

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MICROCENTRAL
HIDROELÉCTRICA A PARTIR DEL SISTEMA DE
ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LA EMPRESA
ECOFRIENDLY ENGINEERS SAC EN EL CASERÍO
SELVA VERDE, DISTRITO DE ARAMANGO,
DEPARTAMENTO DE AMAZONAS**

**TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO Y ELÉCTRICO**

Autor : Bach. Jimmy Anghelo Farias Benites

Asesores : Mg. Jannier Alberto Montenegro Juarez

Ing. Juan Antonio Ticona Yujura

JAÉN – PERÚ

2024

Jimmy Anghelo Farias Benites

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA A PARTIR DEL SISTEMA DE ABASTECIMIE...

 Quick Submit
 Quick Submit
 Universidad Nacional de Jaén

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::1:3208072904

Fecha de entrega

7 abr 2025, 8:45 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

7 abr 2025, 8:54 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

Benites_Jimmy_Anghelo_INFORME_-_JIMMY_ANGHELO_FARIAS_BENITES.pdf

Tamaño de archivo

6.4 MB

137 Páginas

19.991 Palabras

106.570 Caracteres



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

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

10% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text
- Small Matches (less than 15 words)

Top Sources

- 5%  Internet sources
- 0%  Publications
- 9%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Ley de Creación N° 29304
Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-
SUNEDU/CD

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día **25** de ... **abril** del año **2025**, siendo las **9:30** horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : **Mg. Lenin Franchescoeth Núñez Pintado**
Secretario : **Mg. Henry Oswaldo Pinedo Nava**
Vocal : **Mg. Billy Alexis Cayatopa Calderón** para evaluar
la Sustentación del Informe Final:

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

Titulado: **"Diseño y Construcción de una Microcentral Hidroeléctrica a partir del sistema de abastecimiento de agua de la Empresa Ecofriendly Engineers SAC en el caserío Selva Verde, distrito de Aramango, Departamento de Amazonas"**



Presentado por estudiante/egresado o Bachiller **Jimmy Anghelo Farias Benites** .., 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:

- | | | |
|----------------|------------|---------------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | () |
| c) Bueno | 14, 15 | (15) |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las **10:30** .. horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Presidente

Secretario

Vocal

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, **Jimmy Anghelo Farias Benites**, egresado de la carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI N° **72774078**.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MICRO CENTRAL HIDROELÉCTRICA A PARTIR DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LA EMPRESA ECOFRIENDLY ENGINEERS SAC EN EL CASERÍO SELVA VERDE, DISTRITO DE ARAMANGO, DEPARTAMENTO DE AMAZONAS”.

Asesorado por **Mg. Jannier Alberto Montenegro Juarez**.

El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar; el Título Profesional/Grado Académico de Ingeniero Mecánico y Eléctrico.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 26 de mayo del 2025



Jimmy Anghelo Farias Benites

INDICE

1	INTRODUCCIÓN:	13
1.1	PROBLEMÁTICA:	14
1.2	ANTECEDENTES:	15
1.2.1	<i>Antecedentes internacionales:</i>	15
1.2.2	<i>Antecedentes nacionales:</i>	15
1.3	JUSTIFICACIÓN:	16
1.3.1	<i>Justificación ambiental:</i>	16
1.3.2	<i>Justificación económica:</i>	17
1.3.3	<i>Justificación técnica:</i>	17
1.4	OBJETIVOS:	18
1.4.1	<i>Objetivo general:</i>	18
1.4.2	<i>Objetivos específicos:</i>	18
2	MATERIAL Y MÉTODOS:	19
2.1	MATERIAL:	19
2.1.1	<i>Instrumentos de medición:</i>	19
2.1.2	<i>Material de campo</i>	19
2.1.3	<i>Software</i>	19
2.1.4	<i>Equipo tecnológico</i>	20
2.2	METODO:	21
2.2.1	<i>O.E.1: Describir la zona geográfica del caserío Selva verde para definir la ubicación de la microcentral hidroeléctrica.</i>	21
2.2.1.1	<i>Ubicación geográfica:</i>	21
2.2.1.2	<i>Vías de acceso:</i>	21
2.2.1.3	<i>Topografía:</i>	21
2.2.1.4	<i>Definición de la ubicación de la microcentral hidroeléctrica.</i>	22
2.2.2	<i>O.E.2: Describir las obras civiles que componen el sistema de abastecimiento de agua en el lugar de estudio.</i>	22

2.2.3	<i>O.E.3: Diseñar la tubería de presión, salto geodésico y el equipo electromecánico de la microcentral hidroeléctrica.</i>	22
2.2.3.1	Cálculo de la velocidad del caudal de salida de la cámara de carga y del caudal proyectado para la microcentral:	22
2.2.3.2	Medición del salto geodésico:	23
2.2.3.3	Selección de la tubería de presión:	23
2.2.3.4	Cálculo de las pérdidas de cargas en tuberías:	23
2.2.3.5	Cálculo de presiones transitorias:	24
2.2.3.6	Cálculo del espesor teórico de pared de la tubería de presión:	24
2.2.3.7	Cálculo de la presión hidrostática en el punto de llegada a la turbina.	25
2.2.3.8	Cálculo de la potencia a generar:	25
2.2.3.9	Cálculo de la máxima demanda:	26
2.2.3.10	Selección de la turbina hidráulica	26
2.2.3.11	Validación hidráulica de la turbina Michell-Banki adquirida	26
2.2.3.12	Cálculo del sistema de transmisión:	27
2.2.3.13	Selección de la sección del conductor autoportante, cable de distribución eléctrica y componentes de protección:	27
2.2.3.14	Selección del generador eléctrico:	28
2.2.3.15	Determinar tablero de control y regulador electrónico de carga:	29
2.2.3.16	Determinar sistema de puesta a tierra:	29
2.2.3.16.1	Conductor de puesta a tierra:	29
2.2.3.16.2	Electrodo de puesta a tierra:	29
2.2.3.16.3	Borne para electrodo de puesta a tierra:	29
2.2.4	<i>O.E.4: Diseñar CAD/CAE la microcentral hidroeléctrica con la turbina seleccionada a través del diseño asistido de computadora solidworks.</i>	30
2.2.5	<i>O.E.5: Realizar el metrado y presupuesto de la manufactura de la microcentral hidroeléctrica.</i>	30
2.2.6	<i>O.E.6: Manufacturar equipamiento mecánico y eléctrico de la microcentral hidroeléctrica.</i>	30
3	RESULTADOS:	32
3.1.1	<i>O.E.1: Describir la zona geográfica del caserío Selva verde para definir la ubicación de la microcentral hidroeléctrica.</i>	32

