
Química:	0.08 máx.	2.00 máx.	0.045 máx.	0.030 min	1.00 máx.	18.0-20.0	8.0-10.5
Condición de Suministro:	Recocido a una dureza de 262 HB (~ 26 HRC)						
Propiedades mecánicas (aprox. a temperatura ambiente)	Resistente a la tensión		Límite elástico	Elongación	Reducción de área (%)		
	MPa (Lb/in ²)		MPa (Lb/in ²)	(%)	área (%)		
	515 (75,000)		205 (30,000)	30	40		

Nota: La **Tabla 12** muestra las propiedades mecánicas para el acero Inox 304. **Fuente:** *Elaboración propia con datos de (Serviaceros, 2021).*

Para determinar el diagrama flector, mostrado en la Figura 13, se usó el software MDSolids con versión gratuita; P_1 representa la fuerza ejercida por la gravedad y M_2 representa el momento de torsión.

Figura 13.*Diagrama de momento flector*

Nota: La **Figura 13** muestra el diagrama de momento flector, el valor máximo del momento flector es 2.51 Nm. Se tomó la longitud de eje por conveniencia posteriormente será adaptada en el ensamble. **Fuente:** Elaboración propia utilizando MDSolids.

Teniendo en cuenta las bases teóricas descritas, utilizando la **Ecuación 38** y considerando un factor de seguridad de 1.25; el diámetro mínimo de eje de material de acero inoxidable 304 nos da como resultado 7.85 mm.

Con fines de fabricación el diámetro mínimo resultante del cálculo sería dificultoso acoplar al rodete, a los rodamientos y al componente de arrastre, por tal sentido, para la elección de diámetro de eje se consideró la Tabla 13 teniendo como referencia el diámetro calculado.

Tabla 13.*Diámetros estándar de eje sólido Inox 304.*

DIÁMETRO	
in	mm
3/16"	4.76
1/4"	6.35
5/16"	7.94
3/8"	9.53
1/2"	12.7
5/8"	15.88
3/4"	19.05
1"	25.4
1-1/4"	31.75
1-1/2"	38.1
2"	50.8
2-1/2"	63.5
3"	76.2
3-1/2"	88.9
4"	101.6
5"	127
6"	152.4

Nota: la **Tabla 13** muestra los diámetros estándar de eje sólido en acero inoxidable 304 disponibles en el mercado, para la implementación de la microturbina se consideró trabajar con el diámetro de 3/8" (7.9375mm). **Fuente:** Elaboración propia con datos de (DIPAC MANTA S.A., 2006)

- **Material de fabricación para el rodete**

Luego de un análisis de los procesos disponibles (proceso CAD-CAM e impresión 3D) para la implementación del prototipo, se concluyó que la impresión 3D con resina facilitaba la fabricación de las piezas, por tenerla disponible en la Universidad Nacional de Jaén. Las propiedades mecánicas de la resina se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14.*Propiedades mecánicas de la resina*

Nota: Propiedades mecánicas de la resina disponible en la universidad nacional de jaén.

	Verde	UV Post- Curado	UV + Térmico
Propiedad de tracción			
Resistencia máxima a la tracción	55 MPa	65 MP	53 MPa
Módulo de tracción	7.5 GPa	10 GPa	10 GPa
Alargamiento a la rotura	2%	1%	1%
Propiedades de flexión			
Resistencia a la flexión	25 MPa	30 MPa	50 MPa
Módulo de flexión	6 GPa	9 GPa	10 GPa

Fuente: Elaboración propia con datos de (FormLabs, 2021)

- **Materiales para la fabricación de la estructura (carcasa, banco de pruebas, asiento de rodamientos)**

Se determino los Tubos LAC Mecánicos ASTM A36 como material principal para la estructura donde se acoplará la microturbina.

De acuerdo con (SUPEMESA, 2023) los tubos LAC se fabrican utilizando acero al carbono laminado en caliente, que se produce a través de un proceso de soldadura por resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal (ERW). En la Tabla 15 se detallan las dimensiones estándar para el perfil cuadrado de estos tubos.

Tabla 15.

Dimensiones estándar de tubo LAC cuadrado.

		CUADRADO							
(Pulg)	(mm)	1.5	1.8	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0
1	25.4	0.18	1.27	1.39	1.67	1.93			
1 1/4	31.8	1.38	1.63	1.79	2.17	2.53			
1 1/2	38.1	1.68	1.99	2.19	2.67	3.12			
2	50.8	2.28	2.70	2.98	3.67	4.32			
	40			2.31	2.82	3.30			
	50			2.93	3.60	4.25	5.45	6.56	7.56
	75			4.50	5.56	6.60	8.59	10.48	
	100			6.07	7.53	8.96	11.73	14.41	16.98
	135						16.13	19.90	29.58

Nota: En Tabla 15 se indica las dimensiones de tubo LAC de perfil cuadrado disponibles en el mercado, Se determino usar tubo cuadrado de 1 pulga. Fuente: (SUPEMESA, 2023)

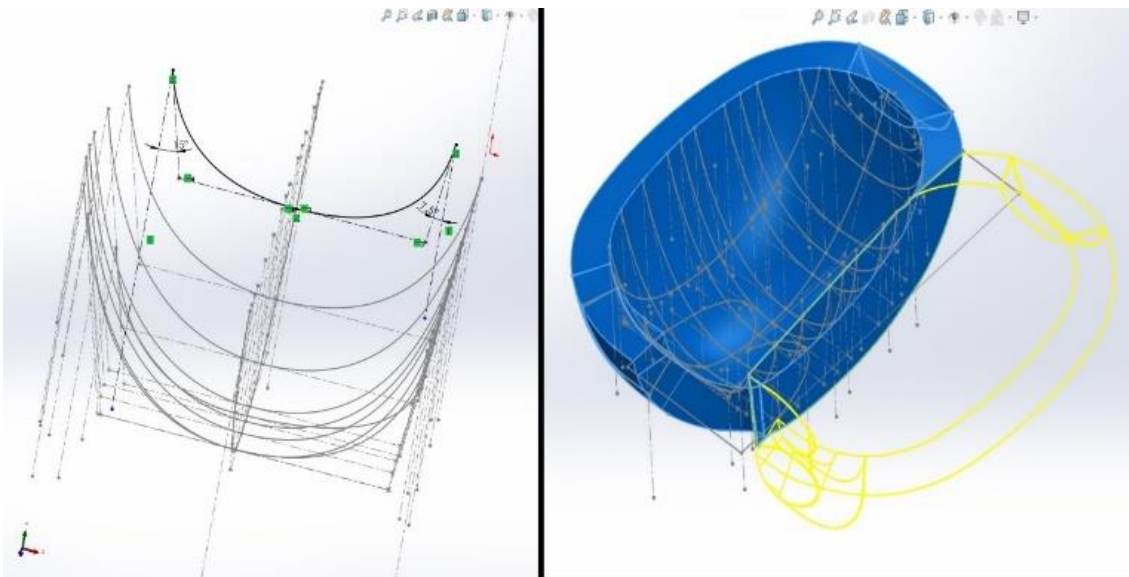
2.6.8 Modelamiento del diseño en software CAD.

Determinado los parámetros de diseño se procedió a modelar las partes principales de la microturbina, para lo cual se utilizó el software de diseño CAD.

El modelamiento de la cuchara se llevó a cabo a través de la técnica de planos paralelos en SolidWorks perfilando la superficie más optima posible y manteniendo las dimensiones calculadas, tal como se muestran en la Figura 14.

Figura 14.

Modelado de cuchara.



Nota: *Proceso de modelamiento de la cuchara en software CAD. Fuente:* *Elaboración propia usando SolidWorks.*

El modelamiento del rodete se completó ejecutando una matriz circular con el numero calculado de cucharas (20), teniendo en cuenta el diámetro nominal del rodete. El proceso CAD se ilustra en la Figura 15.

Nota: Proceso de modelamiento de la tobera en software CAD. Fuente: Elaboración propia usando SolidWorks.

2.6.9 Análisis estático de esfuerzos en software CAD.

- **Simulación de esfuerzos en el rodete**

Para llevar a cabo el análisis estático del rodete a través de una simulación en software CAD, se tuvo en cuenta las siguientes condiciones:

- Propiedades mecánicas de la resina utilizada en la fabricación (**Tabla14**)
- Para el análisis estático, se asume la fracción de tiempo en donde la fuerza de chorro ejerce en una sola cuchara.
- Condiciones de funcionamiento en el instante que la fuerza del chorro ejerce en una sola cuchara:
- Parámetros de funcionamiento calculados mostrados en la Tabla 16

Tabla 16.

Parámetros de funcionamiento

Fuerza (N)	Velocidad angular (rad/s)	Gravedad
30	157 (1500rpm)	9.81

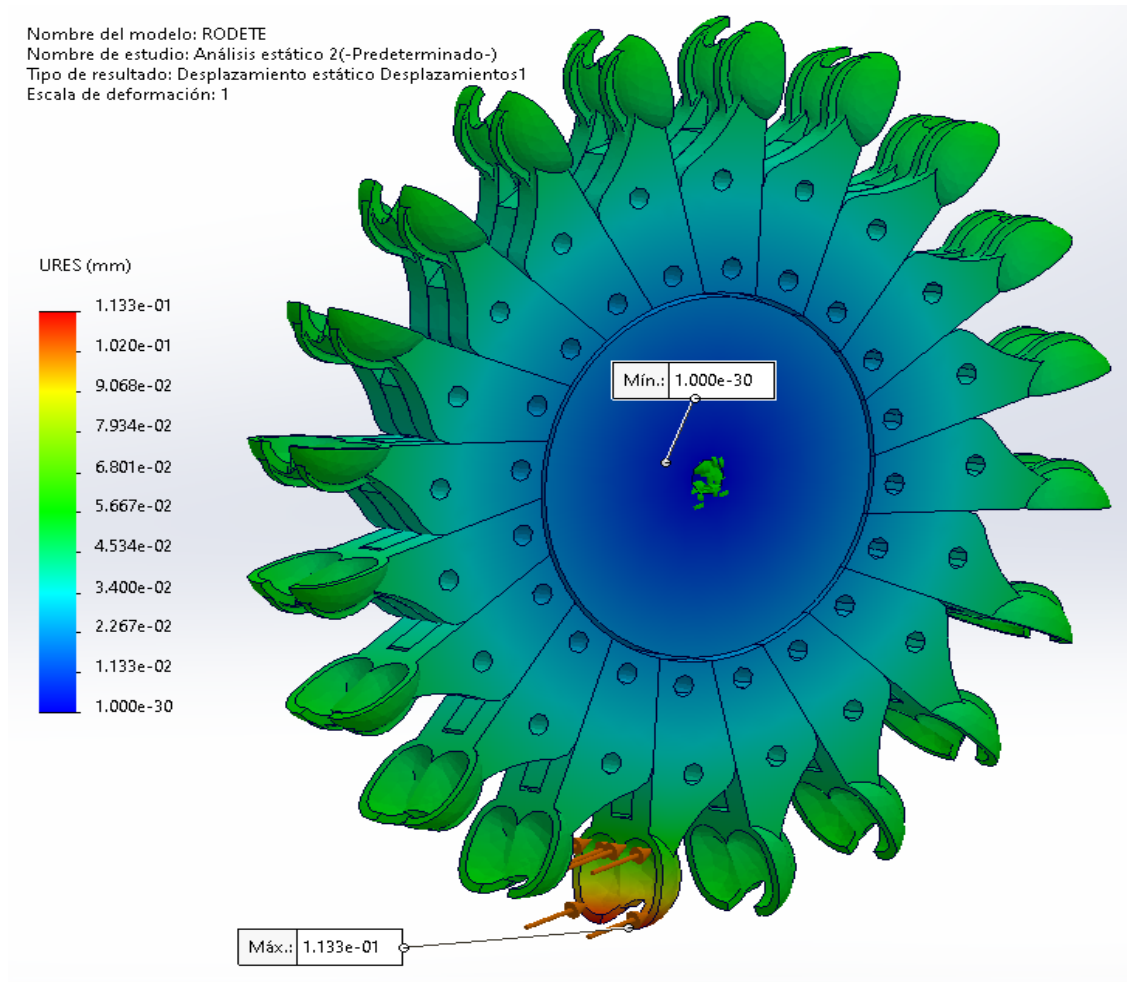
Fuente: Elaboración propia.

Resultados de simulación al rodete:

El desplazamiento de la pieza causado por la fuerza del chorro que actúa sobre la cuchara se ilustra gráficamente en la Figura 17.

Figura 17.

Resultados de simulación de esfuerzos al rodete: Desplazamiento estático.



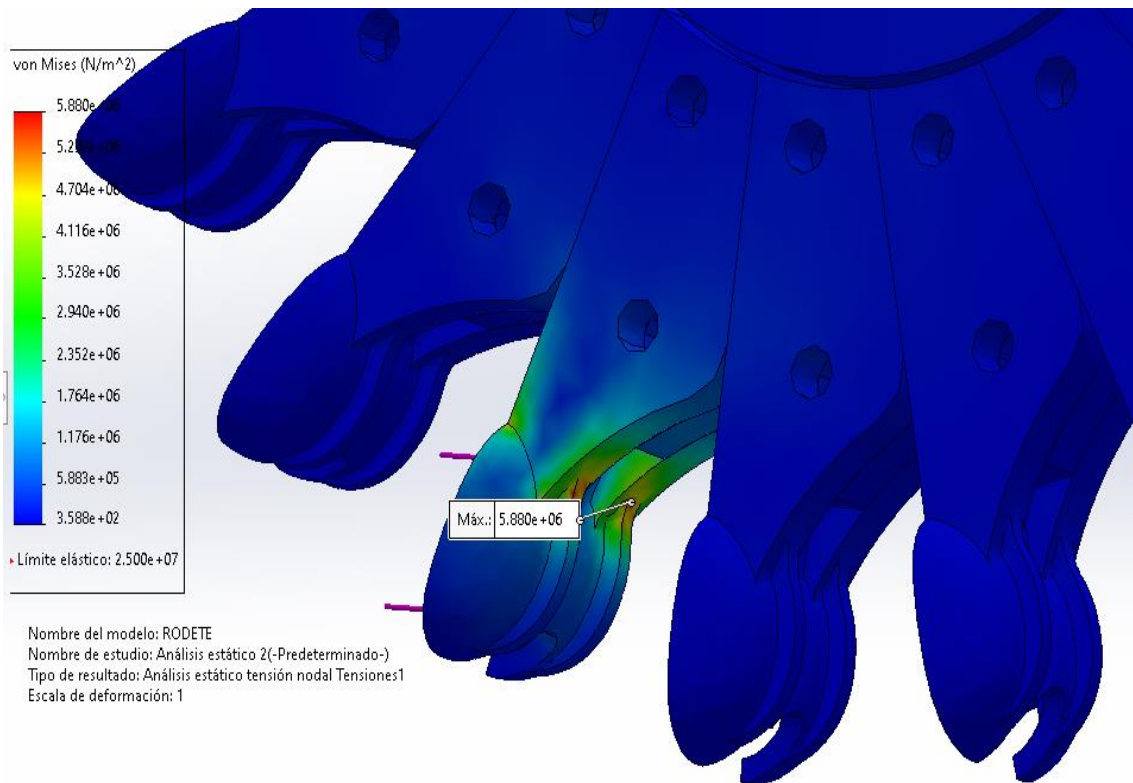
Nota: En la **Figura 17** se muestra el desplazamiento que sufre la pieza producto de la fuerza del chorro ejercida en la cuchara, se aprecia el desplazamiento máximo de 0.1133 milímetros (parámetro URES) en la parte superior de la cuchara. **Fuente:** Elaboración propia usando SOLIDWORKS.

El desplazamiento máximo de URES (Figura 17) 0.1133 milímetros en la parte superior de la cuchara sugiere que la simulación está evaluando la deformación o flexión de la cuchara debido a la fuerza del chorro de agua. Esto es importante para asegurarse de que la turbina pueda soportar las condiciones de operación sin sufrir daños o fallas.

El modelo presenta un área de mayor tensión, que se identifica y se visualiza en la Figura 18.

Figura 18.

Resultados de simulación de esfuerzos al rodete: tensión.



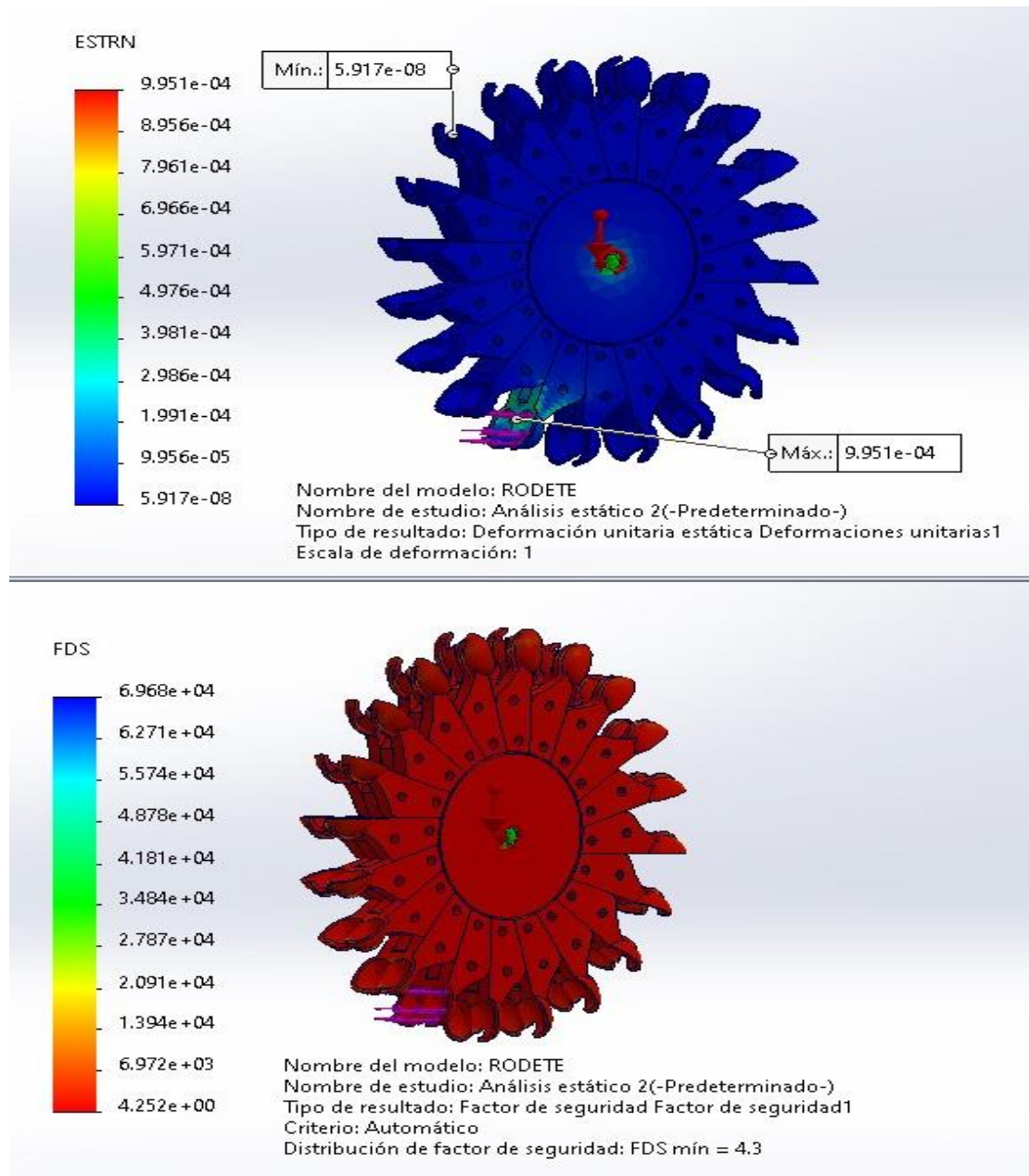
Nota: En la **Figura 18** se muestra el área más tensionada del modelo, esta se encuentra en la parte del cuello de la cuchara. **Fuente:** Elaboración propia usando **SOLIDWORKS**.

La zona del cuello base de la cuchara es la más sometida a tensión debido a la fuerza ejercida por el chorro de agua, por lo que se decidió reforzar esta área con un nervio de perfil para incrementar su resistencia a la tensión a un valor de $5.88 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$ (Von Mises) y garantizar la integridad estructural de la turbina.

La Figura 19 presenta los resultados de la simulación de esfuerzos en el rodete, mostrando la deformación unitaria y el factor de seguridad, lo que permite visualizar y evaluar el comportamiento del componente bajo carga.

Figura 19.

Resultados de simulación de esfuerzos al rodete: Deformación unitaria y factor de seguridad.



Nota: En la Figura 19, se muestra el área con mayor proporción de deformación unitaria (ESTRN arriba) y la distribución del factor de seguridad de 4.3 (FDS abajo). Fuente: Elaboración propia usando SOLIDWORKS.

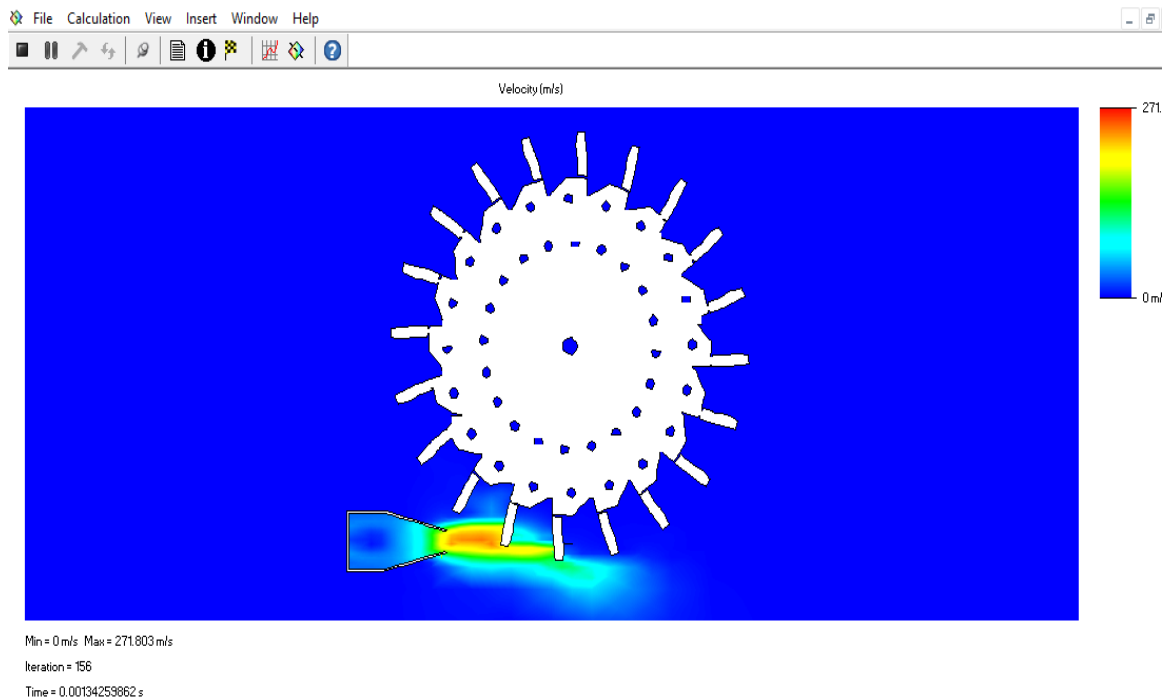
La simulación de esfuerzos en el rodete reveló las áreas de mayor tensión, lo que nos permitió mejorar el diseño mediante el refuerzo estratégico de estas zonas. Gracias a esto, se alcanzó un factor de seguridad mínimo de 4.3 (FDS en la figura 18 parte inferior),

distribuido de manera uniforme en todo el componente, lo que asegura la integridad estructural y la confiabilidad del rodete.

2.6.10 Simulación de fluidos con Flow simulation – SOLIDWORKS.

Figura 20.

Simulación de velocidad del chorro



Nota: La **Figura 20** presenta una simulación detallada de la dinámica de fluidos, ilustrando el comportamiento preciso del agua al interactuar con la superficie del alabe.

Fuente: Elaboración propia

Esta visualización revela cómo el agua se distribuye, fluye y se desplaza sobre el alabe, proporcionando una comprensión profunda de los patrones de flujo y las zonas de mayor interacción., lo que es crucial para optimizar el diseño del alabe y mejorar el rendimiento de la turbina. En la ejecución de la simulación de fluidos solo nos limitamos a la visualización del comportamiento del fluido en torno al alabe, mas no se hizo un análisis profundo de interacción de Fluido – Estructura.

2.6.11 Establecer las especificaciones para la selección del generador eléctrico.

Con resultados del cálculo de los parámetros de diseño, resumido en la **Tabla 11**, se seleccionó el generador eléctrico que será acoplado a la microturbina; teniendo en cuenta una potencia máx. de 0.4 kW y rpm de 1500, se buscó en el mercado un generador

adaptable a estos parámetros y de fácil acoplamiento al eje de la microturbina. Por conveniencia de logística y de presupuesto se adquirió el generador trifásico B-400M de imanes permanentes de la marca SMARAAD, cuyas especificaciones técnicas se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17.