3.1.1.1	Ubicación geográfica:	32
3.1.1.2	Vías de acceso:	32
3.1.1.3	Topografía:	33
3.1.1.4	Definición de la ubicación de la microcentral hidroeléctrica.	34
3.1.2	<i>O.E.2: Describir las obras civiles que componen el sistema de abastecimiento de agua en el lugar de estudio.</i>	<i>35</i>
3.1.2.1	Sistema de conducción:	36
3.1.2.2	Captación:	37
3.1.2.3	Canal:	38
3.1.2.4	Desarenador:	39
3.1.2.5	Cámara de carga:	40
3.1.2.6	Línea de conducción:	41
3.1.2.7	Sala de máquinas:	43
3.1.3	<i>O.E.3: Diseñar la tubería de presión, salto geodésico y el equipo electromecánico de la microcentral hidroeléctrica.</i>	<i>44</i>
3.1.3.1	Cálculo de la velocidad del caudal de salida de la cámara de carga y del caudal proyectado para la microcentral:	44
3.1.3.2	Medición del salto geodésico:	46
3.1.3.3	Selección de la tubería de presión:	49
3.1.3.4	Cálculo de las pérdidas de cargas en tuberías:	50
3.1.3.5	Cálculo de presiones transitorias.....	53
3.1.3.6	Cálculo del espesor teórico de pared de la tubería de presión:	55
3.1.3.7	Cálculo de la presión hidrostática en el punto de llegada a la turbina.	58
3.1.3.8	Cálculo de la potencia a generar:	59
3.1.3.9	Cálculo de la máxima demanda:	61
3.1.3.10	Selección de la turbina hidráulica	63
3.1.3.11	Validación hidráulica de la Turbina Michell-Banki adquirida	64
3.1.3.11.1	Velocidad tangencial:	64
3.1.3.11.2	Velocidad relativa en la entrada del rotor	65
3.1.3.11.3	Selección del diámetro y velocidad de giro de la turbina	66
3.1.3.11.4	Cálculo del diámetro exterior e interior del rodete	66
3.1.3.11.5	Cálculo del ancho del inyector	67
3.1.3.11.6	Cálculo del ancho del rodete	68

3.1.3.11.7	Número de álabes del rodete.....	68
3.1.3.12	Cálculo del sistema de transmisión:	70
3.1.3.13	Selección de la sección del conductor autoportante, cable de distribución eléctrica y componentes de protección.....	83
3.1.3.14	Selección del generador eléctrico.....	88
3.1.3.15	Determinar tablero de control y regulador electrónico de carga:	89
3.1.3.16	Determinar sistema de puesta a tierra:.....	90
3.1.3.16.1	Conductor de puesta a tierra:	90
3.1.3.16.2	Electrodo de puesta a tierra:	91
3.1.3.16.3	Borne para electrodo de puesta a tierra:	91
3.1.4	<i>O.E.4: Diseñar CAD/CAE la microcentral hidroeléctrica con la turbina seleccionada a través del diseño asistido de computadora solidworks.</i>	<i>92</i>
3.1.5	<i>O.E.5: Realizar el metrado y presupuesto de la manufactura de equipamiento de la microcentral hidroeléctrica.....</i>	<i>102</i>
3.1.6	<i>O.E.6: Manufacturar equipamiento mecánico y eléctrico de la microcentral hidroeléctrica.</i>	<i>111</i>
4	DISCUSIÓN:.....	121
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:	122
5.1	CONCLUSIONES	122
5.2	RECOMENDACIONES	123
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:.....	124
7	AGRADECIMIENTO	127
8	ANEXOS:	128

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Distancias entre las vías de acceso al proyecto</i>	33
Tabla 2 <i>Caudales de los afluentes de la zona</i>	35
Tabla 3 <i>Materiales para el desarrollo del método de manguera de nivelación.....</i>	46
Tabla 4 <i>Mediciones obtenidas en cada tramo durante todo el proceso</i>	47
Tabla 5 <i>Coeficientes de materiales de Hansel-Williams (elaborado según autores).....</i>	50
Tabla 6 <i>Coeficientes de pérdidas en curvas</i>	52
Tabla 7 <i>Potencia de cada equipo para el cálculo de la máxima demanda real.....</i>	61
Tabla 8 <i>Potencia de cada equipo para el cálculo de la máxima demanda proyectada</i>	61
Tabla 9 <i>Variación del ángulo α_1.....</i>	64
Tabla 10 <i>Valores para el coeficiente K_a</i>	68
Tabla 11 <i>Resumen de datos de validación hidráulica de la turbina Michell-Banki</i>	69
Tabla 12 <i>Factores de servicio para transmisión por fajas en V</i>	71
Tabla 13 <i>Secciones de fajas y diámetros exteriores mínimos y recomendados de poleas .</i>	73
Tabla 14 <i>Diámetros exteriores estándares para fajas especiales</i>	74
Tabla 15 <i>Factor por ángulo de contacto</i>	77
Tabla 16 <i>Longitud de faja y factor por longitud de faja</i>	78
Tabla 17 <i>Potencia que pueden transmitir las fajas sección 3V.....</i>	79
Tabla 18 <i>Potencia adicional por relación de transmisión</i>	80
Tabla 19 <i>Dimensiones de canales de poleas para fajas en V especiales</i>	81

Tabla 20 Datos seleccionados para el diseño de polea.....	82
Tabla 21 Plantilla Excel con la resolución de la sección del cable según datos mostrados.	86
Tabla 22 Interruptores diferencial termomagnético y termomagnético seleccionados	88
Tabla 23 Parámetros para la selección del generador eléctrico	88
Tabla 24 Características óptimas del tablero de control y regulador electrónico	89
Tabla 25 Componentes del regulador electrónico	89
Tabla 26 Características para la puesta a tierra	91
Tabla 27 Datos del cemento tipo I.....	103
Tabla 28 Resolución y resultados sobre la cantidad de bolsas de cemento para el piso.	103
Tabla 29 Datos del cemento tipo I.....	104
Tabla 30 Resolución y resultados de la cantidad de bolsas para el dado de concreto....	105

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Ubicación geográfica del Caserío Selva Verde</i>	32
Figura 2 <i>Características y definición del lugar para la microcentral</i>	34
Figura 3 <i>Lina de conducción del sistema de abastecimiento de agua</i>	36
Figura 4 <i>Captación del sistema de abastecimiento de agua</i>	37
Figura 5 <i>Compuerta lateral para el exceso de agua</i>	38
Figura 6 <i>Canal del sistema de abastecimiento de agua</i>	38
Figura 7 <i>Desarenador del sistema de abastecimiento de agua</i>	39
Figura 8 <i>Cámara de carga conjuntamente con desarenador del sistema de abastecimiento de agua</i>	40
Figura 9 <i>Tubería enterrada en el camino</i>	42
Figura 10 <i>Tubería anclada en puentes</i>	42
Figura 11 <i>Dimensiones y características de la sala de máquinas</i>	43
Figura 12 <i>Características de la cámara de carga del sistema de abastecimiento de agua</i>	44
Figura 13 <i>Procedimiento del método de manguera por nivelación</i>	48
Figura 14 <i>Tubería de PVC rígido para fluidos a presión: NORMA ISO-4422</i>	49
Figura 15 <i>Pérdidas debido a turbulencias</i>	52
Figura 16 <i>Factores de corrección pertinentes</i>	55
Figura 17 <i>Propiedades físicas de materiales para tuberías</i>	56
Figura 18 <i>Eficiencia del grupo de generación</i>	59

Figura 19	<i>Rendimiento característicos para una etapa de las transmisiones</i>	60
Figura 20	<i>Parámetros para la selección de turbinas hidráulicas.....</i>	63
Figura 21	<i>Selección de la sección de la faja en V</i>	72
Figura 22	<i>Prototipo de diseño de polea</i>	82
Figura 23	<i>Datos técnicos del cable autoportante AAAC.....</i>	85
Figura 24	<i>Tabla de datos técnicos THW-90 (mm2)</i>	86
Figura 25	<i>Datos técnicos para un interruptor termomagnético bipolar</i>	87
Figura 26	<i>Datos técnicos para interruptores diferenciales.....</i>	87
Figura 27	<i>Sección mínima de conductores de tierra para sistemas de corriente alterna (Reglas 060-204)</i>	90
Figura 28	<i>Dibujo del inyector de turbina</i>	92
Figura 29	<i>Dibujo de la carcasa de turbina</i>	93
Figura 30	<i>Dibujo de la volante del regulador de caudal</i>	93
Figura 31	<i>Dibujo de la polea de la turbina</i>	94
Figura 32	<i>Dibujo del rodete, álabes y su eje de la turbina</i>	94
Figura 33	<i>Regulador de caudal de la turbina</i>	95
Figura 34	<i>Vista frontal del ensamblado del dibujo completo de la turbina.....</i>	96
Figura 35	<i>Vista Isométrica con vista de sección para visualización de los componentes internos</i>	96
Figura 36	<i>Vista isométrica del dibujo completo de la turbina</i>	97
Figura 37	<i>Modificaciones al sólido para realizar la simulación</i>	98

Figura 38	<i>Mallado o mesh del sólido de la turbina.....</i>	99
Figura 39	<i>Simulación del flujo másico y la presión hidrostática en la turbina</i>	100
Figura 40	<i>Flujo másico en la turbina</i>	101
Figura 41	<i>Presión hidrostática específicamente en los álabes del rodete de la turbina..</i>	101
Figura 42	<i>Dimensiones del piso de la sala de máquinas</i>	102
Figura 43	<i>Dimensiones del dado de concreto</i>	104
Figura 44	<i>Metrado y presupuesto de suministro de materiales</i>	106
Figura 45	<i>Continuación metrado y presupuesto de suministro de materiales</i>	107
Figura 46	<i>Metrado y presupuesto de montaje electromecánico.....</i>	108
Figura 47	<i>Metrado y presupuesto de transporte de materiales.....</i>	109
Figura 48	<i>Proceso de excavación para tubería de presión.....</i>	112
Figura 49	<i>Proceso de excavación en otro tramo para tubería de presión.....</i>	113
Figura 50	<i>Encofrado para el dado y las vigas de fierro</i>	113
Figura 51	<i>Parte del plano de obra - puntos específicos para la colocación de las estacas de madera</i>	114
Figura 52	<i>Proceso de implementación de la tubería de presión</i>	115
Figura 53	<i>Proceso de implementación en otro tramo de la tubería de presión.....</i>	116
Figura 54	<i>Sala de máquinas y posición para cada componente electromecánico.....</i>	117
Figura 55	<i>Posicionamiento preliminar según figura 40 de los componentes electromecánicos con ayuda de madera.....</i>	118
Figura 56	<i>Definición y construcción del canal de descarga del agua de la turbina</i>	118

Figura 57 <i>Empernado y ensamblaje del equipo electromecánico</i>	119
Figura 58 <i>Equipo electromecánico ensamblado</i>	119
Figura 59 <i>Izaje de postes e instalación de luminarias</i>	120

RESUMEN

El presente estudio se enfoca en el desarrollo de una microcentral hidroeléctrica el cual es un tipo de energía renovable que la empresa Ecofriendly Engineers SAC implementó ante la incapacidad del sistema eléctrico existente para soportar demandas industriales. Por ello, a través de la definición de la sala de máquinas y de la descripción de las características de las obras civiles de su sistema de abastecimiento de agua, se estimó un caudal de diseño de 121.2 L/s, se realizó los cálculos para obtener una tubería de presión de 10 pulgadas, un salto geodésico de 14.5 metros, un sistema de transmisión de Fajas por bandas trapezoidales 3V, se dimensionó los equipos electromecánicos como la turbina Michell Banki, los cuales permitieron la generación de una potencia de 9.53 kW que pudo satisfacer su máxima demanda real de 5.46 kW. Asimismo, se realizó una simulación de flujo másico y la presión hidrostática de la turbina dimensionada, además se elaboró un plano de ejecución de obra. Se obtuvo el presupuesto de inversión de obra de *S/. 98 716.64* . Finalmente concluye con la construcción de las obras civiles e implementación de los equipos electromecánicos.

Palabras claves: Microcentral hidroeléctrica, implementar, cálculos, simulación, construcción.

ABSTRACT

This research focuses on the development of a micro-hydroelectric power plant, a form of renewable energy implemented by Ecofriendly Engineers SAC in response to the existing electrical system's inability to meet industrial demand requirements. Therefore, through the definition of the machine room and the description of the civil works characteristics of its water supply system, a design flow rate of 121.2 L/s was estimated. Calculations were made to obtain a 10-inch pressure pipe, a geodetic drop of 14.5 meters, and a transmission system using 3V trapezoidal belt pulleys. The electromechanical equipment, such as the Michell Banki turbine, was sized, which allowed the generation of 10 kW of power, enough to meet its maximum real demand of 5.46 kW. Additionally, a mass flow simulation and the hydrostatic pressure of the sized turbine were carried out, and an execution plan for the construction was prepared. The investment budget for the project amounted to S/. 98,716.64. Finally, the study concludes with the construction of the civil works and the implementation of the electromechanical equipment.

Keywords: Micro-hydroelectric plant, implement, calculations, simulation, construction.

1 INTRODUCCIÓN:

El sistema de energía eléctrica rural en el Perú, generalmente está diseñado para uso netamente doméstico debido a la baja cantidad de viviendas y al consumo mínimo de energía eléctrica. En consecuencia, las empresas que han establecido sus centros de producción en zonas rurales, atraídas por la disponibilidad y diversidad de recursos naturales estratégicos para sus procesos industriales, se enfrentan a una limitación estructural: la red de suministro eléctrico local carece de la capacidad instalada y confiabilidad necesarias para satisfacer requerimientos energéticos de carácter industrial. Esta insuficiencia en la infraestructura eléctrica restringe la posibilidad de escalar la producción y obliga a las compañías a evaluar soluciones de autogeneración, particularmente mediante el aprovechamiento de dichos recursos naturales para la implementación de sistemas de energía renovable.

De modo similar, Ecofriendly Engineers SAC es una empresa acuícola que realiza sus procesos de producción de trucha en el caserío Selva Verde, distrito de Aramango, departamento de Amazonas y que, mediante la construcción de un sistema de abastecimiento de agua, aprovecha sosteniblemente del recurso hídrico que se encuentra en la parte alta del lugar para conducirlo a sus estanques o geomembranas (componente que empoza el agua para el proceso de reproducción de trucha).