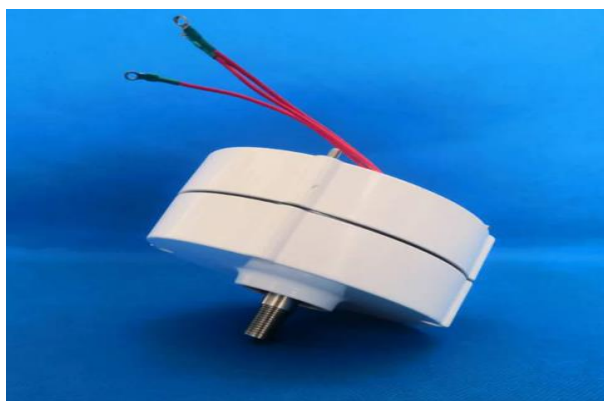
Especificaciones técnicas del generador.

Especificaciones técnicas:	
MODELO	B-400M
Potencia nominal (w)	400 w
Potencia máxima (w)	450 w
Tensión nominal (v)	12/24 V
Velocidad nominal (r/m)	700 r/m
Peso neto (kg)	4.3 kg
Peso bruto (KGS)	5.2 KGS
Altura y Ancho del generador (mm)	81 mm * 153 mm
Altura del eje (mm)	15 mm
Lubricación	Grasa lubricante
Rotor	Alternador de AC del generador de imán permanente
Temperatura del trabajo	-40 °C – 80 °C

La Tabla 17 muestra los datos técnicos del generador seleccionado. Fuente: Elaboración propia con datos de (SMARAAD, 2021)

Figura 21.

Generador B-400M SMARAAD de imanes permanentes.



Fuente: (SMARAAD, 2021)

C. OE3. Manufacturar e implementar el prototipo de la microturbina hidráulica.

2.6.12 Procesos de manufactura de la microturbina hidráulica.

La manufactura de la microturbina hidráulica se tuvo que adecuar a los recursos disponibles, por tal sentido, se utilizaron equipos e instrumentos accesibles en la Universidad Nacional de Jaén y de propiedad de los autores y asesor.

a. Impresión 3D con resina (ESTEREOLITOGRAFÍA - SLA)

El proceso consiste en el uso de una máquina de impresión llamada técnicamente "aparato de estereolitografía", que convierte la resina líquida en sólido con forma del modelo establecido (Europea, 2016).

Este proceso permitió fabricar el rodete logrando un buen acabado en la superficie y presión de forma y medida en las cucharas, de igual manera se construyó el inyector.

b. Soldadura con electrodo revestido (SMAW)

Según (Flores, 2016) el proceso de soldadura SMAW implica el uso de un electrodo con un recubrimiento específico, a través del cual fluye una corriente eléctrica alterna o continua. Al producirse un cortocircuito entre el electrodo y el material base, se alcanzan temperaturas extremas de aproximadamente 5500 °C, fundiendo el núcleo del electrodo y depositándolo en el material a soldar. Simultáneamente, la combustión del recubrimiento genera una atmósfera protectora que asegura la integridad del proceso de soldadura.

A través del proceso de soldadura SMAW se manufacturaron la carcasa, asientos de rodamiento, estructura de la microturbina y banco de pruebas.

c. Proceso CAD/CAM

Según (García & Carlos, 2006) el proceso CAD/CAM aprovecha la tecnología computacional para optimizar el diseño, fabricación y desarrollo de productos, ofreciendo ventajas significativas en términos de velocidad, precisión y reducción de costos. Esto se logra mediante la integración efectiva de la Tecnología Informática y las Máquinas Herramientas Automatizadas con Control Numérico Computarizado (CNC), permitiendo una mayor eficiencia y productividad en el proceso de manufactura.

El proceso CAD/CAM fue una de las primeras opciones para la implementación de la microturbina, sin embargo, al tener un presupuesto bajo y accesibilidad limitada a la tecnología, se limitó únicamente a la fabricación de las poleas de ensayo y poleas dentadas para la transmisión como también el corte por plasma de las partes de la carcasa.

2.6.13 Fabricación de las partes del prototipo funcional.

Una vez establecido los procesos de fabricación y tipo de material, se procedió a la fabricación de las partes del prototipo.

El proceso de fabricación de las cucharas, así como del rodete y el inyector se llevó a cabo mediante impresión 3D con resina (SLA), como se muestra en la Figura 22.

Figura 22.

Fabricación del rodete



Nota: La **Figura 22** muestra el proceso de manufactura de las cucharas a través del proceso de impresión 3D con resina (SLA), de la misma manera se fabricaron el rodete y el inyector. **Fuente:** Elaboración propia.

Se seleccionó la impresión 3D con resina líquida para la fabricación del rodete y alabes, en lugar de la impresión 3D con filamento, para aprovechar sus ventajas: mayor precisión y detalle gracias a la alta resolución de la estereolitografía, propiedades mecánicas óptimas con mayor resistencia y durabilidad, y menor contracción y deformación durante el proceso de impresión, lo que garantiza precisión en el ensamblaje

y reduce el riesgo de errores, resultando en componentes de alta calidad que cumplen con lo requeridos.

la Figura 23 muestra el proceso de fabricación de la carcasa. Se utilizó una máquina CNC de corte por plasma para cortar las piezas, posteriormente se unieron usando soldadura SMAW y se machuelearon los agujeros para los asientos de rodamiento

Figura 23.

Fabricación de la carcasa de la microturbina



Nota: La Figura 23 ilustra el proceso de fabricación de la carcasa. Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de realizar ensayos del prototipo de la microturbina hidráulica, se construyó un banco de pruebas el mismo que sirvió de estructura para la instalación definitiva en el punto de utilización de la red de tuberías de abastecimiento de agua. el proceso se ilustra en la Figura 24.

Figura 24.

Fabricación de la estructura y banco de pruebas



*Nota: La **Figura 24** Muestra el proceso de fabricación de la estructura de la microturbina a través del proceso de soldadura SMAW. Fuente: Elaboración propia.*

Con las partes construidas a través de los procesos descritos en el apartado 2.5.12 se procedió a ensamblar la microturbina hidráulica. El ensamblaje se realizó siguiendo rigurosamente los planos definidos en el diseño, descritos en el **Anexo 13**. El proceso de ensamble se ilustra en la Figura 25

Figura 25.

Ensamblaje de la microturbina hidráulica



Fuentes: Elaboración propia

D. OE4. Ensayos de laboratorio y en campo con mediciones de eficiencia energética.

2.6.14 Evaluación y análisis del prototipo.

Con fin de analizar el funcionamiento de la microturbina hidráulica diseñada y construida, se realizaron pruebas de funcionamiento utilizando el banco de pruebas construido y acondicionado al diseño.

Las pruebas de funcionamiento consisten en un ciclo cerrado, se utilizó una electrobomba, datos técnicos en el **Anexo 5**, que proporciona el caudal y la presión, haciendo las veces de altura, controlados por 2 válvulas de paso que desvían el agua directamente al tanque de retorno, el agua turbinada es recolectada en la cámara de descarga que a la vez está conectada al tanque de retorno. Se presenta diagrama de funcionamiento de del banco de pruebas en la **Figura 26**.

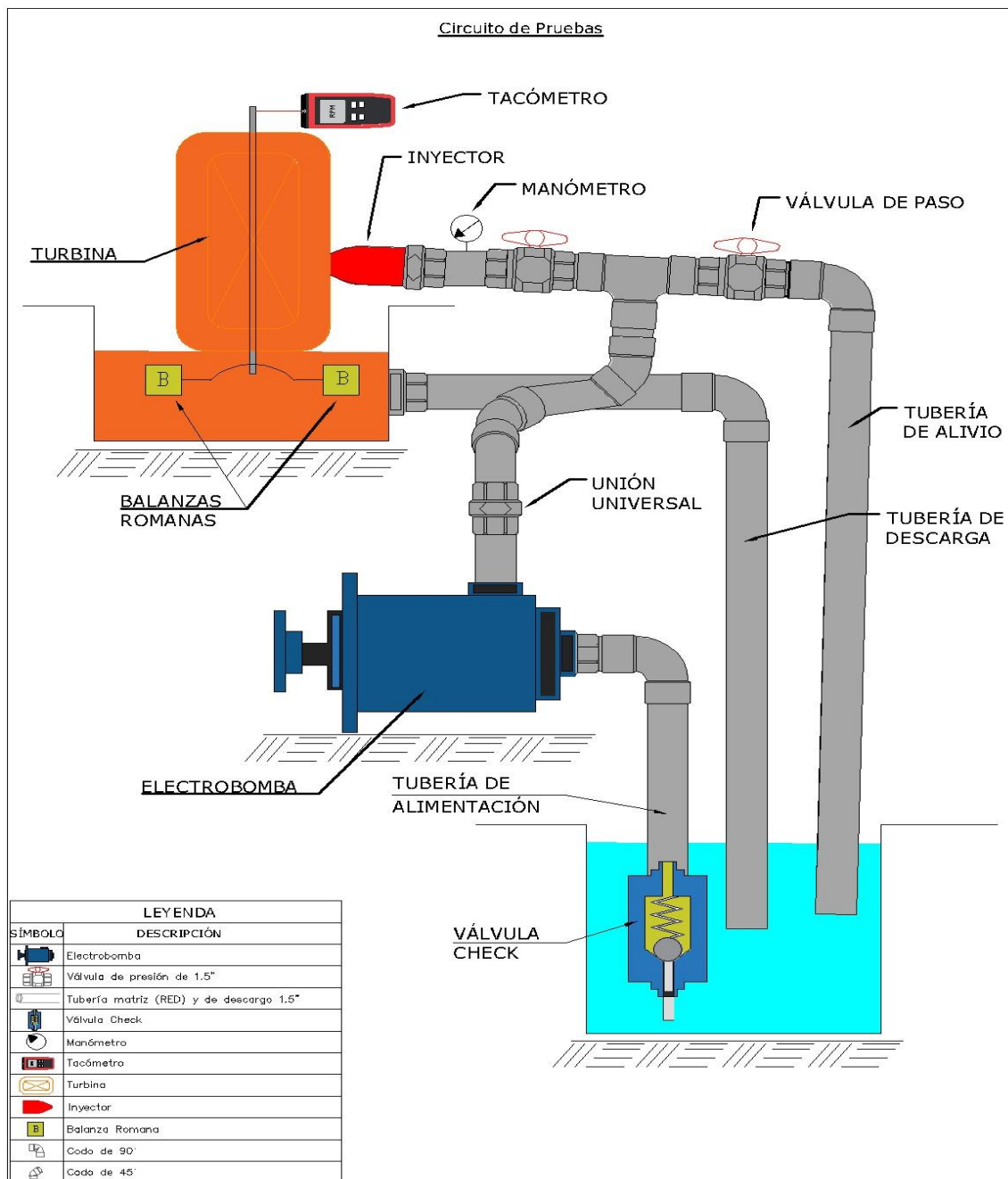
De la presión manométrica se deriva la altura con la siguiente expresión:

$$P = \rho * g * h \quad (39)$$

Donde P es la presión manométrica; ρ es la densidad del agua; g es la aceleración de la gravedad y h es la altura.

Figura 26.

Diagrama de funcionamiento del banco de pruebas



Nota: La Figura 26 muestra el diagrama del banco de pruebas implementado para los ensayos de funcionamiento de microturbina. Fuente: Elaboración propia

Los ensayos realizados a la microturbina incluyeron:

- Ensayo de aislamiento hidráulico: Se evaluó la estanqueidad de la tubería forzada, carcasa, cámara de descarga y tubería de retorno para detectar posibles fugas de caudal y garantizar la eficiencia del sistema.

- Ensayo de RPM-Caudal: Se varió el caudal para analizar el comportamiento de las revoluciones por minuto (RPM) de la turbina, lo que permitió comprender su respuesta a diferentes condiciones de flujo.

- Ensayo de Torque y Potencia: Utilizando el método Freno de Prony, se midió el torque y la potencia generada por la turbina, lo que proporcionó información valiosa sobre su rendimiento y eficiencia.

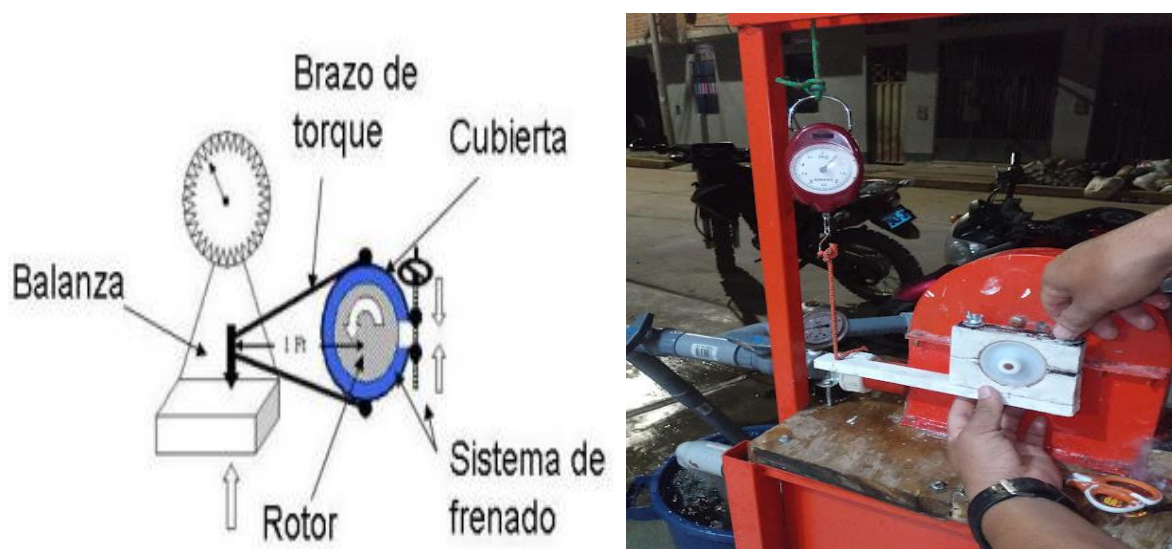
Estos ensayos exhaustivos permitieron evaluar el desempeño de la microturbina bajo diferentes condiciones y garantizar su fiabilidad y eficiencia en operación real.

Según (Gutiérrez & Corrales, 2008) Una forma de medir torque y potencia es empleando un dinamómetro y un freno por fricción mecánica o técnicamente llamado a este sistema freno Prony; básicamente consiste en acoplar una cubierta, un rotor y un brazo de torque a la maquina sometida a prueba.

En la Figura 27; lado Izquierdo, se ilustra el funcionamiento básico del Freno de Prony; lado derecho muestra el ensayo realizado a la microturbina implementada.

Figura 27.

Funcionamiento básico del Freno d Prony



Fuente: (Gutiérrez & Corrales, 2008) citado de (Buckley Old Engine Show)

El torque está determinado por la Ecuación:

$$T = F * r \quad (40)$$

T : Torque o par motor (N.m)

F : Fuerza (N)

r : Radio de torque (m)

Y la potencia se define con la ecuación:

$$P = T * w = \frac{T*n}{\frac{60}{2\pi}} \quad (41)$$

P : Potencia del motor (kW)

T : Torque o par motor (N.m)

w : Velocidad angular en el eje de la turbina (rad/s)

n : Revoluciones por minuto (rpm)

La Figura 28 presenta una vista de la microturbina Pelton completamente montada y lista para ser probada en el banco de ensayos, mostrando su configuración final antes de las pruebas

Figura 28.

Microturbina habilitada en el banco de pruebas.



Nota: La Figura 28 muestra la microturbina Pelton habilitada en el banco de pruebas.

Fuente: Elaboración propia.

La **Figura 29** muestra el ensayo de aislamiento hidráulico; se pudo comprobar fugas de caudal por la carcasa y cámara de descarga las cuales fueron corregidos posteriormente.

Figura 29.

Ensayo de aislamiento hidráulico



Nota: La Figura 29 muestra el ensayo de aislamiento hidráulico. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del ensayo de aislamiento hidráulico, el cual reveló la presencia de fugas de caudal en la carcasa y cámara de descarga de la microturbina. Estas fugas fueron identificadas y posteriormente corregidas, lo que permitió mejorar la estanqueidad y eficiencia del sistema. Este ensayo demostró ser crucial para detectar y solucionar problemas potenciales en el diseño y construcción de la microturbina, garantizando así un funcionamiento óptimo y seguro.

La Figura 30 muestra fotografías del proceso de medición de RPM, registrando el momento en que se miden las revoluciones por minuto en función del caudal y presión.

Figura 30.

Ensayo RPM-Caudal



Nota: la **Figura 30** ilustra mediciones de RPM en función del caudal y presión. **Fuente:** *Elaboración propia.*

La configuración utilizada para realizar los ensayos de torque y potencia se muestra en la Figura 31, se puede apreciar claramente el dispositivo de medición acoplado a la turbina, lo que permitió obtener datos precisos sobre el torque y la potencia generada por la microturbina durante los ensayos.

Figura 31.

Ensayo de torque y potencia con Freno de Prony



Nota: La Figura 31 muestra el Freno de Prony acoplado al eje de la microturbina.

Fuente: Elaboración propia.

2.6.15 Instalación y pruebas en el punto de utilización.

Realizados los ensayos descritos en el apartado 2.5.14, se procedió a instalar la microturbina hidráulica en el punto de utilización, previa a esta instalación y pruebas finales se diseñó un tablero de control con un circuito rectificador de corriente alterna a corriente continua y regulador/elevador de voltaje; el diagrama unifilar del circuito implementado se presenta en el **Anexo 1**. Proceso de implementación del tablero de control se muestra en la Figura 32.

Figura 32.

Tablero de control implementado



Nota: La Figura 32 muestra el tablero de control implementado, este dispositivo permite rectificar la corriente alterna a corriente continua, regular el voltaje y carga de baterías.

Fuente: Elaboración propia

- **Acoplamiento del generador**

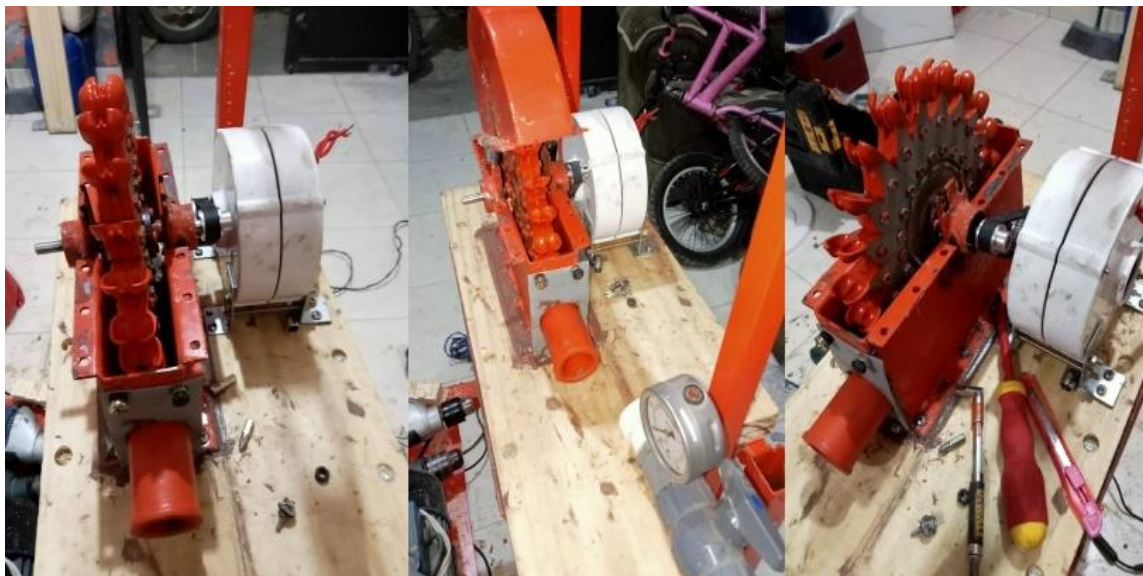
El generador se acoplo mediante transmisión de poleas de sincronización o poleas dentadas. Teniendo en cuenta la ficha técnica del generador **Tabla 17** y las RPM de diseño de la microturbina hidráulica **Tabla 11**, se determinó una relación de transmisión

2/1; mientras la turbina gira a 1500 rpm el generador girará a 750 rpm. Las poleas seleccionadas son de perfil HTD3M con 20 dientes para la polea motriz y 40 dientes para la polea conducida.

La Figura 33 muestra el proceso de acoplamiento del generador eléctrico al eje de la turbina, utilizando una transmisión de poleas dentadas para asegurar una conexión precisa y segura. La imagen ilustra cómo el generador se alinea perfectamente con el eje de la turbina, lo que permite un funcionamiento óptimo y eficiente. Además, se destaca que el generador girará en sentido antihorario durante su operación, lo que es un detalle importante para su correcto funcionamiento y mantenimiento.

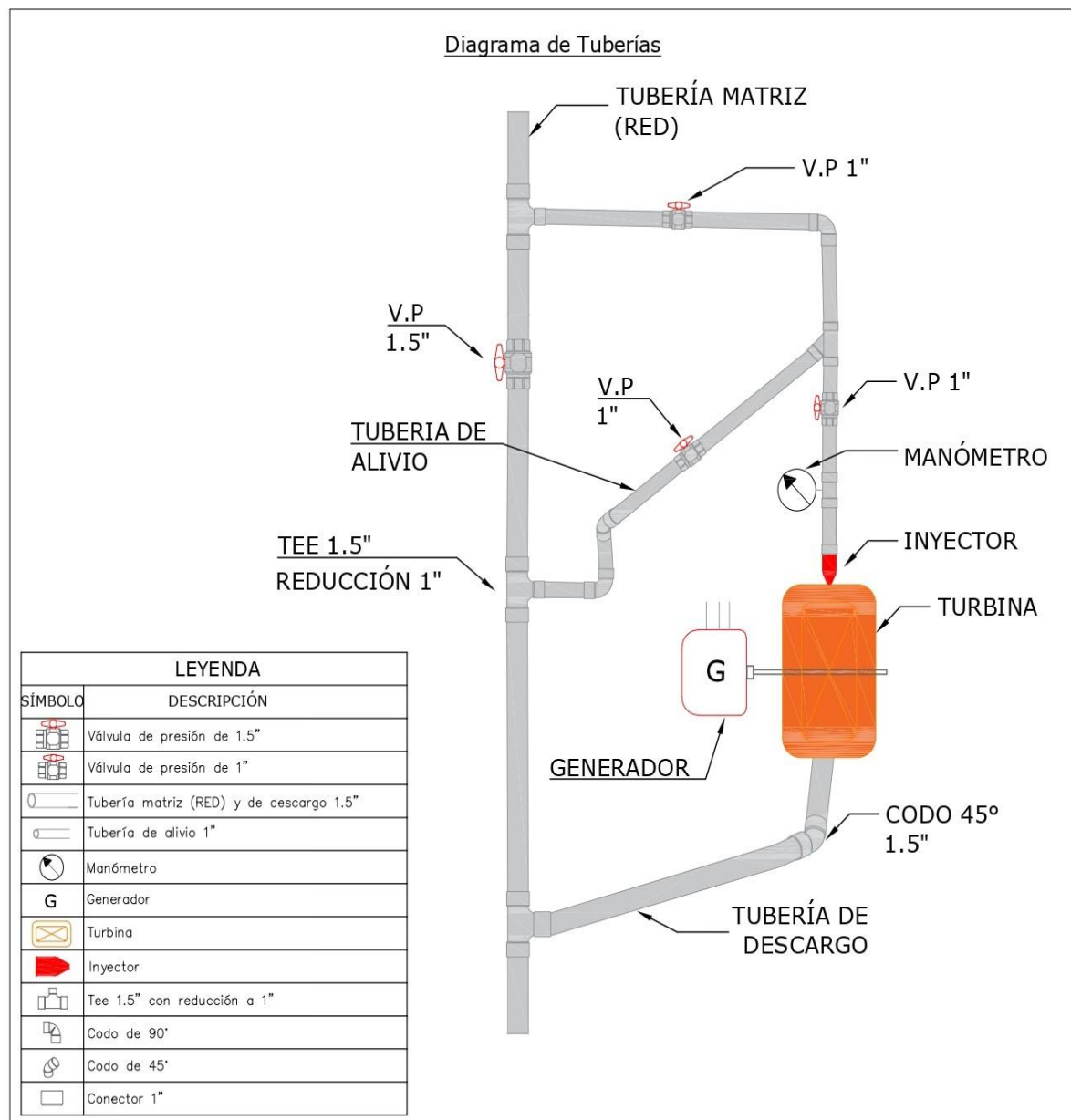
Figura 33.

Generador acoplado a la microturbina



Nota: La Figura 33 muestra el proceso de acoplamiento del generador eléctrico al eje de la turbina. Fuente: Elaboración propia.

La instalación de la microturbina hidráulica en el punto de utilización se realizó teniendo en cuenta el diagrama mostrado en la **Figura 34**, consiste en hacer una derivación de la red de tuberías con tubo de PVC de 1 pulgada y dirigirlo al inyector, el caudal es controlado por 2 válvulas de paso colocadas en la tubería de carga y tubería de alivio, la cámara de descarga se conectó a la red principal con tubo de PVC de 1.5 pulgadas permitiendo así que el agua turbinada retorne a la red y continúe su trayecto.

Figura 34.*Diagrama de instalación en el punto de utilización*

Esquema de instalación de la microturbina en el punto de utilización. Fuente: Elaboración propia.

La **Figura 34**, muestra cómo se integra en la red de tuberías de abastecimiento de agua. En este esquema, se puede observar que la regulación del caudal que entra a la microturbina se realiza de manera manual mediante válvulas de bola, permitiendo un control preciso del flujo de agua. Además, se ilustra cómo el agua que ha pasado por la

turbina se devuelve a la red principal, continuando su recorrido sin interrupciones, lo que garantiza un funcionamiento sostenible.

La Figura 35 muestra el sistema de micro generación eléctrica completamente instalado y listo para ser puesto en marcha en el punto de utilización. En esta imagen, se puede apreciar la microturbina y el generador eléctrico correctamente instalados y conectados.

Figura 35.

Instalación de la microturbina hidráulica en el punto de utilización



Nota: La Figura 35 muestra el sistema de micro generación implementado. Fuente: Elaboración propia.

Las pruebas realizadas al sistema en campo fueran pruebas en vacío y con carga; se registraron datos de voltaje y RPM. Se analizó el funcionamiento por 5 horas en promedio diarias por 7 días seguidos. (Figura 36)

Figura 36.

Mediciones de RPM y voltaje en el punto de utilización



Nota: Mediciones de tensión. **Fuente:** Elaboración propia.

Para validar el buen funcionamiento del generador se realizaron mediciones de voltaje en función del rpm, se tomaron valores de tensión en la salida del generador como también en la salida del rectificador, la velocidad de giro de la turbina se controló regulando el caudal de agua a la entrada del inyector.

2.7 Costo total de implementación del proyecto

Los costos descritos en la Tabla 18, reflejan la inversión realizada durante la implementación de la microturbina, el prototipo desarrollado se construyó con recursos propios y herramientas que estuvieran a disposición por parte de la Universidad Nacional de Jaén.

Tabla 18.

Gastos generales de la investigación.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
1	Equipos y Bienes duraderos				
1.1	Manómetro	Equipo	1	S/ 7.00	S/ 7.00
1.2	Multitester	Equipo	1	S/ 200.00	S/ 200.00
1.3	Tacómetro	Equipo	1	S/ 85.00	S/ 85.00
1.4	Vernier	Equipo	1	S/ 150.00	S/ 150.00
2	Construcción y Ensamble de turbina				
2.1	Resina para impresión 3D	Litro	1	S/ 220.00	S/ 220.00
2.2	Alcohol isopropílico	litro	1	S/ 60.00	S/ 60.00
2.3	Accesorios conexión hidráulica	Kit	1	S/ 100.00	S/ 100.00

2.4	Chapa metálica	Unidad	1	S/ 40.00	S/ 40.00
2.5	Tubería PVC	Unidad	2	S/ 100.00	S/ 200.00
2.6	Acero estructural Per. Cud. 1.5"*1.5mm	Unidad	2	S/ 42.00	S/ 84.00
2.7	Accesorios y Consumibles	Unidad	1	S/ 50.00	S/ 50.00
2.8	Lijas	Unidad	1	S/ 12.00	S/ 12.00
2.9	Macho y Portamacho	Unidad	1	S/ 60.00	S/ 60.00
2.10	Balanzas	Unidad	4	S/ 10.00	S/ 40.00
2.11	Mano de obra	m ³ /h	3	S/ 50.00	S/ 150.00
2.12	Material para moldaje	m ³	1	S/ 70.00	S/ 70.00
2.13	Acabado General	Unidad	1	S/ 50.00	S/ 50.00
3	Costo electromecánico				
3.1	Generador B-400M SMARAAD	Unidad	1	S/ 600.00	S/ 600.00
3.2	Polea	Unidad	1	S/ 57.00	S/ 57.00
3.3	Ventiladores, disipador de calor, cables	Unidad	1	S/ 63.00	S/ 63.00
3.4	Regulador de voltaje 10A	Unidad	1	S/ 50.00	S/ 50.00
3.5	Voltímetro	Unidad	1	S/ 26.00	S/ 26.00
3.6	Puente de diodos	Unidad	1	S/ 15.00	S/ 15.00
3.7	Accesorios para tablero general	Unidad	1	S/ 375.00	S/ 375.00
4	Pasajes y Viáticos				
4.1	Viáticos para trabajo y pruebas en campo	Mes	6	S/ 100.00	S/ 600.00
Costo Total					S/ 3,157.00

Fuente: Elaboración propia.

III. RESULTADOS

3.1. Resultados en la determinación de tipo de turbina y generador para la implementación del sistema.

En el proceso de selección de la turbina, se evaluaron las condiciones de caudal y altura en la red de tuberías de abastecimiento de agua en la localidad de El Porvenir, Distro de Colasay, provincia de Jaén y departamento de Cajamarca. La microturbina seleccionada fue del tipo Pelton, la cual mostró una eficiencia adecuada para operar con el flujo disponible y generar energía con un generador de imanes permanentes de 400 W. Esta selección fue confirmada por pruebas iniciales en el banco de pruebas y análisis de eficiencia. Este procedimiento se detalla en **Sección 2.6, Apartado A.OE1**

Figura 37.

Generador adquirido para el sistema de generación



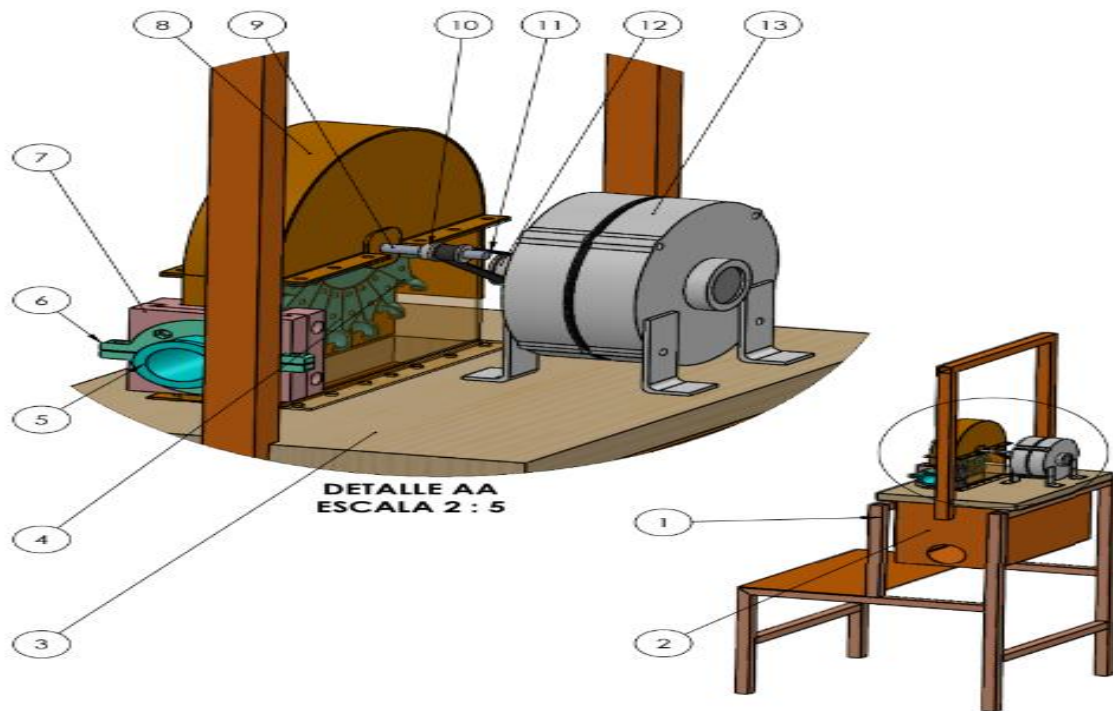
Fuente: Elaboración propia

3.2. Resultados en el diseño de la microturbina hidráulica

Se calculó la geometría de los componentes de la microturbina mediante un enfoque iterativo utilizando un macro en Visual Basic. Este programa permitió la iteración de variables independientes, como el caudal y la altura, adaptándose a las especificaciones de la red de tuberías y los recursos de manufactura disponibles. El diseño de la microturbina incluyó un modelado digital CAD para analizar la geometría y los esfuerzos en los componentes clave, como el rodete y las cucharas. Las simulaciones y análisis de esfuerzos mecánicos ayudaron a optimizar el diseño, asegurando que los componentes soportaran las tensiones generadas sin comprometer la integridad estructural. Estos análisis fueron cruciales para confirmar la resistencia del diseño ante las condiciones específicas de operación. Este procedimiento se detalla en la **Sección 2.6, Apartado B.OE2**

Figura 38.

Modelamiento 3D de la microturbina implementado



Fuente: Elaboración Propia.

3.3. Resultados de la manufactura e implementación del prototipo

Como resultado del proceso de fabricación, se obtuvo un prototipo de microturbina hidráulica funcional, cuya estructura y componentes mostraron un ensamblaje preciso y robusto. La impresión 3D en resina permitió lograr la geometría exacta del rodete y las cucharas, optimizando el contacto con el flujo de agua. La carcasa soldada aseguró estabilidad durante las pruebas, mientras que el banco de pruebas facilitó evaluaciones controladas de eficiencia y rendimiento. En los ensayos, el prototipo demostró una alineación efectiva entre el eje y el generador, logrando transmitir energía de manera continua y maximizando su eficiencia en la generación de electricidad para aplicaciones básicas en zonas rurales. Este proceso se detalla en la **Sección 2.6, Apartado C.OE3**

Figura 39.

Microturbina implementada



Fuente: Elaboración propia

3.4. Análisis de ensayo en banco de pruebas y en campo

En el presente apartado se describe el resultado del análisis estadístico realizado a los datos obtenidos de los ensayos en el banco de pruebas.

3.4.1. Análisis de datos del ensayo de RPM-Caudal sin carga.

La **Tabla 19** presenta los resultados del ensayo de RPM-Caudal sin carga, realizado en el banco de pruebas. En este ensayo, se midieron las RPM en el eje de la turbina utilizando un tacómetro, mientras que la presión se midió a través de un manómetro instalado en el inyector, lo que permitió obtener datos confiables y precisos sobre el comportamiento de la turbina bajo diferentes condiciones de flujo. Los resultados de este ensayo proporcionaron información valiosa para entender la relación entre el caudal y las RPM de la turbina, lo que es fundamental para optimizar su rendimiento y eficiencia.

Tabla 19.

Datos obtenidos del ensayo RPM-Caudal

PRESION		ALTURA CALCULADA	RPM	CAUDAL (L/min)
PSI	Kpa			
20	137.90	14.06	1460	46.6
16	110.32	11.25	1300	42.0

10	68.95	7.03	1010	33.6
7.25	49.99	5.10	810	28.0
4	27.58	2.81	590	19.5

Nota: La Tabla 19 presenta los datos obtenidos del ensayo realizado en vacío a la microturbina hidráulica, la altura se calculó con la Ecuación 39; en función con la presión registrada en el manómetro instalado en la tubería de carga. Fuente: Elaboración propia

La Tabla 19 presenta los resultados del ensayo de RPM (revoluciones por minuto) y caudal sin carga, realizado en el banco de pruebas. Durante este ensayo, se midieron las RPM en el eje de la turbina utilizando un tacómetro, mientras que la presión se registró mediante un manómetro en el inyector. Esto permitió obtener datos precisos sobre el comportamiento de la turbina en diferentes condiciones de flujo, con el objetivo de analizar la relación entre el caudal y las RPM.

Las revoluciones por minuto (RPM) de la microturbina disminuyen proporcionalmente al disminuir el caudal (L/min). Esto sugiere que la eficiencia de la turbina está altamente influenciada por el caudal de agua disponible. Por ejemplo, con una presión de 20 PSI y un caudal de 46.6 L/min, la micro turbina alcanza 1460 RPM; sin embargo, a menor presión y caudal (como 4 PSI y 19.5 L/min), las RPM bajan a 590. Esta correlación es útil para proyectar las condiciones de operación y la eficiencia en situaciones reales de flujo limitado.

Con los datos obtenidos se proyectaron las rpm para el funcionamiento hasta la altura de diseño y el caudal máximo, para esto, se empleó las ecuaciones de leyes de semejanza de turbinas hidráulicas descritas por (Mataix, 1975) e interpolación polinómica.

$$\frac{n'}{n''} = \frac{d'}{d''} * \frac{\sqrt{H'}}{\sqrt{H''}} \quad (43)$$

En la **Tabla 20** contiene valores obtenidos de RPM en función de los datos obtenidos del ensayo de RPM-Caudal. Si la microturbina hidráulica funcionaría en vacío con el caudal máximo y la altura de diseño llegaría a una velocidad de 3972 rpm provocando posiblemente la destrucción del rodete y daños en el generador, por tal sentido, es importante la instalación de la tubería de alivio para direccionar el caudal disminuyendo así la presión en el chorro.

Tabla 20.

Proyección de revoluciones

Q(l/min)	Proyección de RPM								
	2.81	5.10	7.03	11.25	14.06	20.00	30.00	40.00	50.00
57.5	941	1267	1489	1884	2106	2511	3075	3551	3972
54.0	772	1040	1222	1546	1728	2060	2522	2913	3258
51.0	695	936	1100	1392	1556	1854	2271	2623	2933
48.0	660	889	1044	1321	1477	1761	2156	2490	2784
46.6	653	879	1032	1306	1460	1742	2133	2463	2754
42.0	650	875	1028	1300	1453	1734	2123	2452	2741
33.6	639	860	1010	1278	1428	1704	2087	2409	2694
28.0	602	810	951	1203	1345	1605	1965	2269	2537
19.5	590	794	933	1180	1319	1574	1927	2225	2488

Fuente: Elaboración propia.

La **Tabla 20** muestra una proyección de RPM en función del caudal (Q en L/min) y la altura (H en m). Este análisis tiene como objetivo proyectar las revoluciones que alcanzaría la turbina en condiciones de vacío, bajo diferentes caudales y alturas de operación. A continuación, se destacan algunos puntos clave de los datos proyectados:

Relación entre RPM y altura: A medida que aumenta la altura (H), las RPM también incrementan. Por ejemplo, con un caudal de 57.5 L/min y una altura de 50 m, se alcanza un máximo de 3972 RPM. Esta velocidad proyectada es considerablemente alta y podría representar un riesgo de daño estructural para la turbina si se opera sin carga.

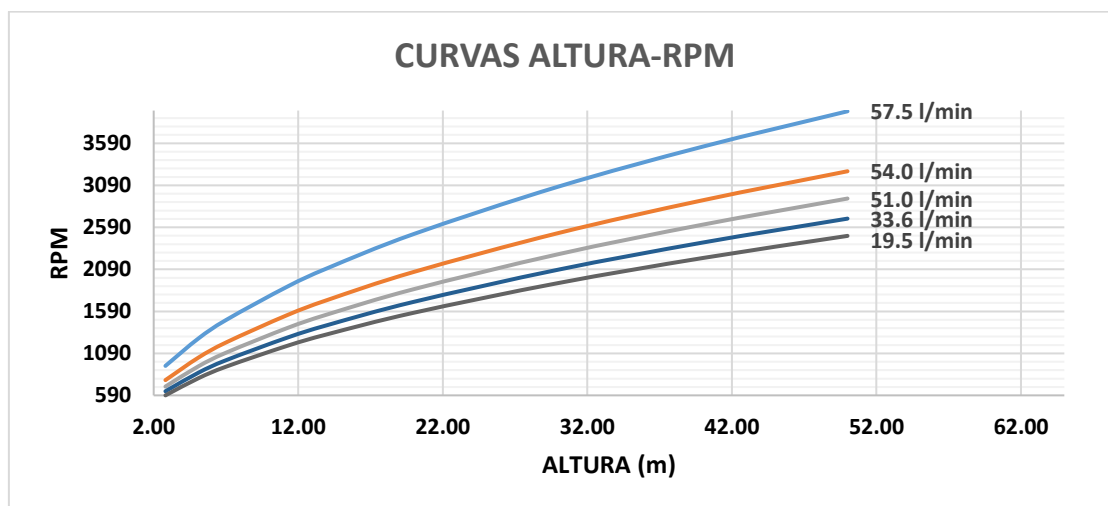
Eficiencia y seguridad: En alturas elevadas y con caudales máximos, se proyectan velocidades que superan el umbral seguro para la turbina, lo cual puede provocar destrucción del rodete y daños en el generador. Por esta razón, fue esencial implementar el mecanismo de alivio de presión para desviar el flujo cuando sea necesario y evitar así condiciones críticas.

Uso en el diseño: Los datos de la tabla permiten entender cómo la turbina responde en términos de velocidad a diferentes condiciones de flujo y altura, lo cual es crucial para establecer límites de operación seguros y optimizar el diseño de los componentes de la turbina.

El Gráfico 13 muestra las curvas que representan la relación entre las RPM (revoluciones por minuto) y la altura, para diferentes caudales, en condiciones de funcionamiento sin carga. Se demuestra que las RPM es proporcional a la altura.

Gráfico 13.

Curvas característica Altura-RPM de la microturbina implementada.



Fuentes: Elaboración propia.

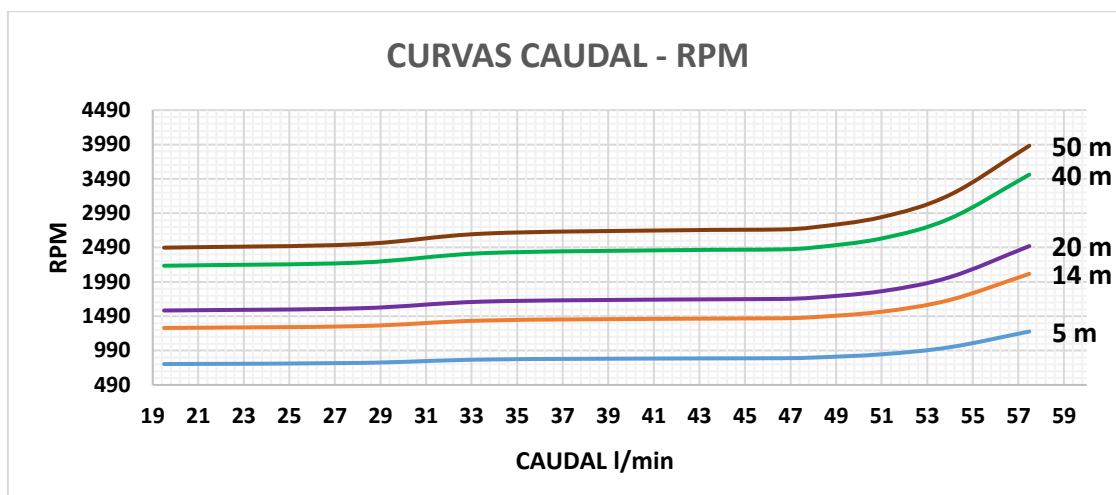
El **Gráfico 13** ilustra la relación entre las revoluciones por minuto (RPM) y la altura para distintos caudales en condiciones de funcionamiento sin carga. Este gráfico demuestra una proporcionalidad directa: a medida que aumenta la altura, las RPM también incrementan. Esta tendencia indica que, en condiciones ideales sin carga, el incremento de altura permite que la turbina alcance mayores velocidades, lo que sugiere que la eficiencia y el rendimiento de la microturbina pueden optimizarse al operar en alturas superiores, siempre que el caudal sea adecuado para soportar tales incrementos de RPM.

El Gráfico 14 muestra las curvas que representan la relación entre las RPM (revoluciones por minuto) y el caudal, para diferentes desniveles (alturas), en condiciones de funcionamiento sin carga en el generador. En este gráfico, se pueden observar cómo

las RPM varían en función del caudal y del desnivel, lo que proporciona información valiosa sobre el comportamiento de la turbina en diferentes condiciones de operación.

Gráfico 14.

Curvas características Caudal-RPM de la microturbina implementada.



Fuentes: Elaboración propia.

El Gráfico 14 muestra la relación entre las revoluciones por minuto (RPM) y el caudal, considerando diferentes desniveles o alturas, bajo condiciones sin carga en el generador. En este gráfico, se observa que, al aumentar el caudal, las RPM también tienden a incrementarse para una altura específica. Este comportamiento proporciona información relevante sobre el rendimiento de la turbina en distintos escenarios de caudal y desnivel, lo cual es fundamental para ajustar y optimizar la operación de la turbina en condiciones de flujo variable.

La Tabla 21 presenta datos obtenidos del ensayo de RPM-Caudal e interacciones utilizando ley de semejanza de turbinas hidráulicas. Esto permitió establecer relaciones y patrones entre las variables estudiadas.

Tabla 21.

RPM en función de caudal y altura

CAUDAL	RPM	ALTURA
57.48	3972	50
54.00	2913	40
51.00	2271	30
48.00	1761	20

46.56	1460	14
42.00	1300	11
33.60	1010	7
27.96	810	5
19.50	590	3

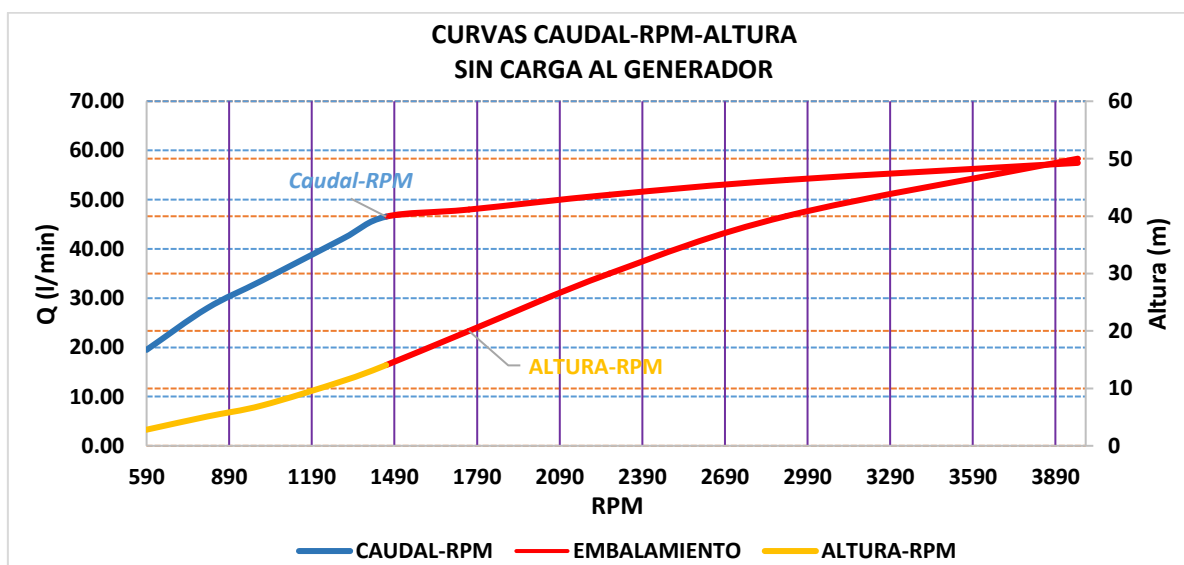
Nota: La Tabla 21 presenta datos obtenidos del ensayo de RPM-Caudal. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 21 presenta datos obtenidos del ensayo de RPM en función del caudal y la altura, aplicando la ley de semejanza de turbinas hidráulicas. Los valores reflejan cómo las revoluciones por minuto (RPM) de la turbina varían de acuerdo con diferentes caudales y alturas, proporcionando una guía para entender el comportamiento de la turbina bajo diversas condiciones de operación.

- A un caudal de 57.48 L/min y una altura de 50 m, la turbina alcanza 3972 RPM, lo que representa el punto de máxima velocidad proyectada.
- A medida que disminuye la altura y el caudal, las RPM también bajan significativamente, como en el caso de un caudal de 19.50 L/min y altura de 3 m, donde se registran solo 590 RPM.

Gráfico 15.

Curva característica RPM-Caudal-Altura.



El Gráfico 15 presenta las curvas características de RPM en función del caudal y la altura, las curvas de color rojo indican la velocidad en condición de embalamiento;

empezando con un caudal de 47 l/min y una altura mínima de 15 metros. **Fuente:** *Elaboración propia.*

El Gráfico 15 muestra las curvas características que relacionan las RPM con el caudal y la altura. Las curvas en color rojo representan condiciones de "embalamiento", indicando el punto en que la turbina opera sin carga, alcanzando altas velocidades. Estas curvas permiten observar cómo, al aumentar el caudal y la altura, las RPM también incrementan, lo cual es útil para definir límites seguros de operación y ajustar el diseño de la turbina. La comprensión de estas relaciones es esencial para evitar condiciones extremas de sobre velocidad, las cuales podrían dañar los componentes del sistema.

3.4.2. Análisis de datos del ensayo de torque y potencia con Freno de Prony.

A continuación, se muestra los resultados y el análisis del ensayo de Freno Prony realizado a la microturbina hidráulica.

La Tabla 22 muestra los datos obtenidos del ensayo con Freno de Prony con un caudal 46.56 l/min; la presión, la fuerza (F1) y las RPM son parámetros directamente medidos del ensayo; de los cuales se derivan los demás parámetros (altura, torque y potencia) utilizando ecuaciones descritas en el apartado 2.5.6 La potencia disponible en función del caudal y altura es de 100 W.

Tabla 22.