Los componentes de dicho sistema, facilita el diseño de una microcentral a través de un sistema por derivación, el cual, consiste en canalizar con piedras de la zona, parte del caudal hasta llegar a un canal de concreto, pasar al desarenador, cámara de carga y luego mediante tuberías conducir el agua desde la parte alta hasta la parte baja de la sala de máquinas en el que la energía cinética del agua, provocará un movimiento en el rotor de la turbina hidráulica y en el generador eléctrico.

En ese sentido, a través del presente proyecto y en el marco del Convenio N° SP-2021-00111 (Versión 2) suscrito entre Ecofriendly Engineers SAC, PNIPA y Universidad Nacional de Jaén, se busca aprovechar sus componentes de obras civiles y del potencial hídrico que utiliza la empresa, para realizar el diseño de una microcentral hidroeléctrica que estime la potencia de 10 kW y se construya un suministro eléctrico con energía renovable que permita accionar simultáneamente durante las 24 horas del día 9 aireadores eléctricos.

1.1 Problemática:

Ecofriendly Engineers SAC, es una empresa acuícola que ha ubicado su zona de producción y crianza de trucha arcoíris en el Caserío Selva Verde - distrito de Aramango – departamento de Amazonas.

El caserío, ubicado en la parte alta del distrito, ofrece condiciones geográficas favorables que permiten a la empresa, a través de los componentes de su sistema de abastecimiento de agua captación, canal, desarenador, cámara de carga y tubería de presión, aprovechar de manera sostenible las aguas frías provenientes de ríos y quebradas para sus actividades productivas. No obstante, esta ubicación también implica una limitación importante: la disponibilidad de energía eléctrica es insuficiente para cubrir adecuadamente las necesidades del proceso industrial, tal como lo señala el estudio de Rainuzzo (2020), quien indica que “las empresas acuícolas muestran en su entorno limitaciones como la insuficiente energía eléctrica en sus zonas de producción (...)” (p. 76).

Dicha limitación, se evidencia en la red eléctrica existente en el caserío ya que, se visualizó un transformador de 15kVA, monofásico (fase-neutro), con un nivel de tensión de 13.2kV y una red secundaria de baja tensión en 440-220V, siendo un sistema con características técnicas para uso netamente doméstico y no para fines industriales. Por otro lado, el solicitar el servicio de un sistema de utilización a Electro Oriente S.A., significaría un aumento en el presupuesto que se tiene establecido de 80,000.00 soles, siendo inviable la opción de conectarse a la red eléctrica rural existente en la zona de estudio.

Por lo tanto, mediante el sistema de abastecimiento de agua que la empresa ha implementado, el presente estudio busca aprovechar dicho potencial hidráulico para la implementación de un suministro eléctrico que estime una potencia de 10 kW, a fin de que se accione simultáneamente durante las 24 horas del día, 9 aireadores monofásicos de 220V según el requerimiento de la empresa.

En ese sentido, ¿cómo generar energía eléctrica utilizando el sistema de abastecimiento de agua de la empresa Ecofriendly Engineers SAC para satisfacer la demanda de 10kW en su zona de producción?

1.2 Antecedentes:

1.2.1 Antecedentes internacionales:

El desarrollo de los suministros eléctricos con energía renovable está siendo aplicada en todo el mundo, los cuales, buscan promover el uso de dichos sistemas en zonas rurales con énfase de producción y con la carencia de ello. En ese sentido Vivas Rodríguez (2020) a través de su tesis: “Diseño de una micro central hidroeléctrica para la hacienda las garzas” aplica una metodología de selección de información que le ayude a determinar los cálculos precisos para dimensionar los equipos electromecánicos. Así, el estudio establece la siguiente conclusión: Mediante la obtención de un caudal de 5 l/s (...), un saldo geodésico neto de 18 metros con relación a la altura sobre el nivel del mar de la bocatoma de agua con respecto a la casa de máquinas, consiguió una demanda energética de 280 watts.

Asimismo, Jaramillo Delgado (2011) en su tesis “Diseño y cálculo de una micro central hidroeléctrica, utilizando las aguas de la pta de la planta No. 1 de PROPAL S.A.”, tuvo como dos de sus objetivos específicos, Seleccionar los equipamientos mecánicos y eléctricos para la regulación, operación y conexión eléctrica de la MCH y el valor de la potencia eléctrica generada y Estimar el costo de los diferentes componentes de la MCH y su viabilidad financiera para la empresa. El estudio concluye que, La potencia que se puede producir en esta Micro Central Hidroeléctrica (MCH) es de 16.2 kW, la cual es suficiente para suministrar la iluminación de la zona administrativa de la planta, y proveer un ahorro de \$22'920.000 anuales a la empresa.

1.2.2 Antecedentes nacionales:

En el territorio nacional, existen muchas zonas rurales que aún no cuentan con un sistema energético. Por ello, Requejo & Cortéz (2019) en su tesis “Diseño y simulación de micro central hidroeléctrica utilizando turbina de vórtice para el centro poblado El Huaco – distrito Huabal – Jaén – Perú”, menciona en uno de sus objetivos específicos, Evaluar técnica y económicamente el proyecto, el cual, el estudio presentó las siguientes conclusiones: El diseño de la micro central hidroeléctrica tiene

un caudal de $1,995 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, lo que permite el funcionamiento de la turbina de vórtice que se acoplara a un generador eléctrico seleccionado es ARE-30 kW”, además, (...) su inversión al inicio llega a ser de S/ 35 865.69 y puede ser recuperada en un periodo de 6 años en su totalidad.

1.3 Justificación:

1.3.1 Justificación ambiental:

Según Sanz (2016), las centrales hidroeléctricas son una fuente de energía limpia, ya que no generan algún tipo de contaminación ni dañan el recurso hídrico, permitiendo a que se pueda utilizar para otros propósitos como riegos, usos sanitarios o industriales.

De la misma manera, el recurso natural del que se hará uso en el proyecto, no se agotará con su utilización debido a que, según Schallenberg et al. (2008) otros sistemas de obtención de energía eléctrica, hacen uso de los recursos no renovables que tardan mucho tiempo en volver a producirse y, por lo tanto, su agotamiento es inevitablemente acelerado.

Asimismo, el sistema del proyecto, es favorable para acceder a la energía eléctrica y ayudar a alcanzar objetivos de un suministro seguro con un ambiente sostenible. (Tamayo et al. 2016)

Por otro lado, según Gonzales (2009) los sistemas de obtención de energía eléctrica deben estar enfocados también, en métodos que analicen la comparativa entre las prácticas de uso de los recursos renovables con los combustibles fósiles para así, obtener resultados de igualdad en producción de energía eléctrica. (p.11)

Finalmente, Elías, X. (2012), menciona que el incremento en la participación de las energías renovables dentro del conjunto de los combustibles disponibles podría reducir de manera significativa las emisiones de gases de efecto invernadero (...).

1.3.2 Justificación económica:

Ortiz et al. (2022) menciona que, el beneficio de las microcentrales fomenta el crecimiento en los sectores agroindustriales, pesqueros, entre otros.

De esta manera, la empresa está implementando tecnologías para mejorar la eficiencia en su sistema de producción. Dicha tecnología, incluye el diseño y manufacturación de un suministro de energía eléctrica sostenible en la zona de producción, de esa manera podrá abastecer de energía eléctrica a los equipos aireadores e iluminarias.