Datos obtenidos del ensayo de freno Prony – $Q=46.56$ l/min

VALORES OBTENIDOS DEL ENSAYO DE TORQUE Y POTENCIA CON FRENO DE PRONY							
η	PRESIÓN (PSI)		ALTURA CALCULADA (m)	F1 (Kg)	RPM	TORQUE (N.m)	POTENCIA (w)
	PSI	Kpa					
1%	20	137.90	14.06	0.0025	1605	0.0043	0.72
14%	20	137.90	14.06	0.05	1574	0.0858	14.15
27%	20	137.90	14.06	0.10	1507	0.1717	27.09
45%	20	137.90	14.06	0.20	1265	0.3434	45.48
47%	20	137.90	14.06	0.30	880	0.5150	47.46
40%	20	137.90	14.06	0.35	634	0.6009	39.88
25%	20	137.90	14.06	0.40	352	0.6867	25.31
3%	20	137.90	14.06	0.45	34	0.7725	2.78

Fuente: *Elaboración propia*

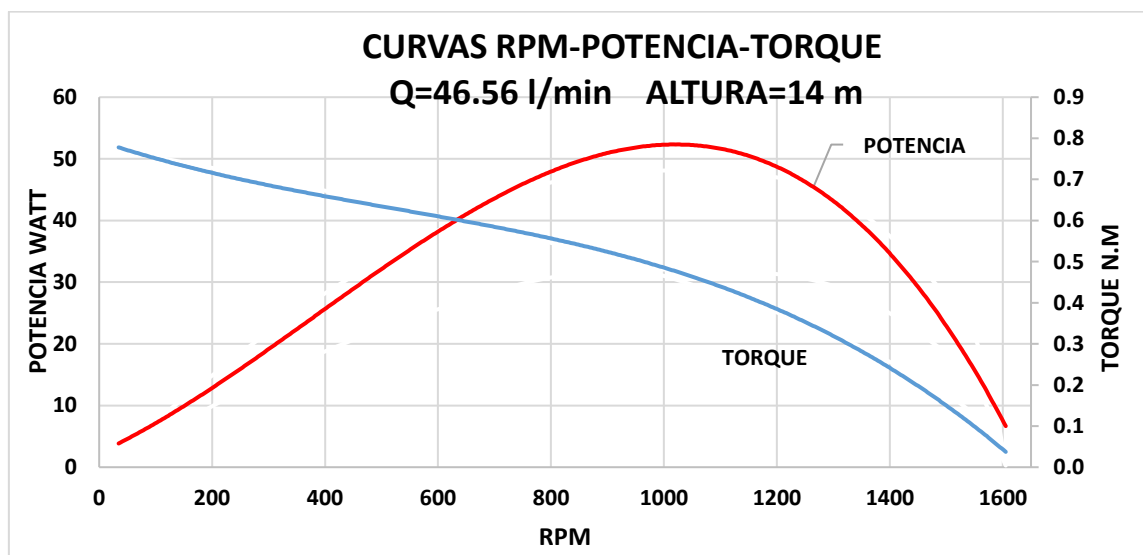
Analizando el contenido en **La Tabla 22**; con referencia al torque y potencia, Los datos indican que, a medida que aumenta la carga (fuerza aplicada al freno de Prony (F1)) disminuyen las RPM, y el torque incrementa, alcanzando un máximo de 0.7725 N·m

cuando la turbina se encuentra casi detenida (34 RPM). La potencia, en cambio, muestra un comportamiento diferente, aumentando inicialmente con el incremento de carga hasta un máximo de 47.46 W a 880 RPM, y luego disminuyendo conforme el sistema se desacelera.

Eficiencia en Función de Carga: El rendimiento óptimo en términos de potencia se obtiene alrededor del 47% de carga, reflejando la condición en la cual la microturbina puede generar la máxima potencia sin comprometer la estabilidad de operación.

Gráfico 16.

Curvas característica P-RPM-T / $Q=46.56$ l/min, $h=14$ m



Nota: El Gráfico 16 describe las curvas características RPM-POTENCIA-TORQUE en condiciones de funcionamiento con un caudal de 46.5 l/min y una altura de 14m. Podemos apreciar que la potencia tiene forma parabólica alcanzando su máximo valor con 1050 rpm, mientras que el torque disminuye conforme se va incrementando las RPM. **Fuente:** Elaboración propia.

El **Gráfico 16** muestra las curvas características de **RPM, Potencia y Torque** de la microturbina en condiciones de funcionamiento con un caudal de 46.5 L/min y una altura de 14 m. En el gráfico se observa que la potencia sigue una curva parabólica, alcanzando su punto máximo a aproximadamente 1050 RPM, lo que representa el punto de mayor eficiencia operativa en términos de potencia generada. Por otro lado, el torque disminuye conforme aumentan las RPM, lo cual es consistente con la tendencia esperada

en sistemas de turbina, donde el torque tiende a reducirse a medida que la velocidad de rotación incrementa.

La **Tabla 23** presenta la proyección de potencia con la altura de diseño (50m); para determinar los valores se hizo uso de la cuarta ley de semejanza de turbinas hidráulicas

$$\frac{M'}{M''} = \frac{d'^3}{d''^3} * \frac{H'}{H''} \quad (41)$$

Tabla 23.

Torque y potencias / Q=46.56 l/min, h=50m

PROYECCION DE TORQUE Y POTENCIA						
η	P disponible (w)	Altura (m)	F1 (kg)	Rpm	Torque (N.m)	Potencia (w)
1%	350	50	0.0093	1926	0.0160	3.2
18%	350	50	0.1867	1889	0.3206	63.4
35%	350	50	0.3735	1808	0.6412	121.4
58%	350	50	0.7470	1518	1.2824	203.9
61%	350	50	1.1205	1056	1.9236	212.7
51%	350	50	1.3072	761	2.2442	178.8
32%	350	50	1.4940	422	2.5648	113.4
4%	350	50	1.6807	41	2.8854	12.5

Fuente: *Elaboración propia*

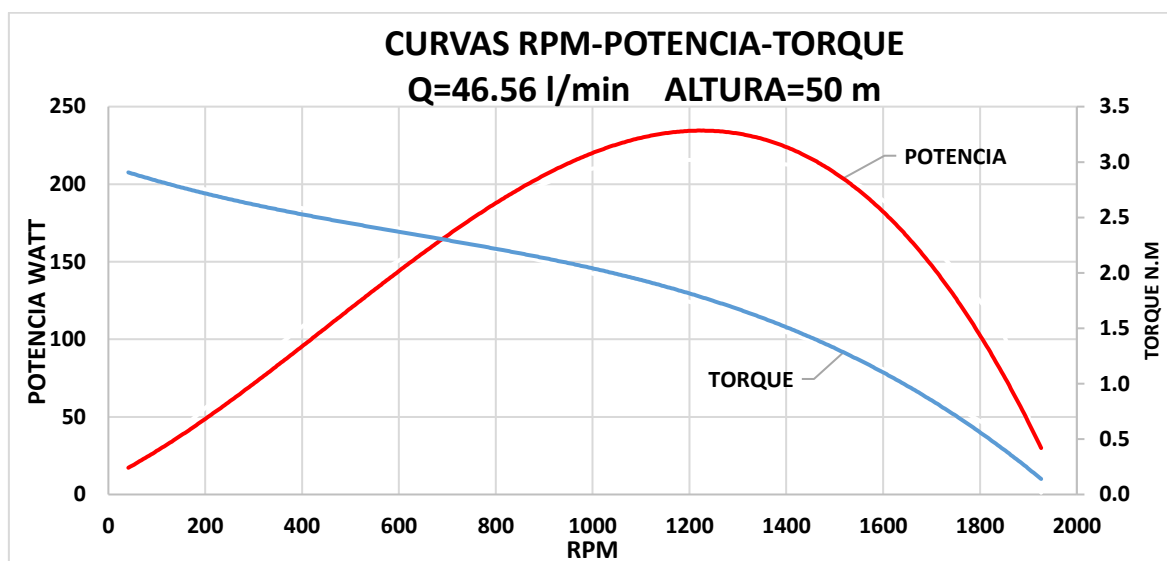
Analizando el contenido en La Tabla 23; en referencia a la Potencia y Torque Proyectados, la potencia alcanza un máximo de 212.7 W a 1056 RPM, momento en el que la turbina opera con su mayor eficiencia. A medida que las RPM aumentan o disminuyen desde este punto, la potencia generada decrece, lo cual es característico de sistemas de turbinas donde existe un punto óptimo de eficiencia energética.

En referencia del rendimiento en Altura de Diseño, con el incremento de carga (reflejado en la fuerza aplicada, F1), el torque también aumenta, alcanzando un valor máximo de 2.88 N·m a una velocidad mínima de 41 RPM. Esto indica que la turbina puede generar un torque considerable a bajas velocidades, lo cual es beneficioso para aplicaciones que requieran altos niveles de par.

El Grafico 17 describe las curvas características RPM-POTENCIA-TORQUE en condiciones de funcionamiento con un caudal de 46.5 l/min y una altura de 50m. Podemos apreciar que la potencia tiene forma parabólica alcanzando su máximo valor con 1200 rpm, mientras que el torque disminuye conforme se va incrementando las RPM.

Gráfico 17.

Curvas característica P-RPM-T / $Q=46.56$ l/min, $h=50$ m



Fuente: Elaboración propia

El **Gráfico 17** muestra que la microturbina alcanza su máxima potencia cerca de 1200 RPM, donde logra la mayor eficiencia energética, con una trayectoria parabólica de potencia que define este punto óptimo. A medida que las RPM aumentan, el torque disminuye, un comportamiento típico que estabiliza el sistema al reducir el esfuerzo sobre los componentes. Este gráfico sugiere que la turbina debería operarse alrededor de las 1200 RPM para maximizar su potencia y garantizar un rendimiento seguro, aprovechando al máximo el caudal de 46.5 L/min y una altura de 50 m.

La **Tabla 24** muestra los datos obtenidos del ensayo con Freno de Prony con un caudal 57.48 l/min; la presión, la fuerza (F1) y las RPM son parámetros directamente medidos del ensayo de los cuales se derivan los demás parámetros (altura, torque y potencia) con las fórmulas descritas en el apartado 2.5.6. La potencia disponible en función del caudal y altura es de 413 W.

Tabla 24.

Datos obtenidos del ensayo de freno Prony / $Q=57.48$ l/min

VALORES OBTENIDOS DEL ENSAYO DE TORQUE Y POTENCIA CON FRENO DE PRONY							
η	PRESIÓN (PSI)		ALTURA CALCULADA (m)	F1 (Kg)	RPM	TORQUE (N.m)	POTENCIA (w)
	PSI	Kpa					
1%	71	491	50	0.01	1926	0.0198	3.99
19%	71	491	50	0.23	1889	0.3958	78.30

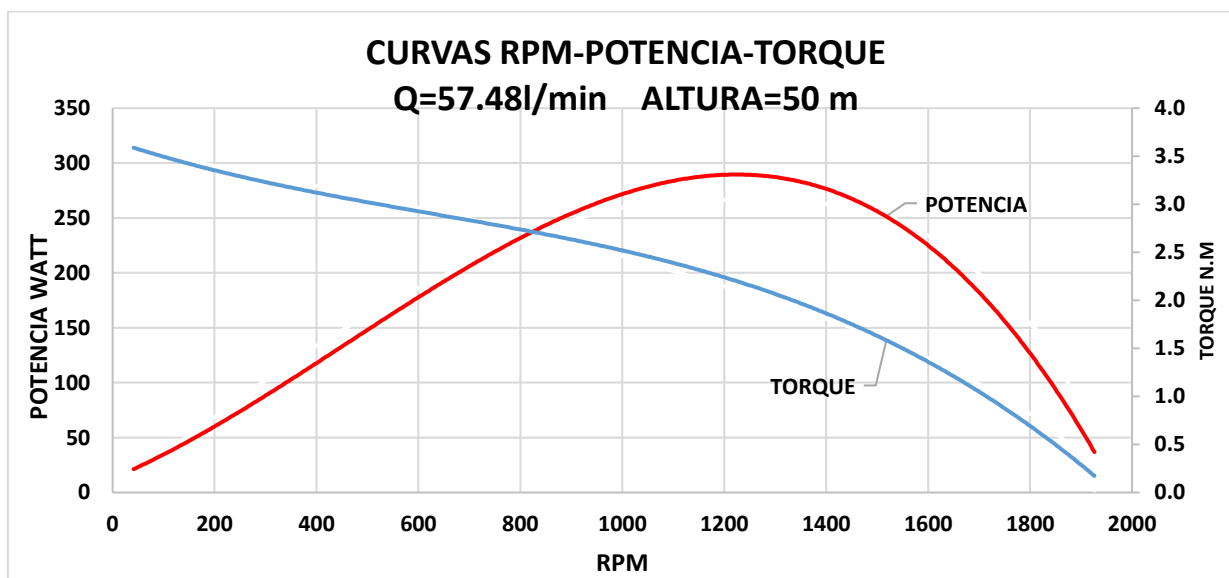
36%	71	491	50	0.46	1808	0.7916	149.90
61%	71	491	50	0.92	1518	1.5831	251.66
64%	71	491	50	1.38	1056	2.3747	262.60
53%	71	491	50	1.61	761	2.7705	220.68
34%	71	491	50	1.84	422	3.1663	140.05
4%	71	491	50	2.07	41	3.5620	15.39

Fuente: Elaboración propia

Interpretando el contenido de la Tabla 24 con referencia a la **eficiencia y potencia máxima**, La eficiencia de la turbina alcanzó un máximo de 64% a una velocidad de 1056 RPM, produciendo una potencia de 262.6 W. Este punto marca la mayor eficiencia operativa, destacando el rendimiento óptimo en estas condiciones de altura y caudal específicos. Por otro lado, a medida que aumenta la carga, el torque incrementa mientras que las RPM disminuyen. El torque máximo de 3.5620 N·m se alcanza a bajas RPM (41 RPM), evidenciando que el sistema responde con mayor torque en condiciones de menor velocidad. Los datos permiten definir un rango ideal de operación donde la eficiencia y potencia son máximas, estableciendo el nivel de carga que permite un funcionamiento eficiente y seguro para la turbina.

Gráfico 18.

Curvas característica P-RPM-T / Q=57.48 l/min, h=50m



Nota: El Grafico 18 describe las curvas características RPM-POTENCIA-TORQUE en condiciones de funcionamiento con un caudal de 57.48 l/min y una altura de 50m. Podemos apreciar que la potencia tiene forma parabólica alcanzando su máximo valor

con 1250 rpm, mientras que el torque disminuye conforme se va incrementando las RPM.

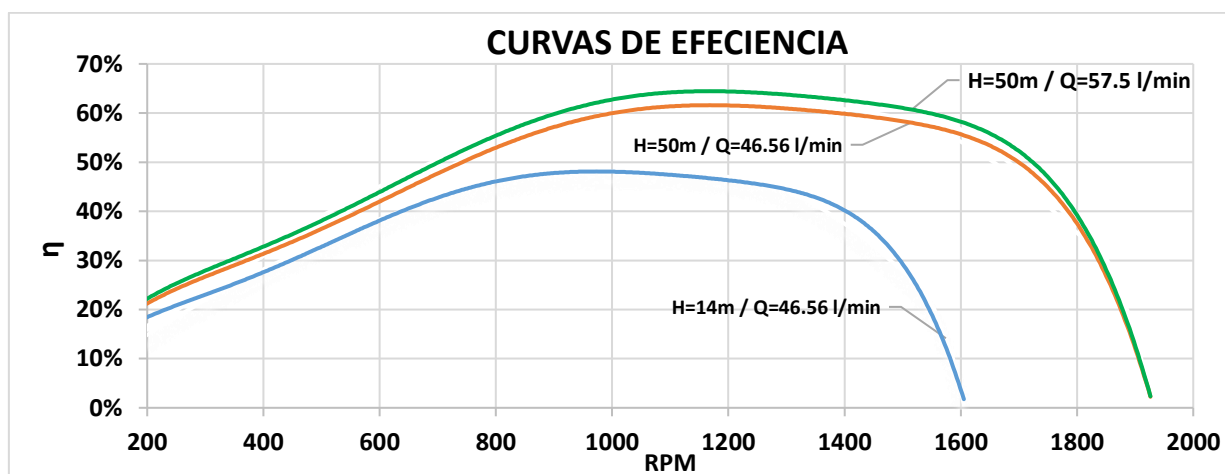
Fuente: Elaboración propia

El **Gráfico 18** representa las curvas de **RPM, Potencia y Torque** de la microturbina con un caudal de 57.48 L/min y una altura de 50 m. La potencia muestra un comportamiento parabólico, alcanzando su valor máximo cerca de 1250 RPM, lo que representa el punto de máxima eficiencia. A medida que las RPM aumentan, el torque disminuye, un patrón típico en turbinas, donde el incremento en la velocidad de rotación reduce la fuerza requerida para mantener el movimiento. Este gráfico ayuda a identificar el rango de operación óptimo de la turbina, asegurando un balance entre eficiencia y seguridad operativa.

El Gráfico 19 muestra las curvas de eficiencia de la microturbina hidráulica bajo distintas condiciones de operación, revelando que la eficiencia óptima se alcanza cuando el valor de RPM se acerca al valor de diseño (1500), tanto en términos de caudal como de altura.

Gráfico 19.

Curvas característica Eficiencia-RPM



Nota: El gráfico presenta las curvas de eficiencia de la microturbina hidráulica en diferentes condiciones de operación caudal u altura podemos observar que la eficiencia máxima se da cerca del valor de RPM de diseño (1500). **Fuente:** Elaboración propia.

El Gráfico 19 ilustra las curvas de eficiencia de la microturbina en función de las RPM, caudal y altura, derivadas de datos experimentales obtenidos mediante las pruebas en el banco de ensayos con el Freno de Prony. Cada curva refleja una condición específica:

Para una altura de 50 m y un caudal de 57.48 L/min, se observa que la eficiencia alcanza su punto máximo cerca de 1400 RPM, situándose en el nivel óptimo de diseño.

Con una altura de 50 m y un caudal de 46.56.0 L/min, la eficiencia presenta un pico en el mismo rango de 1400 RPM, aunque el valor de eficiencia es ligeramente inferior a la curva de mayor altura y caudal.

A una altura de 14 m y un caudal de 46.56 L/min, la eficiencia es menor en comparación con los escenarios anteriores, pero mantiene el patrón de máxima eficiencia cerca de las 1500 RPM.

Estos datos experimentales, obtenidos de mediciones de caudal, altura y RPM, permiten identificar que el diseño óptimo de la turbina está en torno a las 1200 y 1500 RPM. Las variaciones de altura y caudal afectan la eficiencia, pero sin desplazar significativamente este punto ideal, lo que proporciona un rango operativo claro para maximizar el rendimiento y asegurar una operación estable.

3.5. Resultados de pruebas en el punto de utilización.

3.5.1. Mediciones de voltaje.

La Tabla 25 muestra parámetros eléctricos de generación en diferentes condiciones de operación de la microturbina, RPM, las mediciones se ejecutaron en la salida del generador corriente alterna y la salida del rectificador corriente continua. De esta manera se determinó los RPM a los cual debería girar el eje de la microturbina para mantener una salida de volteje adecuado para garantizar el suministro de energía confiable y de calidad.

Tabla 25.

Valores de tensión en el generador y salida del módulo rectificador en función de RPM.

RPM		Voltaje AC (Línea)			Voltaje DC
EJE TURBINA	EJE GENERADOR	R-T	R-S	S-T	DC Rectificador
208	104	2.20	2.50	2.50	2.50
520	260	5.80	6.30	6.30	7.20
805	403	9.05	9.95	9.85	13.00
1010	505	11.35	12.50	12.40	15.50
1105	553	12.38	13.61	13.50	16.91
1300	650	14.54	15.98	15.85	20.00
1420	710	15.80	17.40	17.25	21.80

1510	755	16.94	18.60	18.46	23.30
1610	805	18.00	19.75	19.60	25.00
1688	844	19.90	20.20	20.00	26.30

Fuente: *Elaboración propia*

La **Tabla 25** presenta los parámetros eléctricos de la microturbina en diferentes condiciones de operación, midiendo el voltaje de salida tanto en corriente alterna (AC) desde el generador como en corriente continua (DC) desde el rectificador, todo en función de las RPM.

De los datos podemos interpretar con referencia a la relación entre RPM y Voltaje AC, a medida que las RPM aumentan, también lo hace el voltaje de salida en cada línea (R-T, R-S, S-T), evidenciando un aumento lineal en el voltaje generado por el generador. Por ejemplo, a 208 RPM, los voltajes en cada línea están en torno a 2.5V, mientras que, a 1688 RPM, los voltajes en las mismas líneas alcanzan los 20V.

Así mismo en referencia a la Salida en Corriente Continua (DC), el voltaje en el rectificador también aumenta con las RPM, manteniendo una salida estable en voltaje continuo a medida que la turbina incrementa su velocidad. Así, a 208 RPM, el voltaje DC es de 2.5V, mientras que a 1688 RPM alcanza 26.3V.

Finalmente, el rango de operación óptimo se sugiere un rango de operación seguro entre 800 y 1300 RPM, donde el voltaje DC oscila entre 13V y 20V. Este rango es suficiente para garantizar un suministro estable de energía sin riesgo de sobrevoltaje, lo cual es clave para evitar daños en dispositivos conectados a la microturbina.

IV. DISCUSIÓN

El uso de microturbinas hidráulicas como fuente de energía renovable ha sido ampliamente estudiado y aplicado en diferentes contextos rurales. En la investigación de Gabriel (2018), se logró identificar el potencial hidroeléctrico en la provincia de Córdoba, implementando microturbinas para abastecer de energía a comunidades rurales sin acceso a redes públicas. Similarmente, el estudio de Sarmiento (2020) demostró que las microturbinas tipo Pelton son una solución eficiente para el aprovechamiento de pequeños caudales en áreas rurales con grandes desniveles. Ambos estudios, al igual que nuestra investigación, concluyen que la implementación de microturbinas en redes de

abastecimiento de agua no solo es viable desde el punto de vista técnico, sino que también contribuye al acceso a energías renovables en zonas aisladas, disminuyendo la dependencia de fuentes fósiles y reduciendo el impacto ambiental.

La presente investigación se centró en evaluar la disponibilidad energética en las tuberías de abastecimiento de agua, con el objetivo de diseñar una solución económicamente viable y eficiente. Siguiendo la metodología de Héctor y Canaza (2018), se demostró la viabilidad de implementar microturbinas hidráulicas en micro caudales de agua en redes de tuberías existentes. Los resultados obtenidos fueron similares a los de la investigación mencionada, donde se presentó un módulo con una eficiencia entre 55% y 60% y una velocidad de rotación entre 950 rpm y 1170 rpm. En nuestra investigación, se logró una eficiencia entre 47% y 64% con velocidades de giro entre 880 rpm y 1056 rpm, lo que valida la efectividad del diseño y la implementación de microturbinas hidráulicas en este contexto.

La metodología empleada en la investigación de Héctor y Canaza (2018) abarcó ensayos experimentales con Freno de Prony para establecer las curvas características de funcionamiento, estos mismos ensayos se ejecutaron en la presente investigación permitiendo obtener resultados exitosos en el diseño e implementación de microturbinas hidráulicas para la generación de energía eléctrica en redes de tuberías de abastecimiento de agua, demostrando la efectividad de la metodología empleada.

La implementación de microturbinas hidráulicas ofrece una solución efectiva a la problemática energética en zonas rurales sin acceso a servicios eléctricos, la investigación de Vásquez (2015) se enfocó en aprovechar recursos renovables para transformar la matriz energética; en la misma línea nuestra investigación logró generar energía a partir de una fuente renovable suministrando electricidad para satisfacer parte de la demanda energética de una vivienda rural, cubriendo necesidades básicas como Iluminación con LED y Carga de dispositivos móviles. De esta manera, se mejora la calidad de vida de las personas en estas zonas, brindándoles acceso a servicios esenciales y oportunidades de desarrollo.

Con el presente trabajo de investigación, demostramos la factibilidad de aprovechar el potencial energético disponible en redes de tuberías de abastecimiento de agua. De manera similar, la investigación de Sanz (2013) también demostró la viabilidad de aprovechar los saltos disponibles en las tuberías de agua potable para la generación de

energía. Ambos estudios coinciden en destacar el potencial de las redes de tuberías de agua como una fuente de energía renovable y sostenible, lo que abre nuevas perspectivas para la generación de energía en zonas urbanas y rurales.

En la investigación de Játiva y Valencia (2017), se diseñó una turbina hidráulica para ser instalada en tuberías de agua potable, logrando un diseño computacional óptimo que cumple con los parámetros de operación. Sin embargo, debido a la falta de un prototipo construido y ensayado, no fue posible corroborar los resultados obtenidos en su investigación. En contraste, nuestra investigación logró demostrar la viabilidad del modelo diseñado mediante su implementación y puesta en marcha en un punto de utilización real. Esto nos permitió validar los resultados y confirmar la efectividad del diseño en condiciones prácticas.

Una de las limitaciones de nuestra investigación fue la falta de conocimientos especializados en simulación CFD, lo que nos impidió realizar el estudio y análisis computacional en fluidos que inicialmente habíamos propuesto. Como resultado, no pudimos determinar la geometría óptima de las cucharas que hubiera permitido maximizar el aprovechamiento del potencial energético disponible en las tuberías de abastecimiento de agua. A diferencia, en la investigación de (Bautista, 2019) se realizó simulación de fluidos para optimizar un diseño que le permitió lograr un torque aproximado a lo ideal.

El diseño de la microturbina hidráulica se basó en el potencial energético disponible en las redes de tuberías de abastecimiento para agua, lo que resultó en un modelo a pequeña escala. Sin embargo, esta escala reducida presentó desafíos significativos en la adquisición de materiales y piezas adecuados que se adaptaran perfectamente sin comprometer la funcionalidad o el diseño inicial. Esto retrasó la implementación y puesta en marcha del proyecto, ya que fue necesario buscar alternativas y soluciones creativas para superar estas limitaciones.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se diseñó e implementó una microturbina hidráulica para generar energía eléctrica a partir del potencial hídrico en tuberías de abastecimiento de agua. El sistema se puede aplicar en zonas rurales con una red de tuberías de abastecimiento de agua que tenga un caudal mínimo de 46.56 l/min y una altura mínima de 14.06 metros, Los ensayos en Freno de Prony fueron fundamentales para definir el rango óptimo de RPM (1056-1518) para lograr un torque máximo entre 1.58 N.m y 2.37 N.m con la máxima eficiencia del sistema entre 47% y 64% dependiendo de la altura y el caudal, alcanzando un máximo de eficiencia con un caudal de 57.48 l/min y una altura de 50 metros, generando una potencia suficiente para aplicaciones como iluminación LED y carga de dispositivos móviles, demostrando su viabilidad y eficacia como fuente de energía renovable en áreas de difícil acceso.

Se determinó el tipo de turbina hidráulica a través de la elaboración de un hidrograma de la fuente de agua que abastece la red de tuberías donde se instaló la microturbina, el caudal disponible varía durante el año entre 44.71 l/min y 57.48 l/min y con una altura máxima de 95 metros la potencia disponible esta entre 0.69kw y 0.89 kW sin considerar pérdidas en tuberías; con estos parámetros se determinó que la turbina que más se adecua a estos valores de caudal y altura es la turbina Pelton.

Se diseñó la geometría de los componentes que conforman la microturbina considerando aspectos fundamentales de diseño. Lo más importante para el diseño de la geometría de los componentes, especialmente del rodete de la microturbina hidráulica; fue la elaboración de un macro en Visual Basic para aplicar la iteración de las variables, determinando así las dimensiones de la microturbina económicamente viable de implementación para lo cual se consideró 50 metros como altura de diseño y el caudal máximo de 57.48 l/min con una potencia disponible en el punto de utilización de 0.4 kW; a esto se suma el modelamiento 3D y simulación de esfuerzos en SOLIDWORKS, permitió validar y ajustar el cálculo matemático de los parámetros de diseño; la elección del generador eléctrico se llevó a cabo considerando la velocidad de diseño de 1500 rpm y la potencia disponible, además se consideró la adaptabilidad al eje de la turbina hidráulica a través de poleas.

Se manufacturó el prototipo empleando procesos de fabricación de impresión 3D con resina (ESTEREOLITOGRAFÍA - SLA); para fabricar los alabes y el rodete, proceso de soldadura SMAW; para construir la estructura del modelo y proceso CAD/CAM; para la fabricación de las partes de la carcasa de la microturbina. El desafío más grande fue encontrar un método de manufactura adecuado para los alabes que fuera económicamente viable, con material resistente y capaz de producir la forma geométrica ideal determinada en el software CAD.

A través de ensayos con Freno de Prony, se obtuvieron mediciones precisas del torque en diferentes condiciones de operación, lo que permitió determinar las condiciones de funcionamiento más eficiente, logrando un funcionamiento esperado en el punto de utilización. Se propone una posible ficha técnica para el módulo de generación eléctrica implementado la cual detalla los parámetros nominales de operación, proporcionando una visión clara y concisa de las especificaciones técnicas del sistema implementado. La mencionada ficha técnica se presenta en la siguiente Tabla:

Turbina			
Altura nominal (H)	50 m		
	Max	Min	Und.
CAUDAL (Q)	57.48	46.56	l/min
POTENCIA (P)	262.6	212.7	watt
TORQUE (T)	2.37	1.92	N.m
EFICIENCIA (η)	0.64	0.61	
RPM	805	1300	
TENSION	9.6 V	15 V	AC
	13 V	20 V	DC

5.2. Recomendaciones

Promover la instalación de microturbinas hidráulicas en redes de tuberías de abastecimiento de agua es una opción económicamente viable para recuperar la energía potencial y satisfacer, al menos, la necesidad básica de iluminación LED en zonas rurales sin redes de electrificación. Esta alternativa de energía renovable ofrece múltiples ventajas; es un microsistema de generación eléctrica que no tiene impacto ambiental; es fácil de instalar y permite que el agua turbinada continúe su trayecto en la red de tuberías, De esta manera, se puede generar electricidad de manera sostenible y eficiente, mejorando la calidad de vida en zonas rurales aisladas.

Con base en la conclusión de que la turbina Pelton y el generador de imanes permanentes fueron la mejor elección para las condiciones específicas de caudal y altura, se recomienda evaluar esta configuración para otras áreas rurales con características similares de red hidráulica. Realizar estudios comparativos para analizar el rendimiento de distintas configuraciones en diferentes sistemas de tuberías sería útil para identificar oportunidades de aprovechamiento energético de fuentes renovables.

Debido a la importancia de un diseño robusto y optimizado para los componentes de la turbina, se recomienda continuar con la optimización de la geometría de los alabes y el rodete mediante técnicas avanzadas de simulación CFD (dinámica de fluidos computacional). Asimismo, se sugiere emplear materiales de mayor resistencia para prolongar la vida útil de los componentes en contacto con el agua, aumentando la eficiencia del sistema en condiciones operativas prolongadas.

Dado que la implementación del prototipo mediante impresión 3D y CAD-CAM resultó exitosa, se recomienda establecer laboratorios de fabricación con equipos CNC y de impresión avanzada, que permitan realizar ajustes de diseño y desarrollar componentes más precisos y duraderos. Así mismo se debe desarrollar un proceso de manufactura que permita la fabricación de partes, especialmente de los alabes, en materiales más resistentes y maximizar el aprovechamiento energético disponible.

Se recomienda realizar pruebas experimentales adicionales en campo bajo condiciones variables para afinar los parámetros de operación y obtener datos de rendimiento en escenarios distintos. Esta información puede emplearse para ajustar la turbina a diferentes redes de abastecimiento, permitiendo replicar la tecnología en otros contextos con características hidráulicas distintas. Así misma implementación de dos laboratorios en la Universidad Nacional de Jaén:

- Laboratorio de Hidráulica: Equipado con bancos de ensayo de turbinas, permitirá el análisis experimental de prototipos escalados, facilitando la investigación y el desarrollo de soluciones innovadoras en el campo de la hidráulica.
- Laboratorio de Manufactura: Dotado con tecnología CNC/CAD, permitirá el diseño y fabricación de prototipos funcionales, acelerando el proceso de desarrollo tecnológico y la creación de soluciones prácticas.

La implementación de estos laboratorios permitirá; Fortalecer la investigación y el desarrollo en el campo de la hidráulica y la manufactura, proporcionando a los estudiantes y profesores un espacio para experimentar e innovar; Fomentar la colaboración interdisciplinaria y la transferencia de tecnología, Impulsando el desarrollo de soluciones sostenibles y eficientes en el campo de la energía renovables. Con estos laboratorios, la Universidad Nacional de Jaén estará en una posición privilegiada para liderar la innovación y el desarrollo tecnológico en la región.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegret, E., & Martínez, Y. (2019). Coeficiente de Hazen-Williams en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(3), 41-55. <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v40n3/1680-0338-riha-40-03-41.pdf>
- Aponte, N. A. (2019). *Diseño de una turbina hidráulica para aprovechamiento energético en tuberías de transporte de agua de CIA minera Antamina SA* [Tesis, Universidad Nacional Del Centro Del Perú]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7024>
- Banco Mundial. (2020). *Informe de progreso energético*. Banco Mundial, Washington DC. <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.ACCS.ZS?end=2020>
- Bautista, J. L. (2019). *Diseño y construcción de una mini turbina hidráulica de hélices para ser instalada en los canales primarios abiertos y generar energía mecánica* [Tesis, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29641>
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2014). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. En *Igarss 2014* (8va ed). McGraw-Hill. ISBN 9780874216561
- Castro Maldonado, J., Gomez Macho, L., & Camargo Casalla, E. (2022). La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. En *Tecnura* (Vol. 27, Número 5). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2023000100008&lng=en&nrm=iso
- Chapallaz, J. M., Mombelli, H. P., & Renaud, A. (1995). Turbines hydrauliques journées de formation pour ingénieurs: petites centrales hydrauliques. En *Brochure of Journées de formation pour ingénieurs, Programme d'action PACER-Energies renouvelables. Office fédéral des questions conjoncturelles*.
- Clavijo, G. A. (2017). *Diseño De Un Sistema De Generación De Energía Eléctrica a Partir De Los Fluidos De Proceso Empleando Micro Turbinas Hidráulicas Para Topesa S.a*. Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Coz Federico. (1995). Manual de mini y microcentrales hidráulicas. En *Grupo de Desarrollo de Tecnologías Intermedias (ITDG)-PERÚ* (1ra ed.). Intermediate

Technology Development Group - Perú (ITDG-PERÚ). isbn: 1-85339-278-2

Da silva, S. (2018). *Controle de pressão e geração de energia por meio de bombas funcionando como turbinas em sistemas de abastecimento de água* [Tesis, Universidade Federal de Pernambuco].
<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/43103>

DIPAC MANTA S.A. (2006). Ejes Acero Inoxidable. *Revista Acero Inoxidable*, 51.
<http://www.cedinox.es/es/publicaciones/revista-acero-inoxidable/index.html>

Enel. (2018). *Turbina Hidroeléctrica*. <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-hidroelectrica/turbina-hidroelectrica>

Europea, C. (2016). Guía técnica de impresión 3D. *Co-funded by the Erasmus + Programme of the European Union, 1*, 1-32.

Fernández Díez, P. (1996). *Turbinas hidráulicas* (1ra Edició). Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética- Universidad De Cantabria.
<https://es.scribd.com/document/352000440/Turbinas-Hidraulicas-Pedro-Fernandez-Diez>

Flores, C. E. (2016). Soldadura al Arco Eléctrico SMAW. *Universidad Rafael Landívar*, 08, 12. <http://www.drweld.com/smaw.html>

Forero, J. A., Moreno, J. J., & Neuta, S. (2019). *Elaboración de un Prototipo de Turbina Tipo Pelton para el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Villavicencio Mediante Métodos Estandarizados de Diseño de Estructuras Hidráulicas*. [Universidad Cooperativa de Colombia].
https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/11596/1/2019_Elaboración_de_un_prototipo_de_turbina.pdf

FormLabs. (2021). *Especificaciones Tecnicas Rigid 10K Technical datasheet* (pp. 2-3). FormLabs. <https://formlabs.com/materials/rigid/>

Garcia, C., & Carlos, J. (2006). Tecnología avanzada del diseño y manufactura asistidos por computador - CAD/CAM. *Prospectiva*, 4(1), 75-81.
<https://www.redalyc.org/pdf/4962/496251107012.pdf>

Gutiérrez, L., & Corrales, C. (2008). *Diseño de un freno Prony para la medición de*

potencia [Universidad EAFIT].
<https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/054584c5-451e-4a20-a211-1fe1b6941c2d/content>

Héctor, C., & Canaza, J. (2018). *Diseño e implementación de un módulo de turbina pelton para el laboratorio de energía de la escuela profesional de ingeniería mecánica, mecánica-eléctrica y mecatrónica* [Universidad Católica de Santa María].
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/8313>

Hernández, C., & Idacochea, E. (1988). Apuntes para un manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas. En *Olade: Vol. II*. <https://realc.olade.org/documento.php?doc=7416>

INEI. (2021). *Estadísticas Colasay*. Sistema de Información Distrital para la Gestión Pública. <https://estadist.inei.gob.pe/dashboard/ambiente>

INEI. (2022). *Informe Técnico: Condiciones de vida en el Perú* (p. 95). INEI. <https://m.inei.gob.pe/biblioteca-virtual/boletines/condiciones-de-vida/2019/1/#lista>

IREN. (2020). *Instalaciones en paralelo a la red-Turbina Pelton*. <https://www.irem.it/es/hydro-power/instalaciones-en-paralelo-a-la-red/>

Jara T, wilfredo. (1998). *Máquinas Hidráulicas* (INIFIM). https://www.academia.edu/34809749/Máquinas_Hidraulicas-Wilfredo_Jara.pdf

Játiva, H. I., & Valencia, A. S. (2017). *Diseño y modelado de un sistema para generación de energía eléctrica dentro de tuberías de agua potable* [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/44340>

Maldonado, P., Sim, S., Guzm, C. E., Sim, S., Nogales, M. M., & Sim, S. (2022). *Metodología Para el Cálculo de Pico Turbinas Pelton para instalar en los cauces ríos utilizados para riego en las provincias de Punata y Tiraque del Valle Alto de Cochabamba – Bolivia*. 6, 1556-1590.

Mataix, C. (1975). *Turbomáquinas hidráulicas* (1ra ed.). Editorial ICAI. ISBN 8460066622

Mataix, C. (1986). *Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidraulicas*. En *Mecánica De Fluidos Y Maquinas Hidráulicas, Segunda Edición* (2da. Ed). ISBN 8421901753

- Ministerio de Energía y Minas. (2023a). *30 proyectos de electrificación rural serán concluidos durante el 2023 en diversas regiones del país*. <https://www.gob.pe/institucion/minem/noticias/696514-minem-30-proyectos-de-electrificacion-rural-seran-concluidos-durante-el-2023-en-diversas-regiones-del-pais>
- Ministerio de Energía y Minas. (2023b). *Principales indicadores del sector eléctrico a nivel nacional* (Vol. 2023). https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/2_Cifras_preliminares_del_Sector_Electrico_-Febrero_2023a_Rev5.pdf
- Nava, A., & García, H. (2014). Selección y dimensionamiento de turbinas hidráulicas para centrales hidroeléctricas. *Universidad Autónoma de México Facultad de Ingeniería*, 121. http://www.ingenieria.unam.mx/~deptohidraulica/publicaciones/pdf_publicaciones/SELECCyDIMENSIONAMIENTODETURBINAS.pdf
- OLADE. (2021). *Panorama Energético de América Latina y el Caribe* (T. Castillo, F. García, L. Mosquera, T. Rivadeneira, K. Segura Marco, & M. Yujato (eds.); 2da Edición). Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). ISBN 9789978701485. <https://sielac.olade.org/default.aspx>
- Ordóñez, J. (2011). ¿Qué Es Cuenca Hidrológica? En *Sociedad Geológica de Lima* (Vol. 1). http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/Cuenca_hidrologica.pdf
- Organización Mundial de la Salud. (2021). *Informe: El acceso universal a la energía sostenible seguirá siendo inalcanzable, a menos que se aborden las desigualdades*. (pp. 33-52). <https://www.who.int/es/news/item/07-06-2021-global-launch-tracking-sdg7-the-energy-progress-report>
- Requejo, E. G., & Cortéz, K. (2019). *Diseño y simulación de micro central hidroeléctrica utilizando turbina de vórtice para el centro poblado el huaco – distrito Huabal – Jaén – Perú* [Universidad Nacional de Jaén]. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/162>
- Rodríguez, Á. M. (2021). *Análisis y evaluación del uso de turbinas para la recuperación de energía en redes hidráulicas a presión* [Tesis doctoral, Universidad de Huelva]. <http://hdl.handle.net/10272/20337>

- Sanz, V. (2013). *Microturbinas para generación eléctrica en redes de abastecimiento de agua potable de cataluña* [Máster Interuniversitario UB - UPC]. <http://hdl.handle.net/2099.1/19586>
- Sarmiento, J. A. (2020). *Metodología de diseño para turbinas tipo pelton, mediante un estudio paramétrico*. Escuela Politécnica Nacional.
- SENAMHI. (2023a). *Descarga de datos Meteorológicos*. <https://www.senamhi.gob.pe/site/descarga-datos/>
- SENAMHI. (2023b). *Pronóstico del tiempo para CAJAMARCA (Cajamarca)*. <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=cajamarca&p=pronostico-detalle>
- Serviaceros. (2021). *Acero inoxidable del tipo austenítico y no endurecible por temple convencional*. 442, 54-55. <https://www.serviacero.com/especiales/aceros-inoxidables/304/>
- SMARAAD. (2021). *Generador de Iman Permanente*. <https://en.smaraad.com/ProDetail.aspx?ProId=37>
- SUPEMESA. (2023). *Tubos LAC mecánicos*. <https://www.tupemesa.com.pe/wp-content/uploads/2022/03/220121-Ficha-tecnica-tubos-lac.pdf>
- Tantaleán, O., & Polo, C. E. (2020). *Implementación de una turbina hidrocínética de eje horizontal, para generación de energía eléctrica en canales fluviales de zonas rurales* [Tesis, Universidad Nacional de Jaén]. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/212>
- Vásquez, V. R. (2015). *Estudio y diseño de un sistema microhidroeléctrico para generación y abastecimiento de energía eléctrica mediante energía renovable para una vivienda típica del sector de Sinincay perteneciente al Cantón* [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10515>

AGRADECIMIENTO

Primeramente, A Dios por darnos la oportunidad de vivir y guiarnos por el camino del bien, por cumplir con nuestro sueño tan deseado.

A nuestro asesor de tesis Mg. Henry Oswaldo Pinedo Nava, director del Instituto de Investigación en Energías Renovables (INRER), por proponernos el reto del presente proyecto como parte de los esfuerzos que se vienen realizando en INRER para promover el desarrollo de proyectos de investigación científica y tecnología de aprovechamiento de recursos energéticos renovables.

Agradecemos al Dr. Lenin Quiñones Huatangari, director del Instituto de Investigación de Ciencias de Datos (INSCID) por su apoyo y colaboración al facilitarnos el uso de la impresora 3D con resina, necesaria para la creación de los componentes de la micro turbina hidráulica. Aunque el INRER cuenta con una impresora 3D con filamento, los requerimientos específicos de este proyecto exigían una impresión con resina, por lo que solicitamos el apoyo del INSCID para acceder a este equipamiento especializado.

De igual manera a nuestros padres, familiares y amigos por creer en nosotros y hacer posible alcanzar la culminación de nuestra carrera profesional.

DEDICATORIA

Dedico mi tesis primeramente a dios, por guiarme por el buen camino y darme la fuerza necesaria para culminar con esta meta tan anhelada.

A mis padres, Jorge Altamirano y Vilú Vidarte, mis hermanos, familia y amigos, por la motivación y apoyo incondicional que me han dado para seguir adelante y afrontar las dificultades sin perder nunca la cabeza ni morir en el intento.

Y finalmente a las personas que creyeron en mí, y me demostraron su apoyo de alguna u otra manera.

Jorge Jhonatan Altamirano Vidarte.

DEDICATORIA

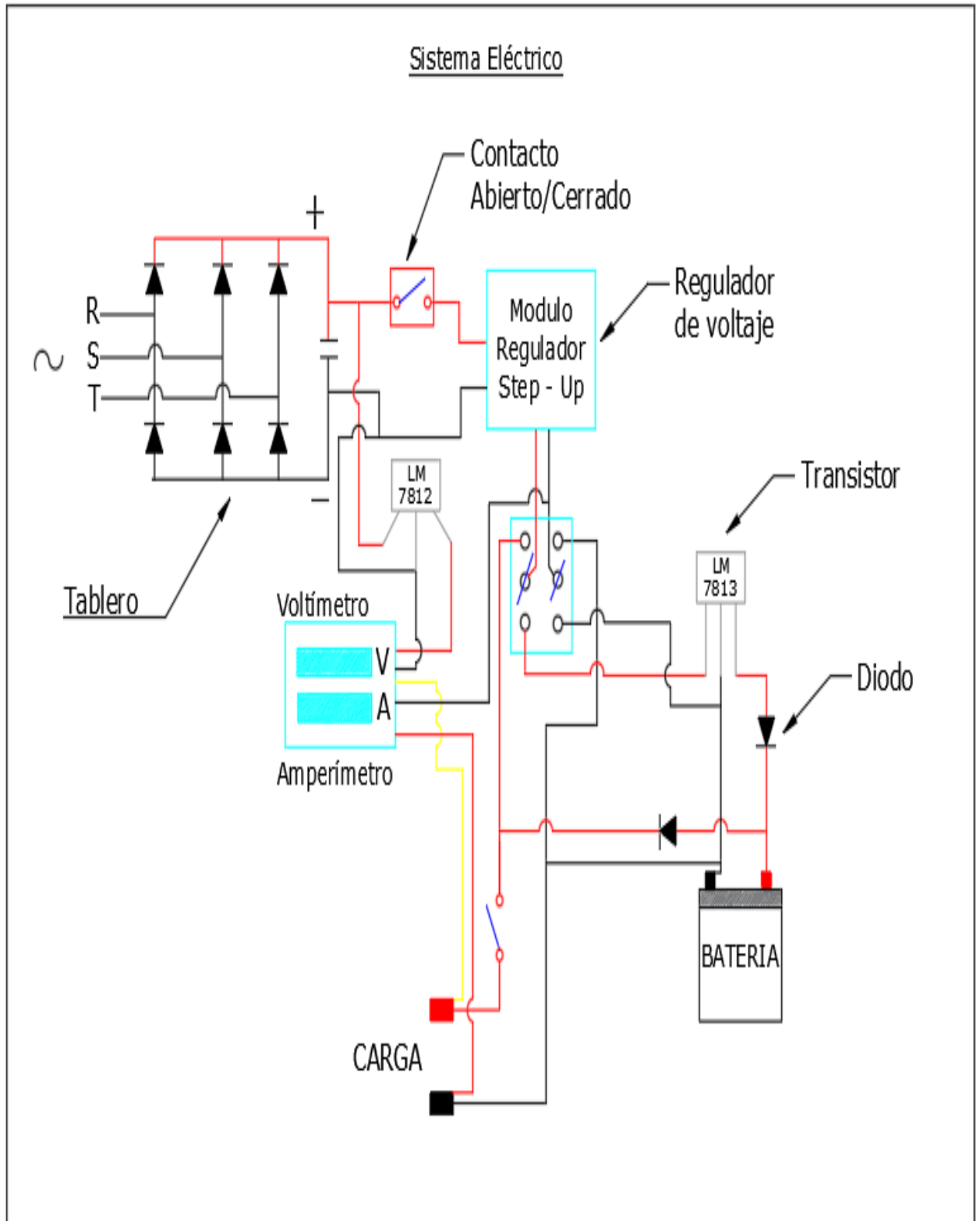
A mis padres, Leoncio Tello y María Correa, quienes me han brindado su amor incondicional, apoyo y sacrificio desde el primer día. Su dedicación y esfuerzo han sido fundamentales en mi formación y crecimiento. Les agradezco por haberme enseñado los valores y principios que me han llevado a alcanzar este logro. También quiero dedicar este trabajo a mi hermana, Marisa Tello, quien ha sido mi compañera de camino y fuente de inspiración. Su amor y apoyo han sido un pilar en mi vida

Osman Darwin Tello Correa.

VII. ANEXOS

Anexo 1.

Diagrama unifilar modulo rectificador de corriente



Anexo 2.*Ficha recolección de datos en campo temporada 1*

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MICROTURBINA HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN TUBERÍAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL DISTRITO DE COLASAY, 2023						
RECOLECCION DE DATOS EN CAMPO		FICHA TECNICA			N° 001	
FECHA: 18/02/23 - 22/02/23		LUGAR	EL PORVENIR - COLASAY			
INSTRUMENTOS Y/O HERRAMIENTAS A UTILIZAR						
Vernier de precisión		Tacómetro		Multitester	Manómetro	
GPS	X	Caudalimetro		Cronómetro	X Dinamómetro	
otros	Resipiente graduado					
PARAMETROS A MEDIR						
VARIABLE INDEPENDIENTE		CAUDAL		ALTURA		
Metodo		Medición directa		Medición directa		
		Metodo cubeta		X Otros metodos		
Sub Parametros		Tiemp (s)	vol (L)	Caudal (L/min)	Elevacion m.s.n.m	Punto de Medicion
Medicion dia 1		25.5	25	58.8	2124	<i>captacion</i>
Medicion dia 2		26.3	25	57.0	2127	<i>captacion</i>
Medicion dia 3		26.3	25	57.0	2122	<i>captacion</i>
Medicion dia 4		26.0	25	57.6	2129	<i>captacion</i>
Medicion dia 5		26.3	25	57.0	2130	<i>captacion</i>
PROMEDIO		26	25	57.48		
OBSERVACIONES						

Anexo 3.

Ficha recolección de datos en campo temporada 2

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MICROTURBINA HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN TUBERÍAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL DISTRITO DE COLASAY, 2023					
RECOLECCION DE DATOS EN CAMPO		FICHA TECNICA			N° 002
FECHA: 25/08/23 - 29/08/23		LUGAR	EL PORVENIR - COLASAY		
INSTRUMENTOS Y/O HERRAMIENTAS A UTILIZAR					
Vernier de precisión		Tacómetro		Multitester	Manómetro
GPS		Caudalimetro		Cronómetro	Dinamómetro
otros	Resipiente graduado				
PARAMETROS A MEDIR					
VARIABLE INDEPENDIENTE	CAUDAL			ALTURA	
Metodo	Medición directa			Medición directa	X
	Metodo cubeta		X	Otros metodos	
Sub Parametros	Tiemp (s)	vol (L)	Caudal (L/min)	Elevacion m.s.n.m	Punto de Medicion
Medicion dia 1	33	25	45.45	2126	<i>captacion</i>
Medicion dia 2	34	25	44.12	2120	<i>captacion</i>
Medicion dia 3	33	25	45.45	2129	<i>captacion</i>
Medicion dia 4	36	25	41.67	2125	<i>captacion</i>
Medicion dia 5	32	25	46.88	2131	<i>captacion</i>
PROMEDIO	33.6	25	44.71	2126	<i>captacion</i>
OBSERVACIONES					

Anexo 4.

Ficha recolección de datos en ensayo de prototipo.