Dichos aireadores tienen como función principal oxigenar el agua que se encuentra estancada en las geomembranas de 7m de diámetro permitiendo que la crianza de truche sea eficiente.

Es así que, según Gonzales (2015) implementando la micro central hidroeléctrica en la zona productiva, le permitirá a la empresa invertir adecuadamente el presupuesto asignado, además de generar menores costos de producción, podrá escalar a nivel intensivo el cultivo de trucha arcoíris, mejorando la utilidad y finalmente aumentando la rentabilidad.

1.3.3 Justificación técnica:

De acuerdo al manual de BUN-CA (2002), la evaluación de la demanda es una parte esencial para proyectar el tipo de central y, además que, para estimar u obtener una potencia en la implementación de un sistema hidroeléctrico, ésta deberá cumplir principalmente con los siguientes requerimientos:

- Potencial hídrico.
- Altura o caída entre el punto de captación de agua y la sala de máquinas.
- Eficiencia del equipo electromecánico.

1.4 Objetivos:

1.4.1 Objetivo general:

Diseñar y construir una microcentral hidroeléctrica a partir del sistema de abastecimiento de agua de la empresa Ecofriendly Engineers SAC en el caserío Selva verde, distrito de Aramango, departamento de Amazonas.

1.4.2 Objetivos específicos:

- **O.E.1:** Describir la zona geográfica del caserío Selva verde para definir la ubicación de la microcentral hidroeléctrica.
- **O.E.2:** Describir las obras civiles que componen el sistema de abastecimiento de agua en el lugar de estudio.
- **O.E.3:** Diseñar la tubería de presión, salto geodésico y el equipo electromecánico de la microcentral hidroeléctrica.
- **O.E.4:** Diseñar CAD/CAE la microcentral hidroeléctrica con la turbina seleccionada a través del diseño asistido de computadora solidworks.
- **O.E.5:** Realizar el metrado y presupuesto de la manufactura de equipamiento de la microcentral hidroeléctrica.
- **O.E.6:** Manufacturar equipamiento mecánico y eléctrico de la microcentral hidroeléctrica.

2 MATERIAL Y MÉTODOS:

2.1 MATERIAL:

Los equipos e instrumentos necesarios para realizar el trabajo de investigación fueron:

2.1.1 Instrumentos de medición:

Altímetro

Manómetro

Multímetro digital

Frecuencímetro de rango dc 57 a 63 Hz

Vatímetro de 0 a 20kW

Conmutador voltimétrico

2.1.2 Material de campo

Cinta métrica

Yeso

Lapicero

Kit de herramientas mecánicas

Libreta

2.1.3 Software

SolidWorks

AutoCAD

Microsoft Word 2016

Microsoft Excel 2016

2.1.4 Equipo tecnológico

Celular

Laptop

Cámara fotográfica

2.2 METODO:

2.2.1 O.E.1: Describir la zona geográfica del caserío Selva verde para definir la ubicación de la microcentral hidroeléctrica.

2.2.1.1 Ubicación geográfica:

Se realizó viajes con los ingenieros y el personal de la empresa Ecofriendly Engineers SAC desde la ciudad de Jaén hasta el lugar de estudio del presente proyecto. Asimismo, mediante el uso de un sistema de posicionamiento global (GPS) proporcionada por la misma empresa, se captó una imagen satelital del lugar.

2.2.1.2 Vías de acceso:

Se obtuvo información de las vías de acceso mediante Google maps, además, se constató de ello a través de los viajes que se realizaron al lugar de estudio.

2.2.1.3 Topografía:

Las características topográficas de la zona de estudio se hicieron mediante el uso de un teodolito brindado por la misma empresa.

2.2.1.4 Definición de la ubicación de la microcentral hidroeléctrica.

En dicho punto, se mencionaron los afluentes hídricos que cuenta la zona de estudio y del afluente que la empresa utiliza para su sistema de abastecimiento de agua.

Asimismo, la descripción de los criterios técnicos para definir la ubicación de la microcentral, se establecieron a partir de los datos altitudinales obtenidos mediante las visitas y evaluaciones técnicas que se realizaron en el lugar.

2.2.2 O.E.2: Describir las obras civiles que componen el sistema de abastecimiento de agua en el lugar de estudio.

Para la descripción de las obras civiles, se obtuvo información de los caudales máximos y dimensionamiento de las estructuras construidas por la empresa Beta consultores y constructores SAC. De la misma manera, se recopiló información a través del recorrido técnico que se hizo a los componentes del sistema de abastecimiento de agua que la empresa Ecofriendly Engineers SAC tiene implementada.

2.2.3 O.E.3: Diseñar la tubería de presión, salto geodésico y el equipo electromecánico de la microcentral hidroeléctrica.

Para el cálculo y dimensionamiento de los componentes de la microcentral hidroeléctrica, se tomó en cuenta los datos obtenidos en campo del sistema de abastecimiento de agua existente.

2.2.3.1 Cálculo de la velocidad del caudal de salida de la cámara de carga y del caudal proyectado para la microcentral:

Para dicho cálculo se utilizaron las características técnicas que presente la cámara de carga del sistema de abastecimiento de agua y las siguientes ecuaciones:

Ecuación de Torricelli:

$$v = \sqrt{2gh}$$

Ecuación de caudal:

$$Q = A_{tubo} * v$$

2.2.3.2 Medición del salto geodésico:

Dicha medición, se realizó a través del método de manguera por nivelación, ya que, según Coz et al. (1995), es el método con mejor precisión, con mínimos errores y es habitualmente usado para zonas con saltos pequeños.

2.2.3.3 Selección de la tubería de presión:

El tipo de tubería se seleccionó de acuerdo al terreno del lugar de estudio. Asimismo, se asumió preliminarmente datos principales de las características técnicas a través de la Norma ISO-4422 de dicha tubería.

2.2.3.4 Cálculo de las pérdidas de cargas en tuberías:

Para calcular las pérdidas por fricción se utilizó la ecuación Hazen-Williams:

$$hf_{(m)} = 10.67 * \left(\frac{Q_{\left[\frac{m^3}{s}\right]}}{C} \right)^{1.852} * \frac{L_{[m]}}{d_{[m]}^{4.87}}$$

Donde,

- Q = Caudal
- C = Coeficiente de PVC
- L = Longitud de tubería
- d = Diámetro interior de tubería

Asimismo, se utilizó la ecuación de pérdidas por turbulencia:

$$H_p = \frac{v^2}{2g} (k_1 + k_2 + k_3)$$

Donde,

- v = velocidad del agua en la tubería
- g = gravedad
- k_1, k_2, k_3 = pérdidas

2.2.3.5 Cálculo de presiones transitorias

Para el cálculo de las presiones transitorias se utilizó la ecuación de presiones transitorias:

$$\Delta h = a * \frac{v}{g}$$

Donde,

a = velocidad de propagación de la honda para tubería PVC

v = velocidad del agua en la tubería

g = gravedad

2.2.3.6 Cálculo del espesor teórico de pared de la tubería de presión:

Para dicho cálculo, según Coz, y otros (1995), se debe comparar los datos asumidos preliminarmente de la tubería de presión con el resultado del cálculo del espesor teórico, el cual, se utilizó la siguiente ecuación:

$$T = \frac{5 * f_s * h_t * 10^6 * d * kj}{S} + K_c$$

Donde,

f_s = factor de seguridad

h_t = caída total en la tubería cuando ocurre golpe de ariete

d = diámetro interior de la tubería de presión

k_j y K_c = Aproximación en tubería de PVC

S = Esfuerzo de rotura

2.2.3.7 Cálculo de la presión hidrostática en el punto de llegada a la turbina.

Para dicho cálculo se tomó en cuenta la presión hidrostática que llega al punto de derivación hacia las pozas, luego, se calculó la presión que llega a la turbina mediante la siguiente fórmula:

Fórmula de presión hidrostática:

$$P = \rho * g * h$$

Donde:

- P = presión (en pascales),
- ρ = densidad del fluido
- g = aceleración debida a la gravedad
- h = altura neta

2.2.3.8 Cálculo de la potencia a generar:

Para el cálculo de la potencia a generar, se utilizó la ecuación de potencia efectiva:

$$P_{efectiva} = \rho \times g \times \eta_t \times \eta_g \times \eta_T \times Q \times H_n$$

Donde,

- ρ = peso específico del agua
- g = gravedad
- η_t = rendimiento de turbina
- η_g = rendimiento del generador
- η_T = rendimiento transmisión
- Q = caudal de diseño
- H_n = Altura neta

2.2.3.9 Cálculo de la máxima demanda:

El cálculo de la máxima demanda real se estableció a partir de la cantidad de equipos y accesorios eléctricos que la empresa utilizará durante sus procesos de crianza de trucha teniendo a equipos principales como los aireadores. Estos equipos están descritos en dos tablas, teniendo en cuenta el factor de simultaneidad para obtener la máxima demanda.

Para la máxima demanda proyectada, se estableció a partir de equipos de congelación y otros que comúnmente se utilizan en un restaurante, ya que, la empresa tiene proyectado hacer un establecimiento tanto de procesamiento de su producto como para un restaurante.

2.2.3.10 Selección de la turbina hidráulica

El tipo de turbina hidráulica que se utilizó en la micro central hidroeléctrica, se estableció a partir de la relación entre los datos obtenidos en campo como la altura neta y el caudal de diseño.

2.2.3.11 Validación hidráulica de la turbina Michell-Banki adquirida

La validación hidráulica se realizó a partir de las ecuaciones establecidas en el Manual de diseño, (...) para pequeñas centrales hidráulicas Michell Banki.

Asimismo, mediante dichas ecuaciones se calcularon los parámetros principales como:

- Ángulo relativo en la entrada del rotor
- Diámetro de giro de la turbina
- Velocidad de giro de la turbina
- Diámetro exterior del rodete
- Diámetro interior del rodete
- Diámetro máximo del eje que atraviesa el rodete
- Ancho del inyector

- Ancho del rodete
- Ángulo del inyector
- Espesor del chorro
- Número de álabes del rodete

2.2.3.12 *Cálculo del sistema de transmisión:*

En la micro central hidroeléctrica, se produce una continua conversión de energía hidráulica en energía mecánica en la turbina, y de energía mecánica en energía eléctrica en el generador.

Para el presente proyecto, la turbina tuvo una velocidad establecida de 420 rpm en su eje, e impulsó un generador eléctrico el cual girará a una velocidad establecida de 1800 rpm, por lo tanto, mediante el desarrollo de los cálculos correspondientes, se seleccionó el tipo de sistemas de bandas utilizando el procedimiento de cálculo de transmisiones por fajas en V especiales (Alva, 2008).

2.2.3.13 *Selección de la sección del conductor autoportante, cable de distribución eléctrica y componentes de protección.*

En este punto se hizo uso de las plantillas del software Excel para los cálculos de las características técnicas de algunos componentes.

Conductor autoportante

Para el dimensionamiento de la sección del conductor se utilizaron las siguientes fórmulas:

Cálculo de la corriente de diseño:

$$I_n = \frac{P}{V * \sqrt{3}}$$

Donde:

- I_n = corriente de diseño

- P = Potencia
- V = Voltaje

Cálculo de la caída de tensión permitida:

La máxima caída de tensión se establece por el tipo de sistema, además se utilizó la fórmula siguiente para dicho cálculo:

$$\Delta V_{max} = 3\% * 380 = 11.4$$

Cálculo del conductor autoportante:

Dicho cálculo se estableció a partir de la fórmula de caída de tensión:

$$\Delta V = \frac{2 * L * I * \rho}{S}$$

Reorganizando:

$$S = \frac{2 * L * I * \rho}{\Delta V}$$

Donde:

L = Longitud del conductor

I = Corriente de diseño

ρ = Resistividad del conductor de aluminio

ΔV = Caída de tensión permisible

Cable de distribución eléctrica y sus componentes de protección.

Dichos componentes se establecieron mediante cálculos realizados en la plantilla Excel. De esta manera, se obtuvo una mejor organización al momento del cálculo.

2.2.3.14 Selección del generador eléctrico

El generador eléctrico es la máquina electromecánica que recibe la energía mecánica de la turbina hidráulica y la transforma en energía eléctrica para luego entregársela al tablero de control de medición y regulador automático de velocidad.

El generador eléctrico se seleccionó adecuadamente mediante los parámetros de operación calculados anteriormente.

2.2.3.15 *Determinar tablero de control y regulador electrónico de carga:*

Se determinó el tablero de control y el regulador electrónico de carga a través de las características óptimas de trabajo que tendrán durante la generación de energía.

2.2.3.16 *Determinar sistema de puesta a tierra:*

El sistema de puesta a tierra se determinó bajo las normas ITINTEC P-370-220. P-370-223, DGE-019-CA-2/83 y los siguientes componentes:

2.2.3.16.1 Conductor de puesta a tierra:

Para determinar el conductor, dependió de la corriente de diseño y de la regla 060-204 del MINEM, 2006.

2.2.3.16.2 Electrodo de puesta a tierra:

Se evaluó el tipo de electrodo adecuado para dicho sistema.

2.2.3.16.3 Borne para electrodo de puesta a tierra:

Se evaluó el tipo de borne para electrodo adecuado para dicho sistema.

2.2.4 O.E.4: Diseñar CAD/CAE la microcentral hidroeléctrica con la turbina seleccionada a través del diseño asistido de computadora solidworks.

Para la representación CAD/CAE del modelo 3D de la turbina Michell Banki previamente adquirida, se utilizaron los datos de validación hidráulica calculados en el punto 3.1.3.11, a fin de construir su geometría en el software SolidWorks. Este software se utilizó bajo licencia académica-estudiantil, exclusivamente para fines de validación técnica en el presente trabajo de tesis.

De esta manera, se elaboraron imágenes representativas del ensamblaje y de las piezas más relevantes de la turbina. Asimismo, para la validación hidráulica del flujo másico y de la distribución de la presión hidrostática en la turbina, se empleó el módulo Flow Simulation del mismo software, con el objetivo de verificar la correspondencia entre los resultados de simulación y los cálculos teóricos previos.