"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MICROTURBINA HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN TUBERIAS PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL DISTRITO DE COLASAY, 2024"							
RECOLECCION DE DATOS EN PROTOTIPO		FICHA TECNICA				N°	
FECHA 14/03/2024		LUGAR	EL PORVENIR - COLASAY				
INSTRUMENTOS Y/O HERRAMIENTAS A UTILIZAR							
Vernier de precisión	X	Tacómetro	X	Multitester		Manómetro	X
GPS		Caudalimetro		Cronómetro	X	Dinamómetro	X
otros							
METODO		FRENO DE PRONY		LONGITUD DE RADIO		0.175	
PARAMETROS A MEDIR							
VARIABLE INDEPENDIENTE	FUERZA		PRESIÓN	RPM	CAUDAL		
Sub Parámetros	F1 (Kg)	F2 (Kg)	PSI	RPM	Tiemp (s)	vol (L)	Caudal /und
Medicion 1	0	0	20	1450	5	3.88	0.776
Medicion 3	0	0	10	1020	5	2.8	0.56
Medición 1	Medición respecto a: PRESION y CAUDAL						
Sub Parámetros	F1 (Kg)	F2 (Kg)	PRESIÓN (PSI)	RPM	CAUDAL (L/S)		
Toma 1	0.1	-	20	1370	0.776		
Toma 2	0.2	-	20	1150	0.776		
Toma 3	0.3	-	20	800	0.776		
Toma 4	0.5	-	20	650	0.776		
Medición 3	Medición respecto a: PRESION y CAUDAL						
Sub Parámetros	F1 (Kg)	F2 (Kg)	PRESIÓN (PSI)	RPM	CAUDAL (L/S)		
Toma 1	0.1	-	10	850	0.56		
Toma 2	0.2	-	10	600	0.56		
Toma 3	0.3	-	10	350	0.56		
Medición 4	Medición respecto a: PRESION y CAUDAL						
Sub Parámetros	F1 (Kg)	F2 (Kg)	PRESIÓN (PSI)	RPM	CAUDAL (L/S)		
Toma 1							
Toma 2							
Toma 3							
Toma 4							
OBSERVACIONES							

Anexo 5.

Ficha técnica de la Electrobomba periférica.



Electrobomba Periférica Werken 1 HP XKM80-1 40L/min
Werken 115160



- Potencia de 1 HP para un rendimiento confiable.
- Presión máxima de trabajo de 50 PSI.
- Altura recomendable de distribución de 55 metros.
- Máximo poder de descarga hasta 60 l/min.



FICHA TÉCNICA

Características Protector térmico que se activa a los 60° de temperatura. Rodamiento de alta calidad. Impulsador de bronce. Ideal para 2 pisos.	Garantía 3 Años
Observaciones Instalar en lugares protegidos del clima.	Profundidad Del Producto 15 cm
Recomendaciones De Uso Verifique la coincidencia del voltaje de alimentación con el de la máquina. Leer las instrucciones de uso para una correcta instalación.	Altura Del Producto 18 cm
Modelo XKm80-1	Tipo de Producto Electrobomba
Ancho Del Producto 31 cm	Sub Tipo de Producto Periférica
Material Metal	Color Azul
Máximo poder de descarga 60 l/min	Marca Werken
Presión máxima de trabajo 50 PSI	Peso Del Producto 10 kg
Diámetro de distribución 1 "	Altura recomendable de distribución 55 m
Advertencia de uso Mantener alejado de los niños, utilizar herramientas y equipo de protección personal adecuado al momento de instalar el producto. Usar los accesorios adecuados para el producto.	Caudal máximo 50 l/min

Anexo 6.

Ficha técnica de las poleas

22004 Poleas de las correas dentadas Perfil HTD 3M



Descripción del artículo/Imágenes del producto



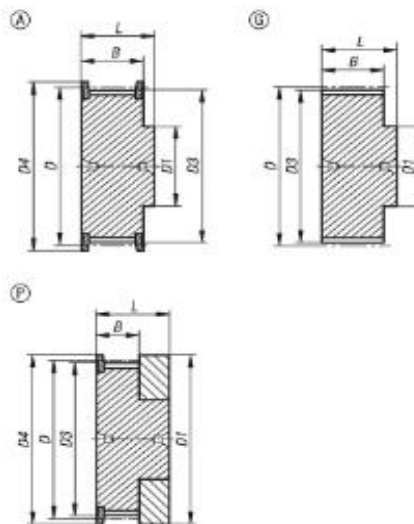
Descripción

Material:
Aluminio.

Versión:
Acabado natural.

Indicación:
Perfil HTD estándar con división métrica (dentado semicircular). Al menos una de las poleas de correa dentada debe disponer de coronas. Las poleas de las correas dentadas disponen de una perforación de centrado. En esta perforación de centrado, el cliente puede realizar un agujero de referencia, un agujero de referencia con ranura o una perforación roscada. Las poleas de correa dentada pueden tener hendiduras en la parte frontal.

Planos



Nuestros productos

Referencia	Forma	Perfil	B	D	D1 máx.	D3	D4 máx.	L	Anchura de correa	Número de dientes
22004-030916	A	HTD3M	12,8	15,28	10	14,52	17,5	20,6	9	16
22004-030918	A	HTD3M	12,8	17,19	11	16,43	20	20,6	9	18
22004-030920	A	HTD3M	12,8	19,1	13	18,34	23	20,6	9	20
22004-030921	A	HTD3M	12,8	20,05	13	19,29	25	20,6	9	21
22004-030922	A	HTD3M	12,8	21,01	13	20,25	25	20,6	9	22
22004-030924	A	HTD3M	12,8	22,92	14	22,16	25	20,6	9	24
22004-030926	A	HTD3M	12,8	24,83	16	24,07	28	20,6	9	26
22004-030928	A	HTD3M	12,8	26,74	18	25,98	32	20,6	9	28
22004-030930	A	HTD3M	12,8	28,65	20	27,89	32	20,6	9	30
22004-030932	A	HTD3M	12,8	30,56	22	29,8	36	20,6	9	32
22004-030936	A	HTD3M	13,4	34,38	26	33,62	39	22,2	9	36
22004-030940	A	HTD3M	13,4	38,2	28	37,44	42	22,2	9	40
22004-030944	A	HTD3M	13,4	42,02	33	41,26	48	22,2	9	44

Anexo 7.*Resumen Precipitaciones estación HACIENDA PUCARA*

Resumen Precipitaciones	
AÑO/MES	PRESIPITACION (mm)
2006	759.8
Ene	138.1
Feb	125.8
Mar	210
Abr	101.5
May	14.4
Jun	17.8
Jul	26.4
Ago	2.1
Set	3.6
Oct	50.6
Nov	48.3
Dic	21.2
2007	839.06
Ene	68.4
Feb	27.3
Mar	124.6
Abr	92.8
May	61.6
Jun	1.11
Jul	9.72
Ago	12.51
Set	7.7
Oct	159.6
Nov	233.8
Dic	39.92
2008	786.18
Ene	67.81
Feb	162.31
Mar	120.22
Abr	74.52
May	27.92
Jun	29.8
Jul	4.91
Ago	19.12
Set	10.13
Oct	140.73
Nov	91.41
Dic	37.3
2009	655.04
Ene	144.9
Feb	79.31

Mar	144.61
Abr	95.31
May	7.73
Jun	8.91
Jul	6.44
Ago	9.7
Set	6.22
Oct	73.3
Nov	44.2
Dic	34.41
2010	514.05
Ene	12.22
Feb	131.24
Mar	114.62
Abr	48.34
May	16.32
Jun	4.14
Jul	0.32
Ago	3.11
Set	12.61
Oct	61.9
Nov	23.41
Dic	85.82
2011	684.42
Ene	39.7
Feb	78.44
Mar	70.91
Abr	145.22
May	50.01
Jun	2.31
Jul	4.21
Ago	1
Set	21.92
Oct	100.8
Nov	54.9
Dic	115
2012	701.88
Ene	92.81
Feb	99.22
Mar	113.71
Abr	103.4
May	13.4
Jun	3.83
Jul	2.2
Ago	1.01
Set	2.6
Oct	116.6

Nov	86.2
Dic	66.9
2013	565.93
Ene	50.62
Feb	34.31
Mar	97.3
Abr	20.6
May	134.9
Jun	3
Jul	2.4
Ago	18.4
Set	5.5
Oct	85.2
Nov	29.1
Dic	84.6
2014	168.8
Abr	47.8
May	111.1
Jun	9.9
Total general	5675.16

Anexo 8.

Código del Macro Visual Basic.

Sub ALTURA ()

FILA = 8

Range("y4") = Range("i1") / 1.666666666666667E-05

For cont = 10 To 95 Step 1

Range("I8") = cont

Range("X" & FILA) = Range("I8")

Range("Y" & FILA) = Range("I16")

Range("Z" & FILA) = Range("I15")

Range("AA" & FILA) = Range("U15")

Range("AB" & FILA) = Range("U12")

Range("AC" & FILA) = Range("I11")

Range("AD" & FILA) = Range("I19")

Range("AE" & FILA) = Range("U10")

FILA = FILA + 1

```
Next
End Sub
Sub CAUDAL ()
  FILA = 8
  Dim Q As Double
  For cont = 20 To 60 Step 1
    Q = cont * 1.666666666666667E-05
    Range("I1") = Q
    Range("AG" & FILA) = cont
    Range("AH" & FILA) = Range("I16")
    Range("AI" & FILA) = Range("I15")
    Range("AJ" & FILA) = Range("U15")
    Range("AK" & FILA) = Range("U12")
    Range("AL" & FILA) = Range("I11")
    Range("AM" & FILA) = Range("I19")
    Range("AN" & FILA) = Range("U10")
    FILA = FILA + 1
  Next
End Sub
Sub RPM ()
  FILA = 8
  For cont = 50 To 3000 Step 50
    Range("I9") = cont
    Range("AP" & FILA) = Range("I9")
    Range("AQ" & FILA) = Range("I16")
    Range("AR" & FILA) = Range("I15")
    Range("AS" & FILA) = Range("U15")
    Range("AT" & FILA) = Range("U12")
    Range("AU" & FILA) = Range("I11")
    Range("AV" & FILA) = Range("I19")
```

Range("AW" & FILA) = Range("U10")

FILA = FILA + 1

Next

End Sub

Anexo 9.

Resultados de la iteración en el Macro Visual Basic en función del caudal.

Q	l/min
	57.4794
RPM	1500.00

H	D	d₀	Pt	Txf (N.m)	NS	δ	F
10	78.47	9.48	80.22	0.51	29.76	0.12	13.02
11	82.30	9.25	88.25	0.56	27.71	0.11	13.65
12	85.96	9.05	96.27	0.61	25.96	0.11	14.26
13	89.47	8.87	104.29	0.66	24.44	0.10	14.84
14	92.85	8.71	112.31	0.72	23.12	0.09	15.40
15	96.11	8.56	120.33	0.77	21.96	0.09	15.94
16	99.26	8.42	128.36	0.82	20.92	0.08	16.46
17	102.32	8.30	136.38	0.87	19.99	0.08	16.97
18	105.28	8.18	144.40	0.92	19.15	0.08	17.46
19	108.17	8.07	152.42	0.97	18.39	0.07	17.94
20	110.98	7.97	160.45	1.02	17.68	0.07	18.41
21	113.72	7.87	168.47	1.07	17.04	0.07	18.86
22	116.40	7.78	176.49	1.12	16.45	0.07	19.31
23	119.01	7.69	184.51	1.17	15.90	0.06	19.74
24	121.57	7.61	192.53	1.23	15.39	0.06	20.16
25	124.08	7.54	200.56	1.28	14.92	0.06	20.58
26	126.54	7.46	208.58	1.33	14.46	0.06	20.99
27	128.95	7.39	216.60	1.38	14.04	0.06	21.39
28	131.31	7.32	224.62	1.43	13.65	0.06	21.78
29	133.64	7.26	232.65	1.48	13.30	0.05	22.17
30	135.92	7.20	240.67	1.53	12.96	0.05	22.54
31	138.17	7.14	248.69	1.58	12.64	0.05	22.92
32	140.38	7.08	256.71	1.63	12.35	0.05	23.28
33	142.55	7.03	264.74	1.69	12.07	0.05	23.65
34	144.70	6.98	272.76	1.74	11.80	0.05	24.00
35	146.81	6.93	280.78	1.79	11.54	0.05	24.35
36	148.89	6.88	288.80	1.84	11.29	0.05	24.70
37	150.95	6.83	296.82	1.89	11.06	0.05	25.04
38	152.97	6.79	304.85	1.94	10.83	0.04	25.37
39	154.97	6.74	312.87	1.99	10.61	0.04	25.70

40	156.95	6.70	320.89	2.04	10.40	0.04	26.03
41	158.90	6.66	328.91	2.09	10.21	0.04	26.36
42	160.82	6.62	336.94	2.14	10.03	0.04	26.68
43	162.73	6.58	344.96	2.20	9.85	0.04	26.99
44	164.61	6.54	352.98	2.25	9.68	0.04	27.30
45	166.47	6.51	361.00	2.30	9.51	0.04	27.61
46	168.31	6.47	369.02	2.35	9.36	0.04	27.92
47	170.13	6.44	377.05	2.40	9.21	0.04	28.22
48	171.93	6.40	385.07	2.45	8.85	0.04	28.52
49	173.71	6.37	393.09	2.50	8.60	0.04	28.81
50	175.47	6.34	401.11	2.55	8.46	0.04	29.10
51	177.22	6.31	409.14	2.60	8.34	0.04	29.39
52	178.95	6.27	417.16	2.66	8.21	0.04	29.68
53	180.66	6.24	425.18	2.71	8.08	0.03	29.97
54	182.36	6.22	433.20	2.76	7.97	0.03	30.25
55	184.04	6.19	441.23	2.81	7.87	0.03	30.53
56	185.70	6.16	449.25	2.86	7.77	0.03	30.80
57	187.35	6.13	457.27	2.91	7.67	0.03	31.08
58	188.99	6.11	465.29	2.96	7.57	0.03	31.35
59	190.61	6.08	473.31	3.01	7.48	0.03	31.62
60	192.22	6.05	481.34	3.06	7.37	0.03	31.88
61	193.82	6.03	489.36	3.12	7.28	0.03	32.15
62	195.40	6.00	497.38	3.17	7.20	0.03	32.41
63	196.97	5.98	505.40	3.22	7.12	0.03	32.67
64	198.52	5.96	513.43	3.27	7.04	0.03	32.93
65	200.07	5.93	521.45	3.32	6.96	0.03	33.18
66	201.60	5.91	529.47	3.37	6.89	0.03	33.44
67	203.12	5.89	537.49	3.42	6.81	0.03	33.69
68	204.63	5.87	545.51	3.47	6.74	0.03	33.94
69	206.13	5.85	553.54	3.52	6.67	0.03	34.19
70	207.62	5.83	561.56	3.57	6.60	0.03	34.44
71	209.10	5.80	569.58	3.63	6.53	0.03	34.68
72	210.57	5.78	577.60	3.68	6.47	0.03	34.93
73	212.02	5.76	585.63	3.73	6.40	0.03	35.17
74	213.47	5.74	593.65	3.78	6.33	0.03	35.41
75	214.91	5.73	601.67	3.83	6.27	0.03	35.65
76	216.34	5.71	609.69	3.88	6.20	0.03	35.88
77	217.76	5.69	617.71	3.93	6.14	0.03	36.12
78	219.17	5.67	625.74	3.98	6.08	0.03	36.35
79	220.57	5.65	633.76	4.03	6.03	0.03	36.58
80	221.96	5.63	641.78	4.09	5.97	0.03	36.82
81	223.34	5.62	649.80	4.14	5.92	0.03	37.04
82	224.71	5.60	657.83	4.19	5.86	0.02	37.27
83	226.08	5.58	665.85	4.24	5.79	0.02	37.50
84	227.44	5.57	673.87	4.29	5.74	0.02	37.72
85	228.79	5.55	681.89	4.34	5.69	0.02	37.95

86	230.13	5.53	689.92	4.39	5.64	0.02	38.17
87	231.46	5.52	697.94	4.44	5.59	0.02	38.39
88	232.79	5.50	705.96	4.49	5.55	0.02	38.61
89	234.11	5.49	713.98	4.55	5.50	0.02	38.83
90	235.42	5.47	722.00	4.60	5.45	0.02	39.05
91	236.73	5.46	730.03	4.65	5.41	0.02	39.26
92	238.02	5.44	738.05	4.70	5.36	0.02	39.48
93	239.31	5.43	746.07	4.75	5.32	0.02	39.69
94	240.60	5.41	754.09	4.80	5.28	0.02	39.91
95	241.87	5.40	762.12	4.85	5.24	0.02	40.12

Anexo 10.

Resultados de la iteración en el macro Visual Basic en función de la altura.

H	m
	50.00
RPM	1500.00

Q	D	d₀	Pt	Txf (N.m)	NS	δ	F
20.00	175.47	3.74	139.57	0.89	5.27	0.02130	10.13
21.00	175.47	3.83	146.55	0.93	5.40	0.02183	10.63
22.00	175.47	3.92	153.52	0.98	5.52	0.02234	11.14
23.00	175.47	4.01	160.50	1.02	5.64	0.02284	11.65
24.00	175.47	4.09	167.48	1.07	5.76	0.02333	12.15
25.00	175.47	4.18	174.46	1.11	5.87	0.02381	12.66
26.00	175.47	4.26	181.44	1.16	5.98	0.02429	13.17
27.00	175.47	4.34	188.42	1.20	6.09	0.02475	13.67
28.00	175.47	4.42	195.39	1.24	6.19	0.02520	14.18
29.00	175.47	4.50	202.37	1.29	6.30	0.02565	14.68
30.00	175.47	4.58	209.35	1.33	6.40	0.02609	15.19
31.00	175.47	4.65	216.33	1.38	6.49	0.02652	15.70
32.00	175.47	4.73	223.31	1.42	6.59	0.02694	16.20
33.00	175.47	4.80	230.29	1.47	6.68	0.02736	16.71
34.00	175.47	4.87	237.27	1.51	6.78	0.02777	17.22
35.00	175.47	4.94	244.24	1.55	6.87	0.02818	17.72
36.00	175.47	5.01	251.22	1.60	6.95	0.02858	18.23
37.00	175.47	5.08	258.20	1.64	7.04	0.02897	18.74
38.00	175.47	5.15	265.18	1.69	7.12	0.02936	19.24
39.00	175.47	5.22	272.16	1.73	7.21	0.02974	19.75
40.00	175.47	5.29	279.14	1.78	7.29	0.03012	20.25
41.00	175.47	5.35	286.11	1.82	7.37	0.03050	20.76
42.00	175.47	5.42	293.09	1.87	7.44	0.03087	21.27
43.00	175.47	5.48	300.07	1.91	7.52	0.03123	21.77

44.00	175.47	5.54	307.05	1.95	7.60	0.03159	22.28
45.00	175.47	5.61	314.03	2.00	7.67	0.03195	22.79
46.00	175.47	5.67	321.01	2.04	7.74	0.03230	23.29
47.00	175.47	5.73	327.98	2.09	7.81	0.03265	23.80
48.00	175.47	5.79	334.96	2.13	7.88	0.03300	24.31
49.00	175.47	5.85	341.94	2.18	7.95	0.03334	24.81
50.00	175.47	5.91	348.92	2.22	8.01	0.03368	25.32
51.00	175.47	5.97	355.90	2.27	8.08	0.03401	25.82
52.00	175.47	6.03	362.88	2.31	8.14	0.03435	26.33
53.00	175.47	6.08	369.85	2.35	8.20	0.03467	26.84
54.00	175.47	6.14	376.83	2.40	8.26	0.03500	27.34
55.00	175.47	6.20	383.81	2.44	8.32	0.03532	27.85
56.00	175.47	6.25	390.79	2.49	8.38	0.03564	28.36
57.00	175.47	6.31	397.77	2.53	8.43	0.03596	28.86
58.00	175.47	6.36	404.75	2.58	8.49	0.03627	29.37
59.00	175.47	6.42	411.73	2.62	8.54	0.03658	29.87
60.00	175.47	6.47	418.70	2.67	8.59	0.03689	30.38
					9.00		

Anexo 11.

Suscripción a la Prueba Gratis de SOLIDWORKS.



Anexo 12. PANEL FOTOGRÁFICO

Instalación de la microturbina en la zona del proyecto.



Instalación del cableado eléctrico en la casa beneficiada.



Toma de mediciones de voltaje en tablero de control.



Toma de mediciones de RPM y caudal.



Resultados satisfactorios de la microturbina.



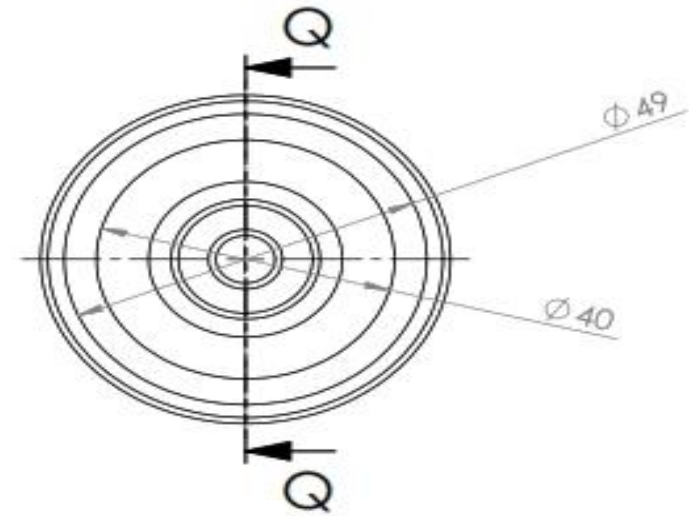
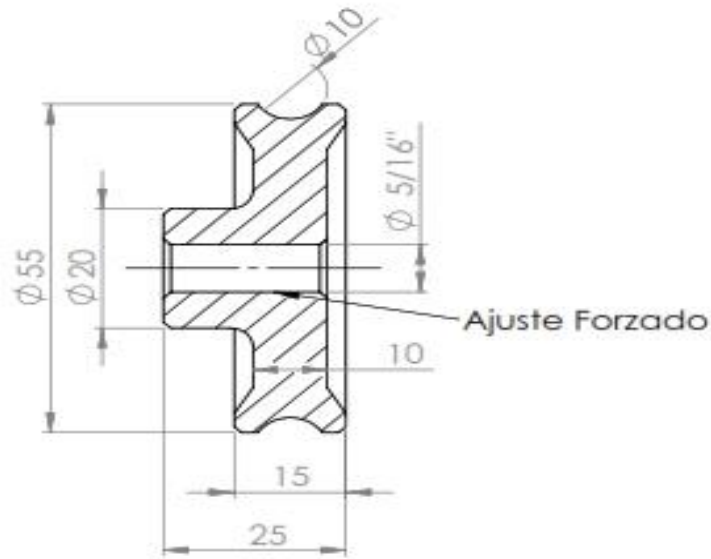
Dueños de la casa beneficiada.



Anexo 13.

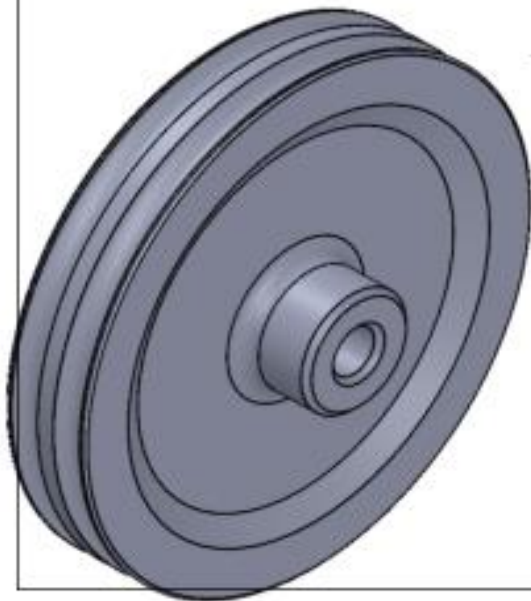
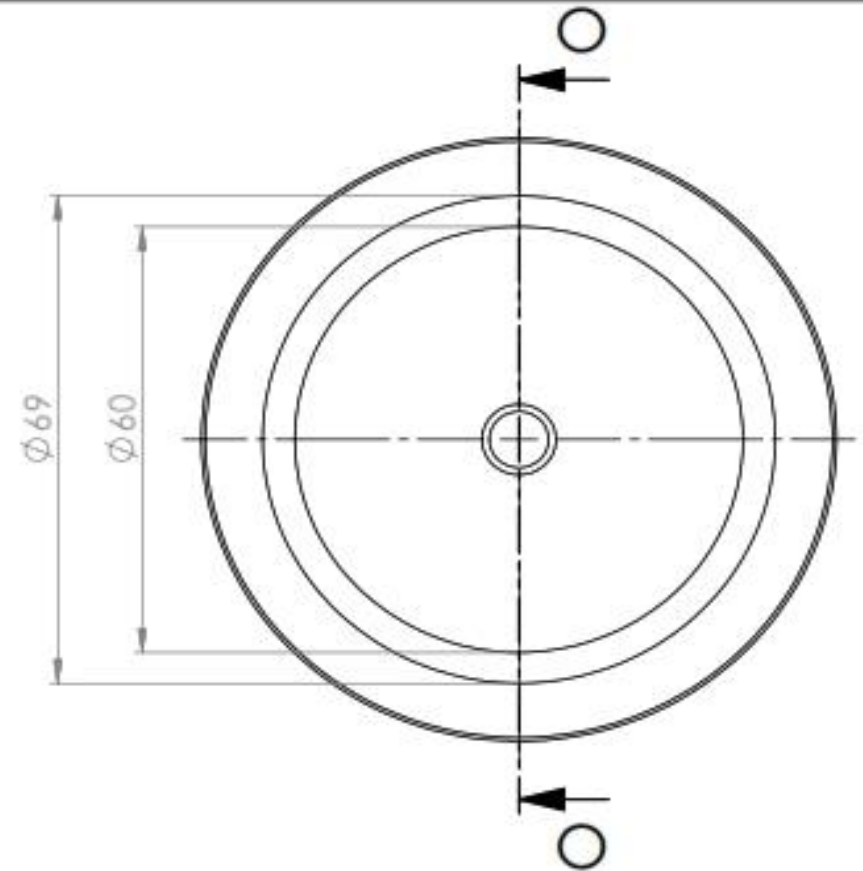
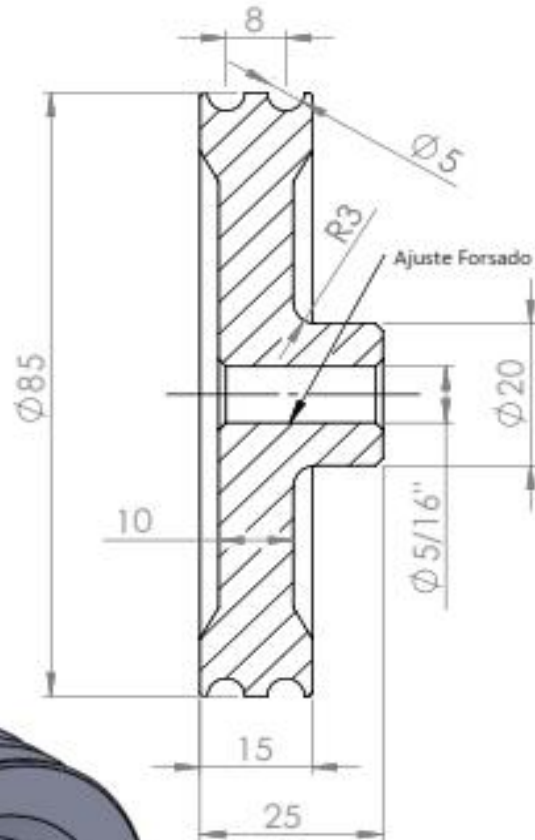
Planos de diseño de la microturbina hidráulica tipo Pelton

Cotas en milímetros



 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN 			PIEZA: POLEA 1 PARA PRUEBA DE TORQUE		
DIBUJ. VERIF. APROB. FABR.	NOMBRE 	FIRMA 	FECHA 	PROYECTO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MICROTURBINA HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN TUBERÍAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL DISTRITO DE COLASAY, 2023	
PROCESO FAB: MECANIZADO TORNO CNC			MATERIAL: NYLON	N° PLANO: 01	A4
				ESCALA 1:1	E-001

Cotas en milímetros



ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN



PIEZA:
POLEA 2 PARA PRUEBA DE TORQUE

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.			
VERIF.			
APROB.			
FABR.			