La elaboración de las imágenes y la simulación realizada tiene un carácter estrictamente académico y demostrativo, y no constituye una validación con fines comerciales ni industriales, promoviendo el uso ético y legal de herramientas tecnológicas como referencia de futuros estudiantes y tesis.

2.2.5 O.E.5: Realizar el metrado y presupuesto de la manufactura de la microcentral hidroeléctrica.

Para realizar el metrado de la microcentral se utilizaron las plantillas de Excel para cuantificar y calcular cada componente de obra que se manufacturó. Asimismo, al haber realizado dicho metrado, se estimaron sus costos y se determinó el presupuesto. Finalmente, se estimó el costo general de la obra.

2.2.6 O.E.6: Manufacturar equipamiento mecánico y eléctrico de la microcentral hidroeléctrica.

En toda manufactura es fundamental contar con un plano de obra el cual represente gráfica y detalladamente el proyecto que se ejecutará. En ese sentido, en el presente proyecto se

realizó un plano para reflejar de manera precisa todos los componentes a manufacturar, implementar e instalar.

Asimismo, la manufactura e implementación de todo el material y equipo electromecánico estuvo dividida en 2 etapas:

Primera Etapa: Excavación y construcción de las obras civiles para la microcentral

En esta etapa, se realizaron todas las excavaciones correspondientes a las obras civiles para posteriormente realizar las actividades de construcción.

Segunda Etapa: Implementación de la tubería de presión y montaje del equipo electromecánico.

En esta segunda etapa, se realizó la implementación de la tubería de presión, equipos electromecánicos y se instalaron los equipos y componentes eléctricos.

3 RESULTADOS:

3.1.1 O.E.1: Describir la zona geográfica del caserío Selva verde para definir la ubicación de la microcentral hidroeléctrica.

3.1.1.1 Ubicación geográfica:

El diseño y construcción de la micro central hidroeléctrica se realizó en la zona de producción de trucha arcoíris de la Empresa Ecofriendly Engineers SAC que se encuentra ubicada en el caserío Selva Verde, distrito de Aramango, provincia de Bagua, departamento Amazonas, el cual, se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Ubicación geográfica del Caserío Selva Verde



3.1.1.2 Vías de acceso:

Se puede acceder a la zona del proyecto desde la ciudad de Jaén tomando las siguientes vías: Desde Jaén la vía PE-3N con dirección al sur y hasta el inicio de esta vía en Chamaya, luego se toma la ruta nacional PE-5N en sentido de avance hasta el inicio de la vía PE-5NC en la localidad de el caserío el Reposo, en donde inicia la vía

PE-5NC hasta la ciudad de Bagua, tomando para esto un desvío hacia la izquierda a 300 m. de la localidad del El Milagro; desde Bagua hasta Aramango existe una línea reconocida de vehículos que se toman en el terminal terrestre de Bagua hacia la Localidad de Aramango, para ello se sigue las siguientes vías: vía PE-5NC hasta el C.P. El Muyo, durante 40 minutos desde El Muyo se avanza hacia Aramango siguiendo la vía AM-510 (la misma que empieza en la intersección con la Vía PE-5NC en el C.P. El Muyo) en un tiempo aproximado de 10 minutos.

Asimismo, desde Aramango se toma la carretera afirmada saliendo por el Pje. Sta. Rosa hasta el C. P. Selva Verde en un aproximado de 30 minutos.

Finalmente, en la Tabla 1 se muestra un resumen de las distancias entre las vías descritas anteriormente.

Tabla 1

Distancias entre las vías de acceso al proyecto

DE	A	DISTANCIA	TIEMPO VIAJE	DE	VÍA
Jaén	Chamaya	17.6 km	22 min		Asfaltada
Chamaya	Bagua	49.0 km	53 min		Asfaltada
Bagua	Aramango	43.6 km	50 min		Asfaltada
Aramango	Selva Verde	8.75 km	30 min		Afirmada

3.1.1.3 Topografía:

La zona de estudio presenta una topografía accidentada a muy accidentada, el cual, las elevaciones oscilan entre los 1045.00 msnm que se encuentra en la parte baja del terreno para la producción de truchas arcoíris y hasta los 1070.00 msnm que se encuentra en la parte donde se realizó la captación del agua tanto para la poza de peces como para la micro central.

3.1.1.4 Definición de la ubicación de la microcentral hidroeléctrica.

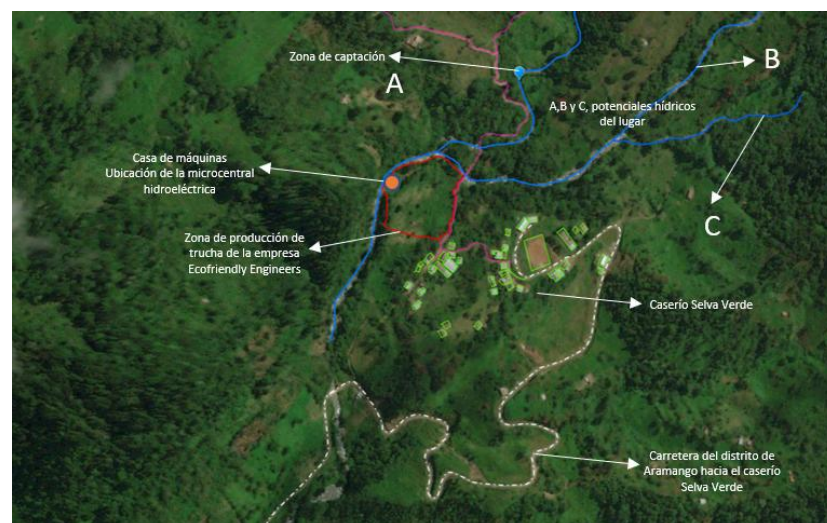
El caserío Selva Verde, cuenta con tres potenciales hídricos aprovechables para el abastecimiento de agua hacia las pozas y la generación de energía eléctrica renovable. De aquellos tres, solo se utiliza el recurso hídrico de uno, el cual, es detallado en la zona de captación (A) mostrado en la Figura 2.

Asimismo, en el punto naranja de dicha figura, se definió la ubicación de la sala de máquinas de la microcentral hidroeléctrica, el cual, tuvo los siguientes criterios:

- Existe una caída altitudinal de aproximadamente 16 m entre la derivación del caudal para las pozas de agua y la ubicación de la sala de máquinas.
- Se encuentra dentro del área privada de la empresa Ecofriendly Engineers SAC, evitando tener algún tipo de problema con la población.
- Al ser un sistema renovable, a través de la gravedad permite que el agua utilizada en la turbina, retorne al cauce de la quebrada.
- Entre los datos de caídas altitudinales que se obtuvo preliminarmente en distintos puntos de la zona, 16 m, es la más óptima para estimar la potencia que busca generar la empresa para satisfacer su demanda energética.