PROYECTO:
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MICROTURBINA
HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA EN TUBERÍAS DE ABASTECIMIENTO DE
AGUA EN EL DISTRITO DE COLASAY, 2023

PROCESO FAB:

MECANIZADO TORNO CNC

MATERIAL:

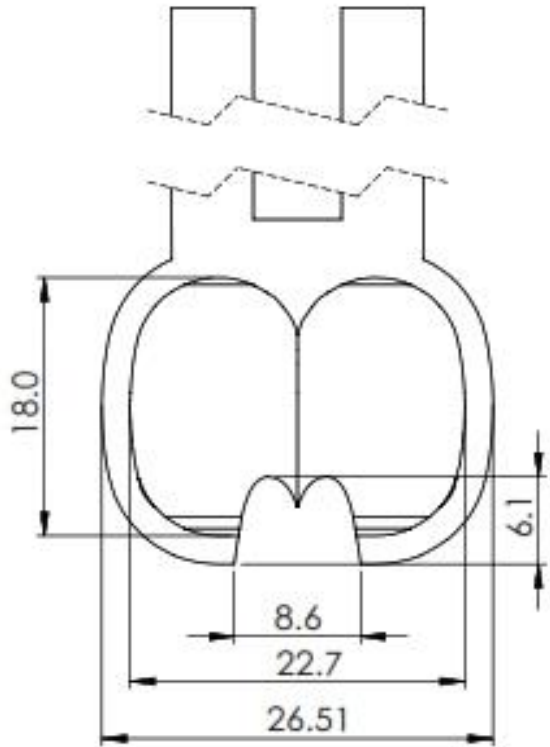
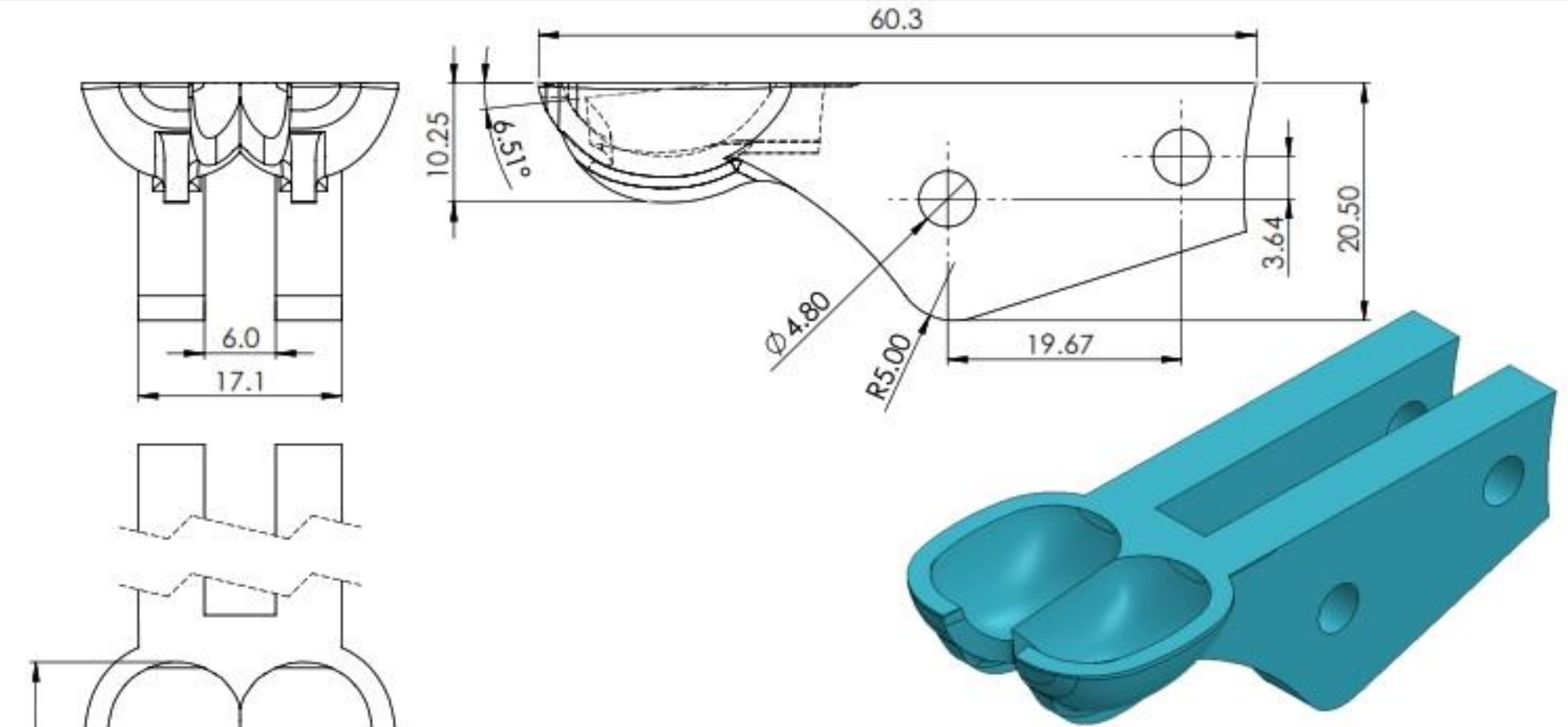
NAYLON

Nº PLANO: **02**

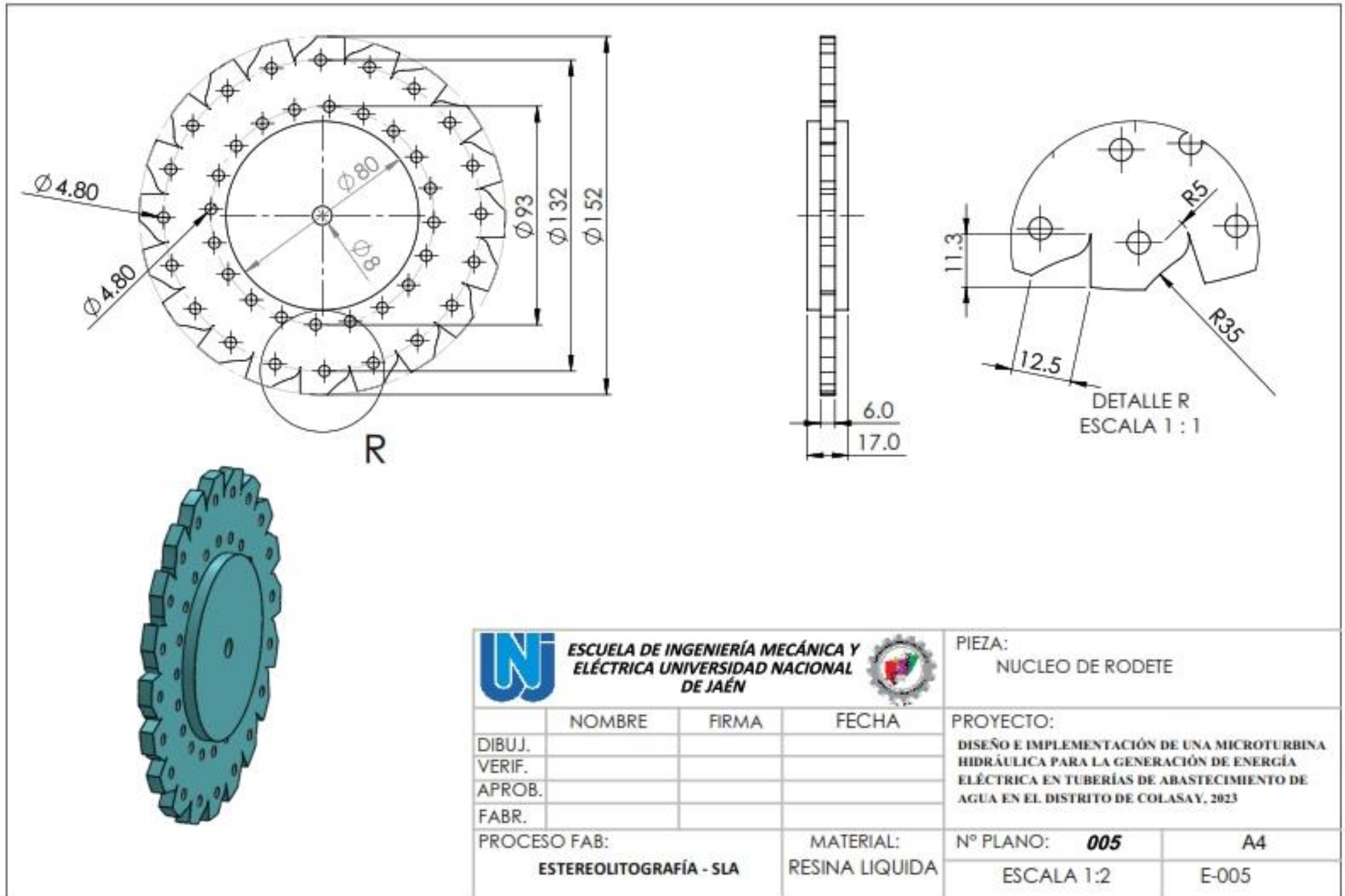
ESCALA 1:1

A4

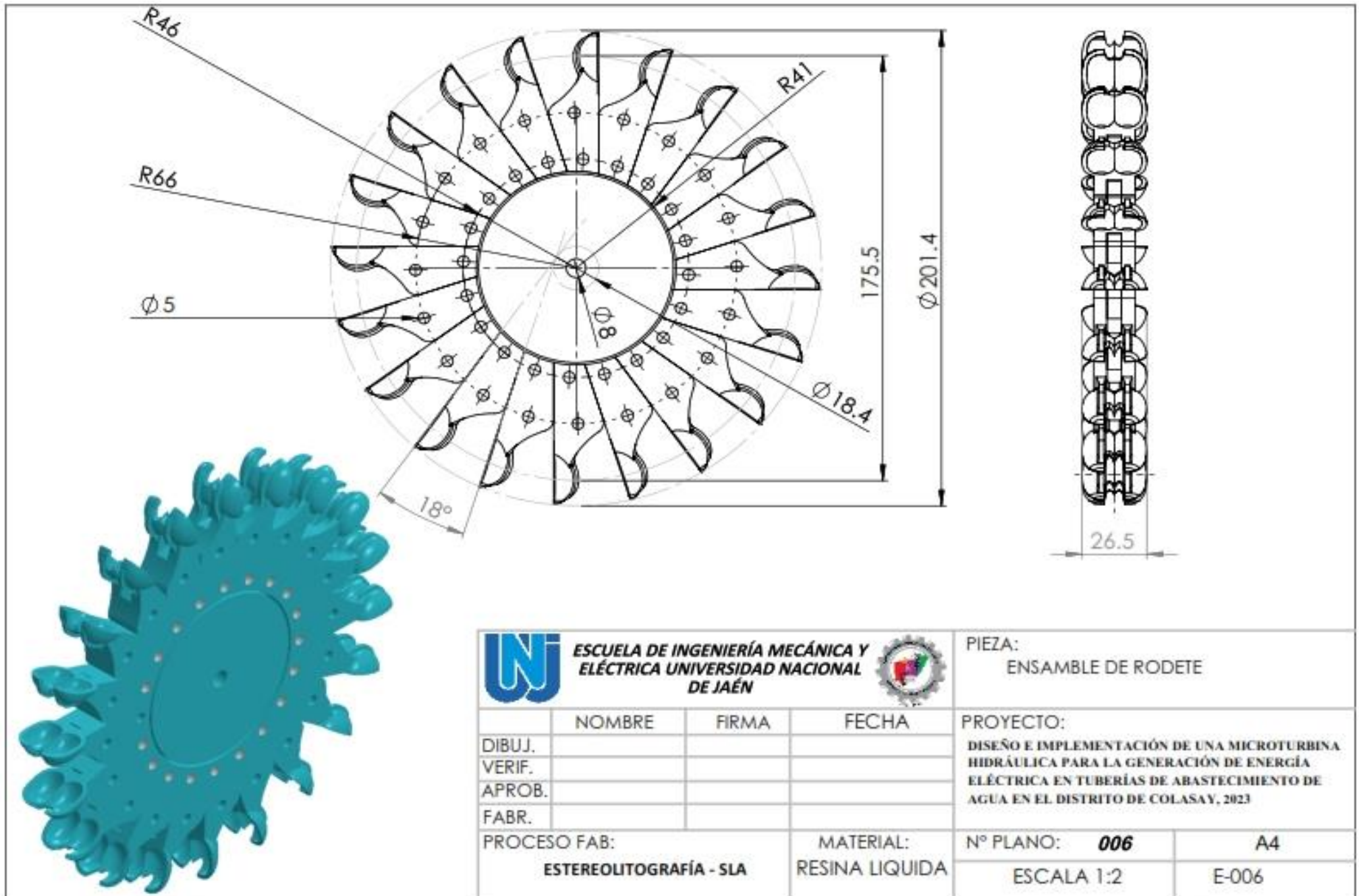
E-002



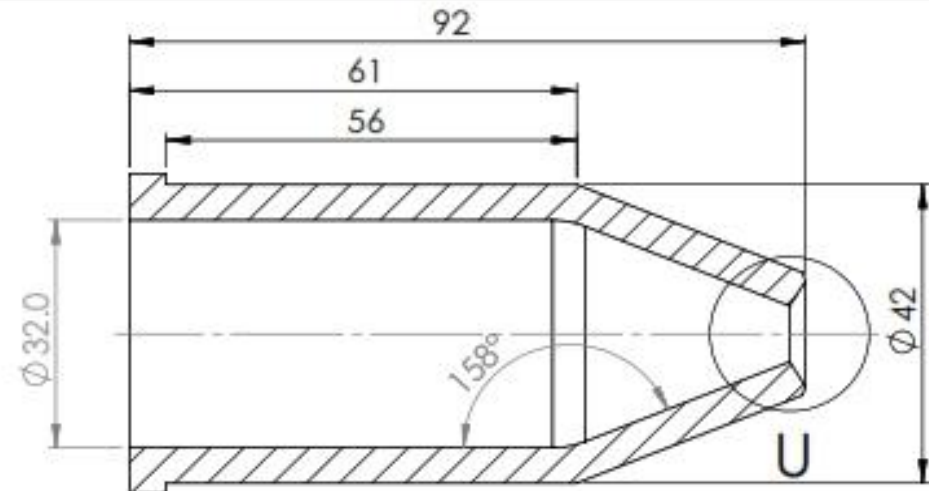
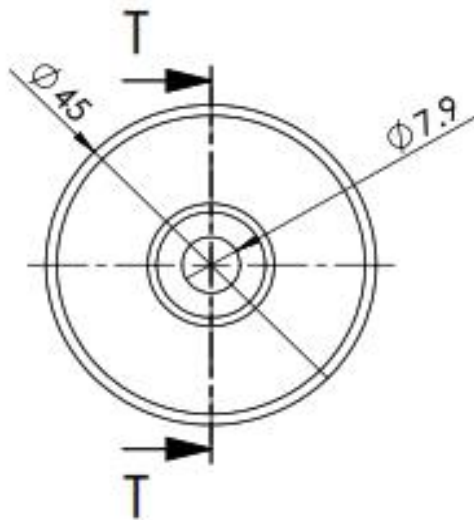
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN 			PIEZA: CUCHARA TURBINA PELTON		
			PROYECTO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MICROTURBINA HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN TUBERÍAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL DISTRITO DE COLASAY, 2023		
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
PROCESO FAB: ESTEREOLITOGRAFÍA - SLA			MATERIAL: RESINA LIQUIDA		N° PLANO: 004
			ESCALA 2:1		A4 E-004



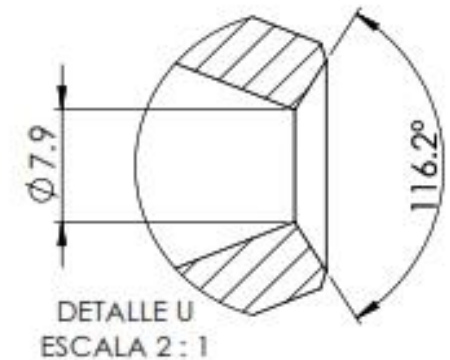
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN 			PIEZA: NUCLEO DE RODETE		
DIBUJ. VERIF. APROB. FABR.			PROYECTO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MICROTURBINA HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN TUBERÍAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL DISTRITO DE COLASAY, 2023		
PROCESO FAB: ESTEREOLOGRAFÍA - SLA		MATERIAL: RESINA LIQUIDA		Nº PLANO: 005	A4
				ESCALA 1:2	E-005



Cotas en Milímetros



SECCIÓN T-T

DETALLE U
ESCALA 2 : 1

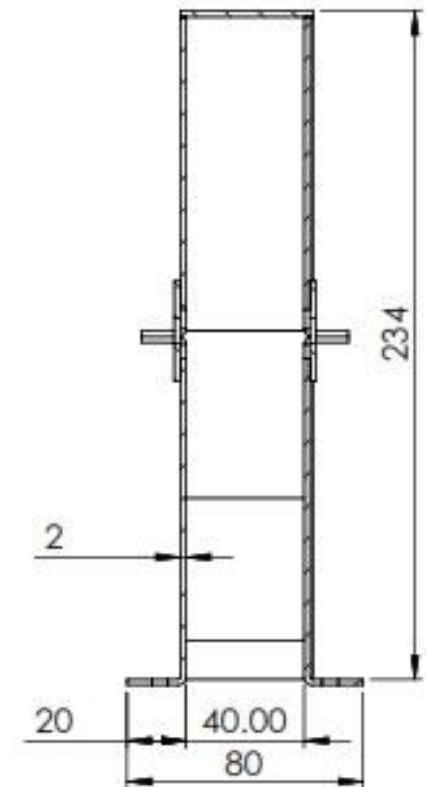
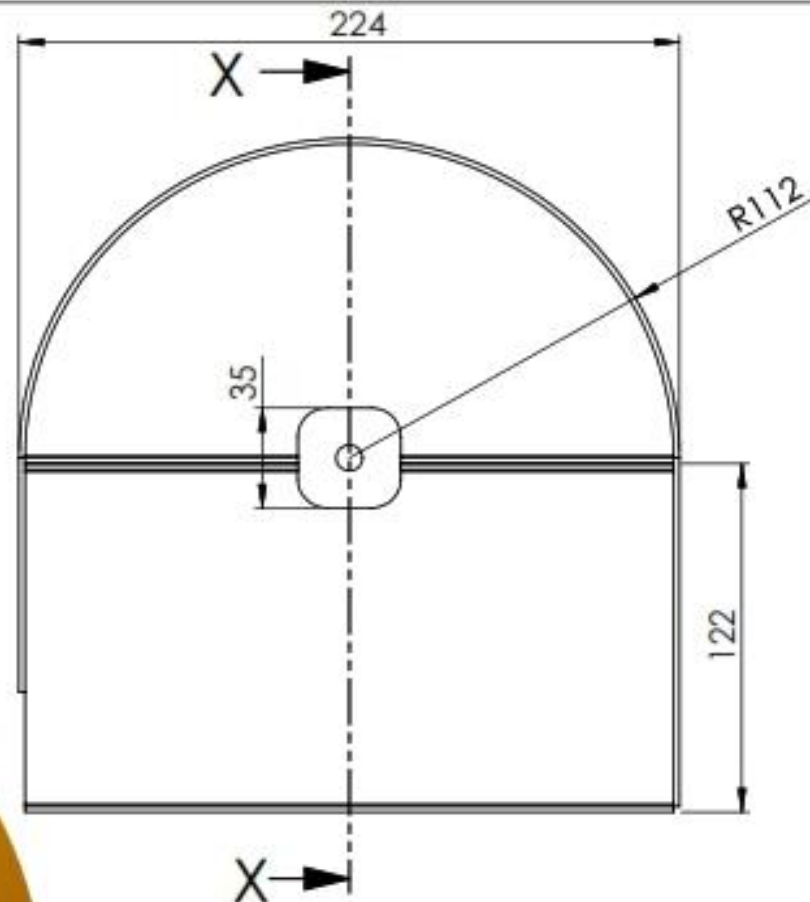
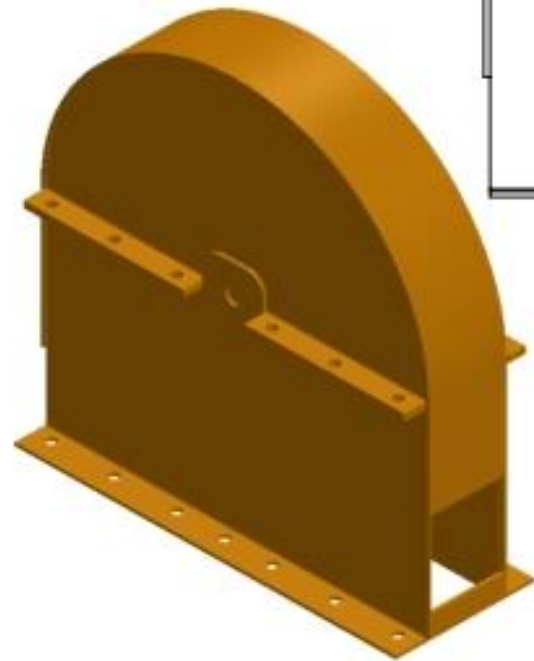
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN



PIEZA:
INYECTOR

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	PROYECTO:
DIBUJ.				DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MICROTURBINA HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN TUBERÍAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL DISTRITO DE COLASAY, 2023
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
PROCESO FAB:	ESTEREOLITOGRAFÍA - SLA		MATERIAL: RESINA LIQUIDA	Nº PLANO: 007
				A4
				ESCALA 1:1
				E-007

Cotas en milímetros



ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN



PIEZA:
CARCASA

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.			
VERIF.			
APROB.			
FABR.			

PROYECTO:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MICROTURBINA
HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA EN TUBERÍAS DE ABASTECIMIENTO DE
AGUA EN EL DISTRITO DE COLASAY, 2023

PROCESO FAB:
CORTE PLASMA
CNC/SOLDADURA SMAW

MATERIAL:
CHAPA
METALICA

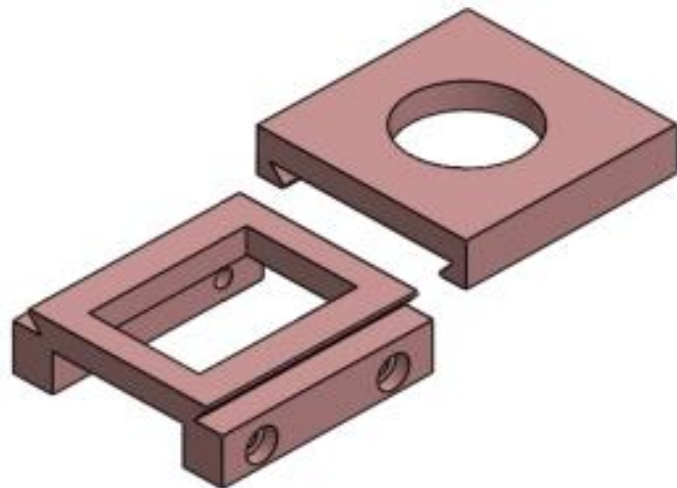
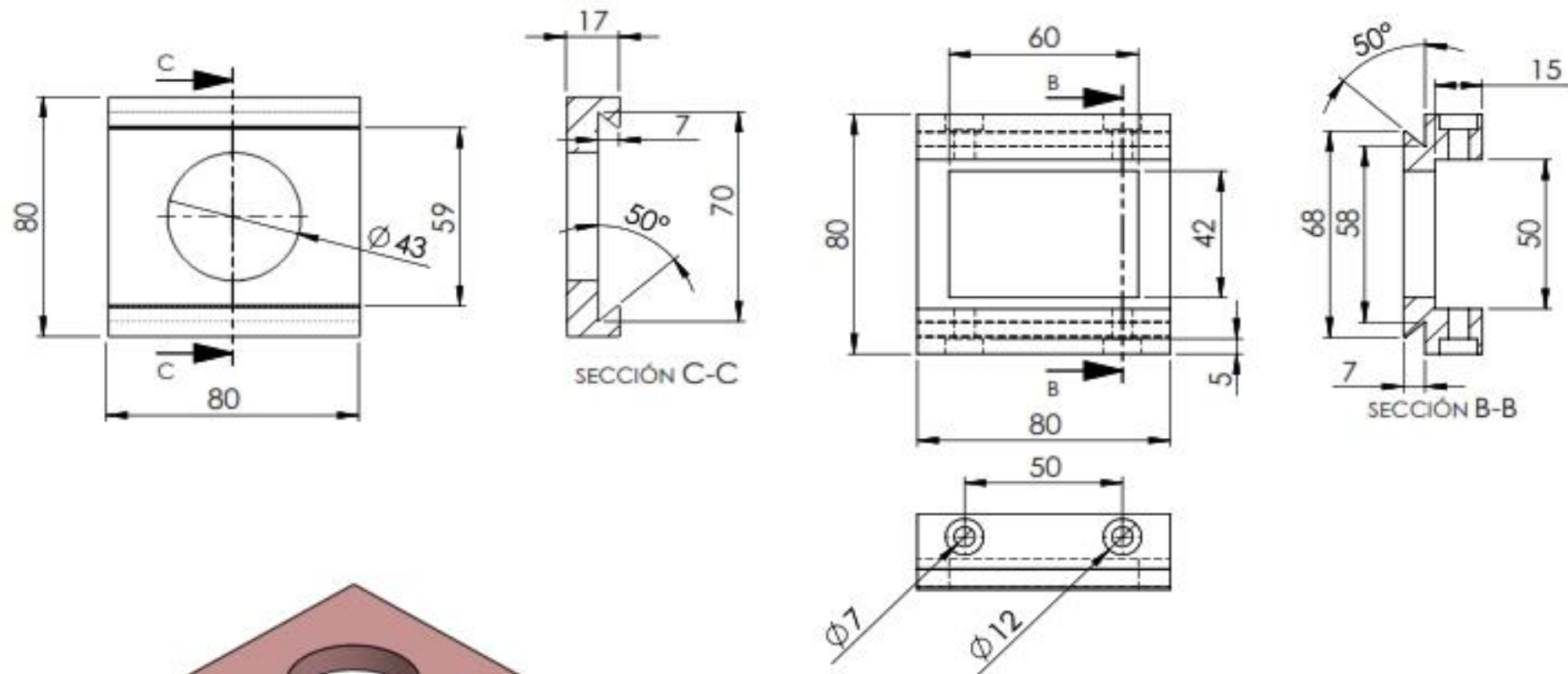
Nº PLANO: **008**

A4

ESCALA 1:2

E-008

Cotas en milímetros



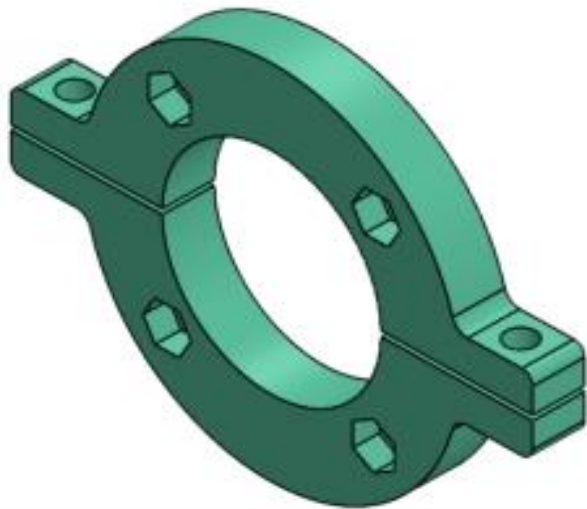
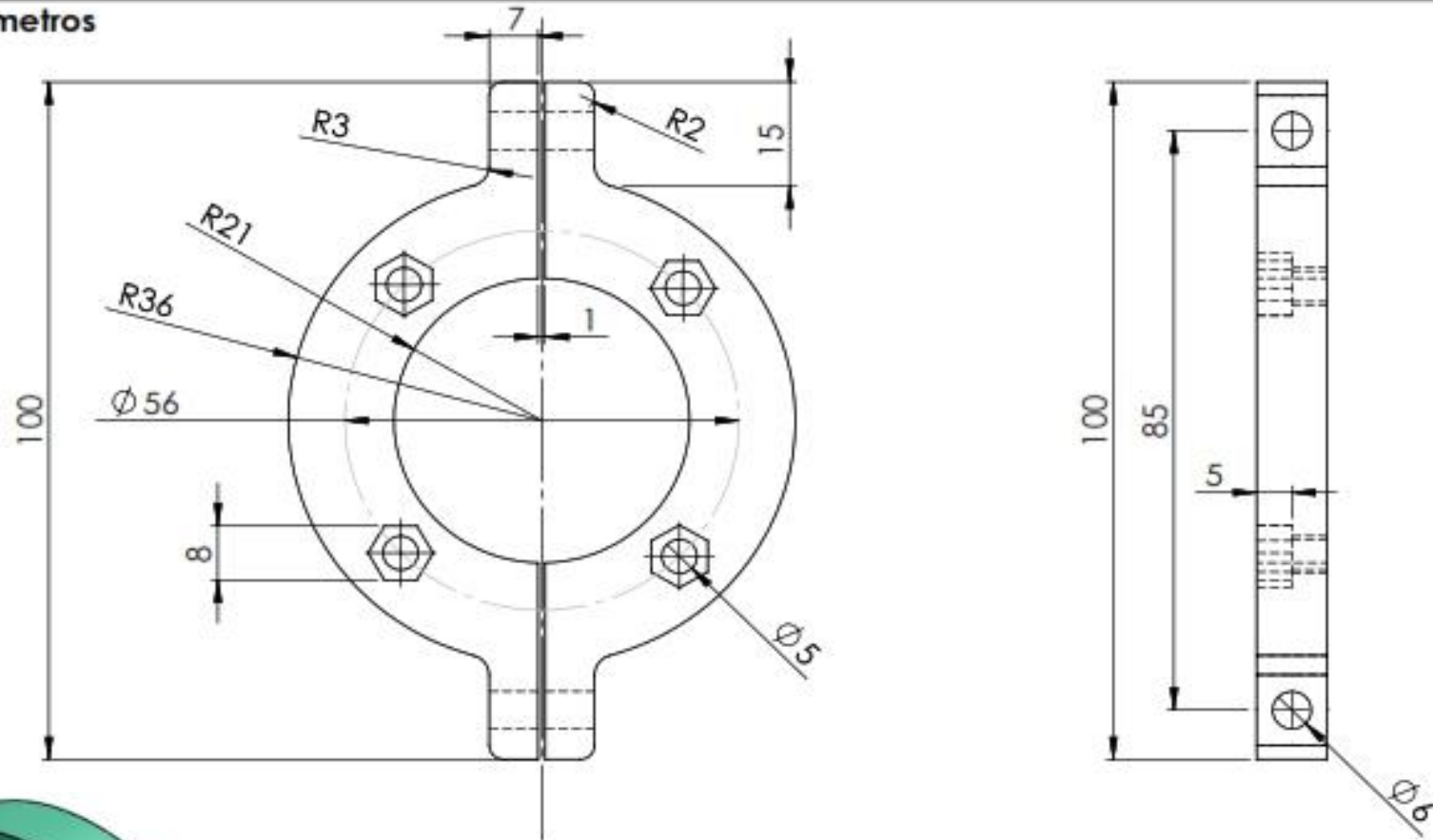
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN



PIEZA:
COLA DE MILANO

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	PROYECTO:
DIBUJ.				DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MICROTURBINA HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN TUBERÍAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL DISTRITO DE COLASAY, 2023
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
PROCESO FAB: ESTEREOLITOGRAFÍA - SLA			MATERIAL: CHAPA METALICA	Nº PLANO: 009
				A4
				ESCALA 1:2
				E-009

Cotas en milímetros



ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN



PIEZA:
ABRAZADERA DE INYECTOR

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.			
VERIF.			
APROB.			
FABR.			

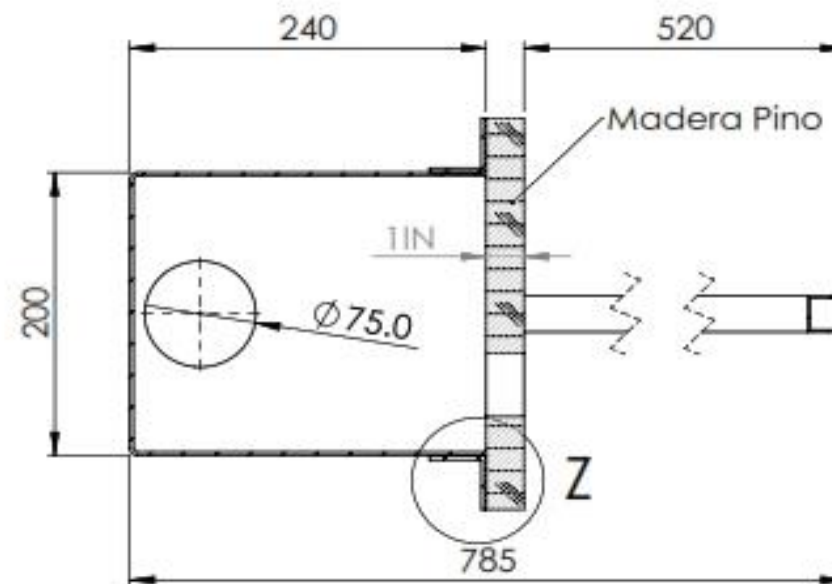
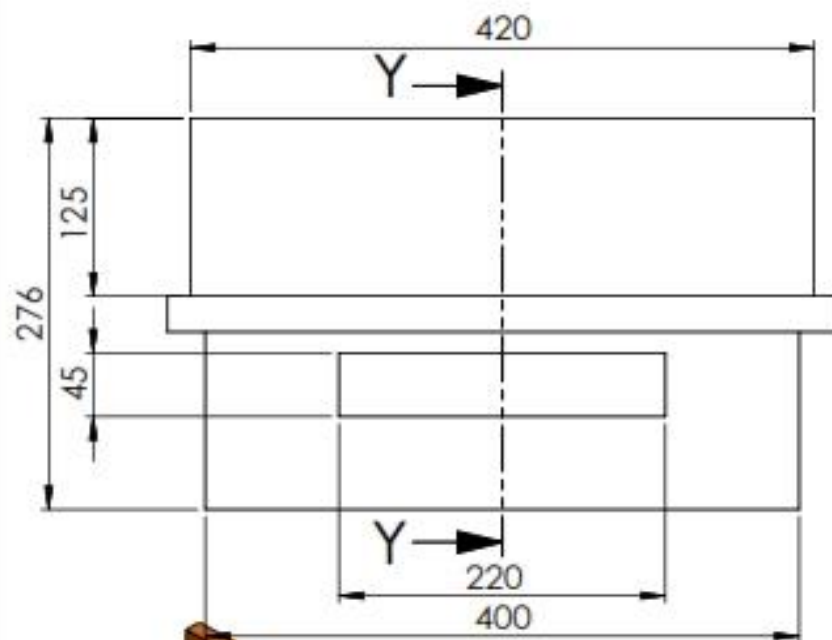
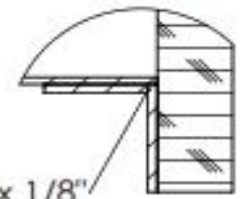
PROYECTO:
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MICROTURBINA
HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA EN TUBERÍAS DE ABASTECIMIENTO DE
AGUA EN EL DISTRITO DE COLASAY, 2023

PROCESO FAB:
ESTEREOLITOGRAFÍA - SLA

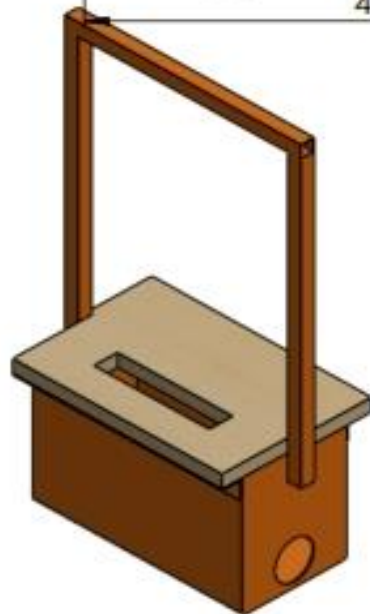
MATERIAL:
CHAPA
METALICA

Nº PLANO: **010** A4
ESCALA 1:1 E-010

Cotas en milímetros

DETALLE Z
ESCALA 2:5

Angulo 1.5" x 1/8"



ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN



PIEZA:

CAMARA DE DESCARGA

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.			
VERIF.			
APROB.			
FABR.			

PROYECTO:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MICROTURBINA
HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA EN TUBERÍAS DE ABASTECIMIENTO DE
AGUA EN EL DISTRITO DE COLASAY, 2023

PROCESO FAB:
CORTE PLASMA
CNC/SOLDADURA SMAW

MATERIAL:
CHAPA
METALICA

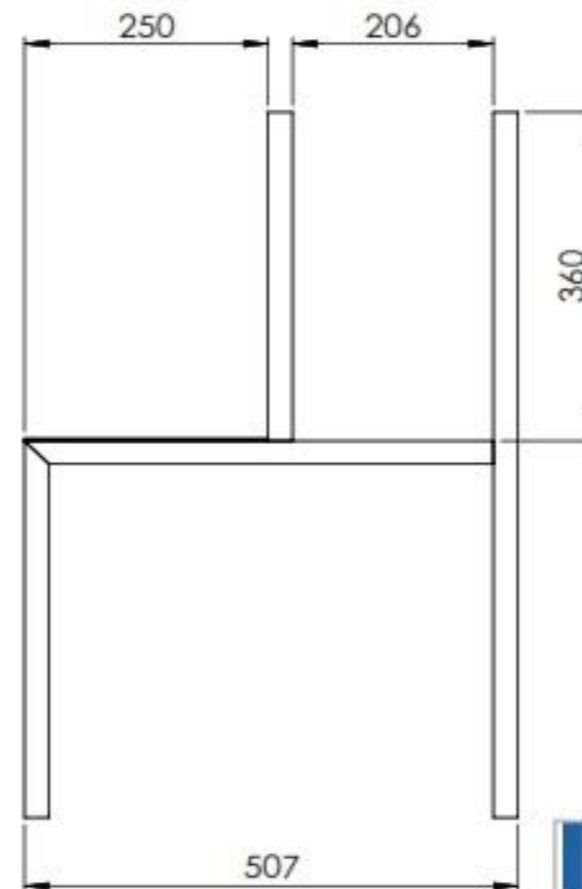
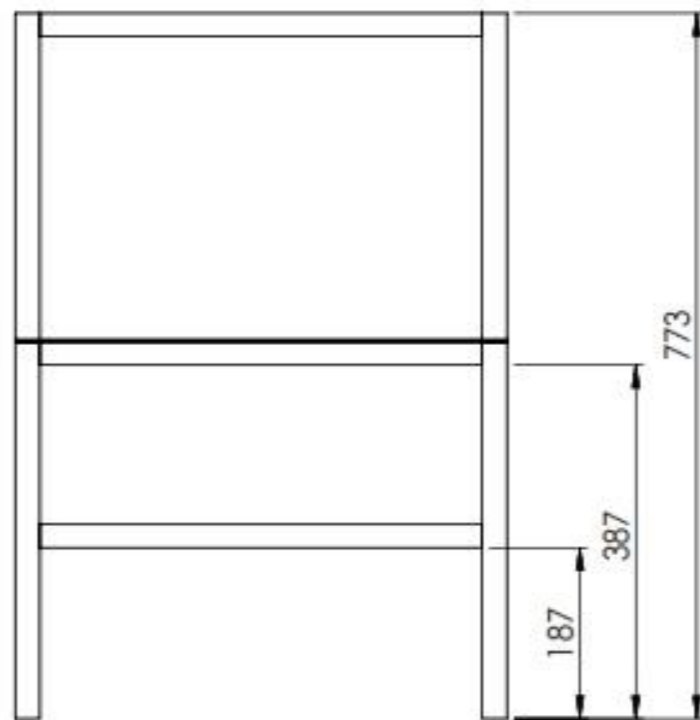
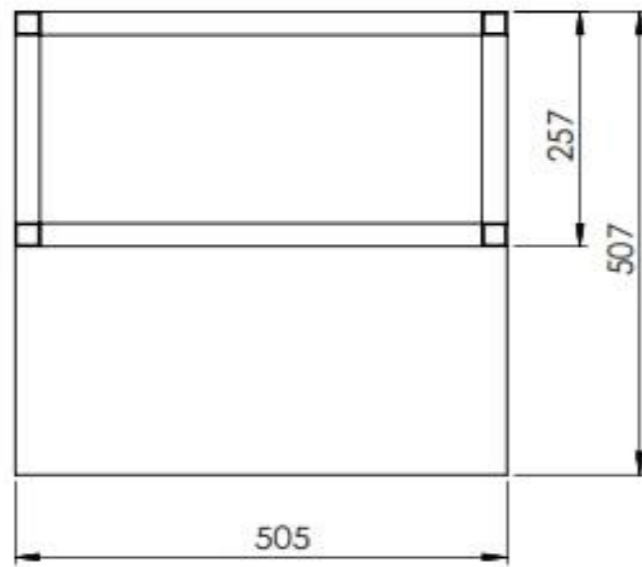
N° PLANO: 011

A4

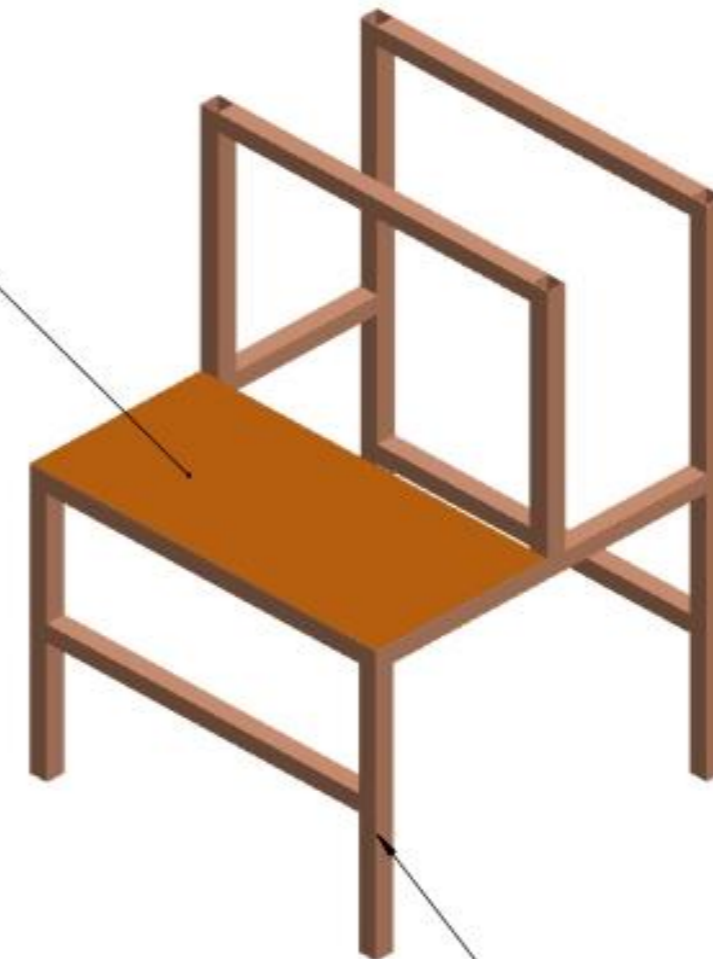
ESCALA 1:5

E-011

Cotas en milímetros

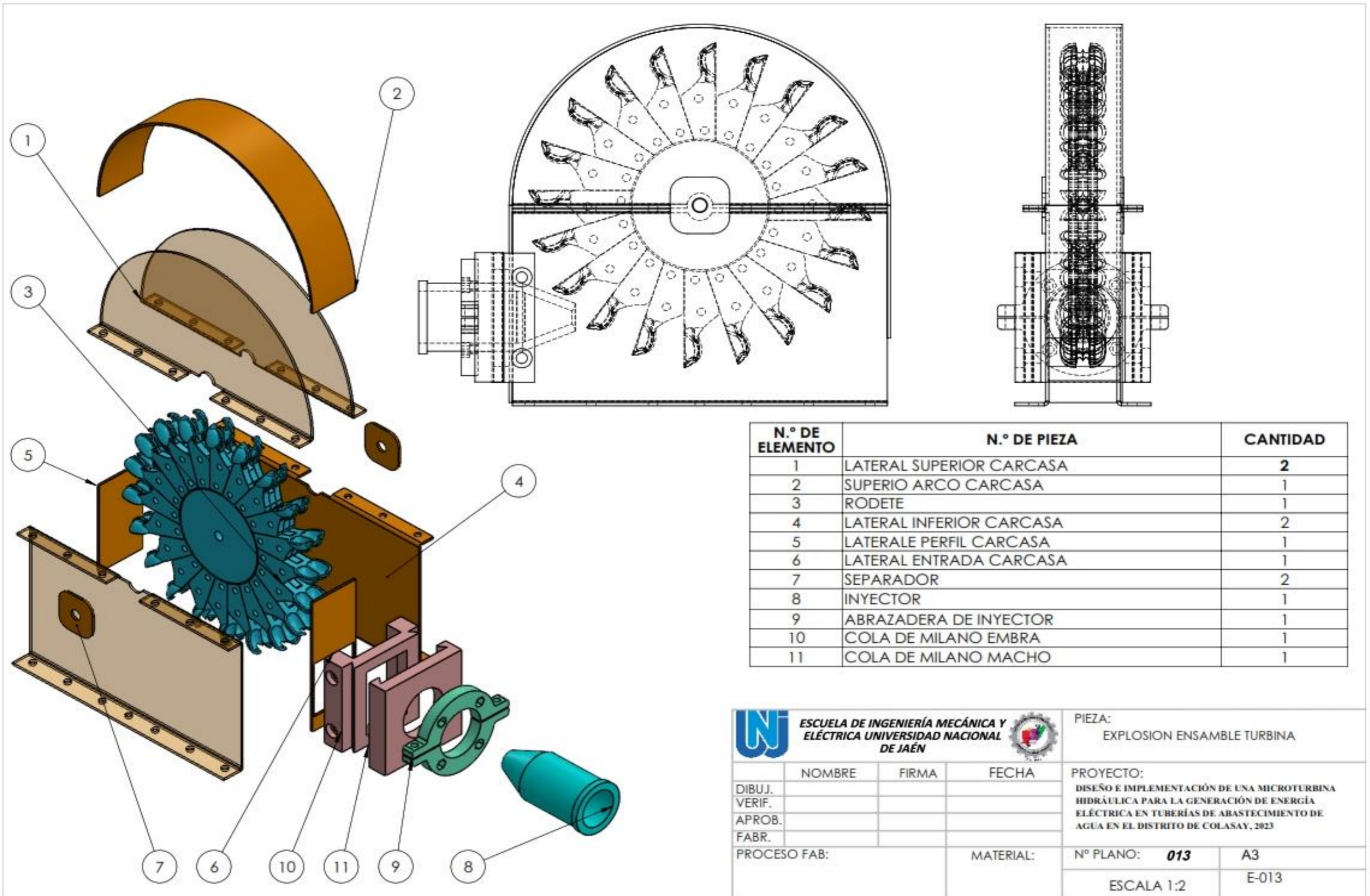


Placa acero 2.5mm



Acero extrutural 1.5"*1.5"*1.5mm

 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN					PIEZA: EXSTRUCTURA
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	PROYECTO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MICROTURBINA HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN TUBERÍAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL DISTRITO DE COLASAY, 2023	
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
PROCESO FAB: CORTE PLASMA CNC/SOLDADURA SMAW			MATERIAL: ACERO EXTRUTURAL		N° PLANO: 012 A3 ESCALA 1:7.5 E-012



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	LATERAL SUPERIOR CARCASA	2
2	SUPERIO ARCO CARCASA	1
3	RODETE	1
4	LATERAL INFERIOR CARCASA	2
5	LATERALE PERFIL CARCASA	1
6	LATERAL ENTRADA CARCASA	1
7	SEPARADOR	2
8	INYECTOR	1
9	ABRAZADERA DE INYECTOR	1
10	COLA DE MILANO EMBRA	1
11	COLA DE MILANO MACHO	1

 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN			PIEZA: EXPLOSION ENSAMBLE TURBINA		
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	PROYECTO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MICROTURBINA HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN TUBERÍAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL DISTRITO DE COLASAY, 2023	
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
PROCESO FAB:			MATERIAL:	Nº PLANO: 013	A3
				ESCALA 1:2	E-013