Figura 2

Características y definición del lugar para la microcentral



3.1.2 O.E.2: Describir las obras civiles que componen el sistema de abastecimiento de agua en el lugar de estudio.

El dimensionamiento de las estructuras de las obras civiles del sistema de abastecimiento de agua de Ecofriendly Engineers SAC estuvo a cargo de la empresa Beta Consultores y Constructores SAC, la cual proporcionó la información presentada en el Anexo 03, sobre el estudio hidrológico correspondiente a los análisis de cartografía, pluviometría e hidrometría en el área de la cuenca. Estos estudios determinaron los caudales máximos, los cuales se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Caudales de los afluentes de la zona

DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LOS AFLUENTES EN LA ZONA		
QUEBRADA	Q (L/S)	Q NECESARIOS (L/S)
A	1500.00	70.00
B	2000.00	
C	3500.00	

De acuerdo a la tabla mencionada, la disponibilidad hídrica de la quebrada “C”, es mejor en comparación con las demás, sin embargo, según el requerimiento de la empresa Ecofriendly Engineers SAC, la quebrada “A” y el caudal de 70 L/s, es suficiente para abastecer la demanda de agua para las pozas de las truchas arcoíris. Además, la accesibilidad para construir la estructura de captación en la orilla de dicha quebrada, es menos accidentada que las demás.

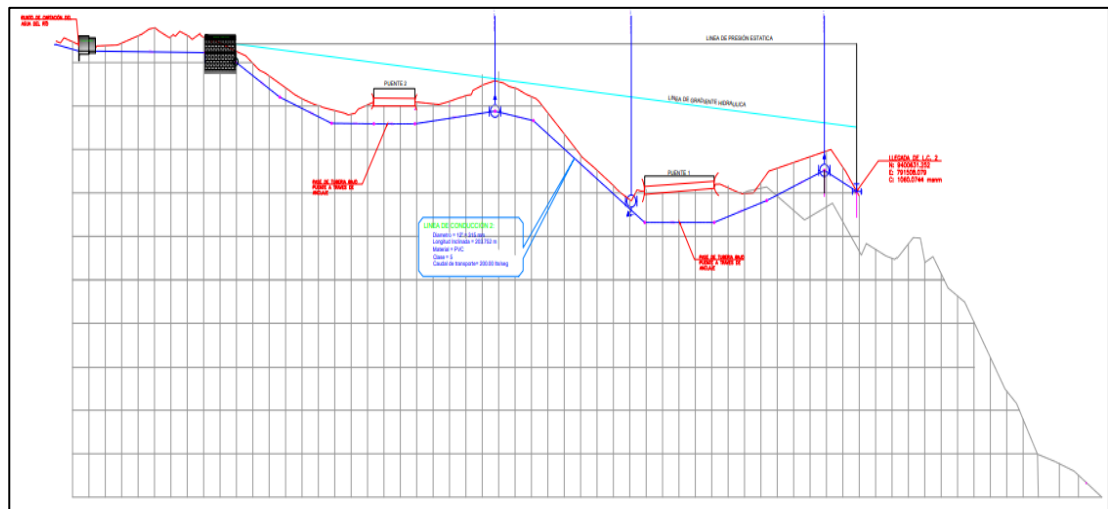
3.1.2.1 Sistema de conducción:

El sistema de abastecimiento de agua que la empresa tiene implementada está conformado por la desviación del caudal en la parte alta de la quebrada mediante piedras obtenidas de la misma, así, el caudal pasará por la captación que, a través de una compuerta accionada manualmente, controlará la entrada del caudal hacia el canal de conducción y por consiguiente al desarenador que actuará también como una cámara de carga. Luego, mediante una tubería forzada PVC de 12 pulgadas, que se encuentra enterrada en cierta parte del camino y en otros lados tiene va anclada al lado de los puentes, el caudal es llevado hasta la zona de producción. Ahí, habrá 2 puntos de distribución, los cuales, uno irá hacia las geomembranas y el otro punto, hacia la sala de máquinas donde estará ubicada la turbina, la cual, mediante una línea de transmisión y un generador, se encargarán de transformar la energía cinética del caudal a energía mecánica para accionar el generador y producir energía eléctrica.

Asimismo, en la Figura 3, se muestra la línea de conducción desde el punto de captación del caudal hasta el punto de derivación en la zona de producción.

Figura 3

Lina de conducción del sistema de abastecimiento de agua



3.1.2.2 Captación:

Como se observa en la Figura 4, es una toma lateral en la parte alta de la quebrada, la cual, cuenta con muros de encausamiento de piedra, sistema de compuertas de latón reforzado, un tornillo sin fin y una volante para su accionamiento manual con la finalidad de controlar la entrada del caudal hacia el canal de conducción

Dicha toma permite direccionar parte del caudal de la quebrada hacia el canal de conducción. Además, mediante una compuerta, se logra controlar el nivel de caudal que ingresa, evitando inconvenientes al momento de que haya un aumento producto de las lluvias en la zona. Asimismo, si las lluvias continuaran por varios días, en la Figura 5 se muestra una segunda compuerta que devuelve el exceso de caudal en el canal hacia el cauce de la quebrada.

Figura 4

Captación del sistema de abastecimiento de agua



Figura 5

Compuerta lateral para el exceso de agua



3.1.2.3 Canal:

En la Figura 6, se muestra un canal sin revestimiento, con talud, con una longitud de 23.50 metros, una profundidad de 0.60 metros y pendiente de 0.02, el cual, es protegido en sus taludes ante una crecida del caudal de la quebrada provocada por lluvias.

Una vez controlado el nivel de ingreso de caudal por parte de la captación, el canal permite conducir el caudal hacia el desarenador.

Figura 6

Canal del sistema de abastecimiento de agua



3.1.2.4 Desarenador:

Es de ladrillo y cemento, con columnas de concreto armado, el cual, se observa en la Figura 7.

En la quebrada del lugar de estudio, hay elementos flotantes como ramas u hojas, piedras pequeñas y tierra de la misma, por esto, la importancia del desarenador en el sistema, ya que, mediante mayas de fierro evita que esos elementos sean acumulados y luego conducidos a la turbina, generando obstrucciones o daños en los equipos.

Figura 7

Desarenador del sistema de abastecimiento de agua



3.1.2.5 Cámara de carga:

Briceño et al. (2008), menciona que, la cámara de carga es un reservorio situada al final del canal, justo antes de la entrada a la tubería de presión.

Asimismo, en el sistema de abastecimiento de agua, la cámara de carga es de ladrillo y cemento, con columnas de concreto armado, con una altitud de salida de agua comprendida en los 1066.0345 msnm.

La estructura se muestra en la Figura 8 y está ubicada conjuntamente con el desarenador, así, el agua estará acumulada para poder ser conducida mediante tuberías hasta las geomembranas y la sala de máquinas.

Figura 8

Cámara de carga conjuntamente con desarenador del sistema de abastecimiento de agua



3.1.2.6 Línea de conducción:

La línea de conducción cuenta con unas conexiones de tuberías que se encargan de trasladar el caudal desde la cámara de carga hasta los dos puntos de derivación en la zona de producción y se puede visualizar el perfil de línea de conducción en la figura 3 del punto 2.2.2.1.

Todo el tramo desde la cámara de carga hasta las geomembranas consta de una tubería PVC de 12" clase 5, teniendo una longitud de 204 metros; para este tramo la tubería está enterrada en el camino para evitar que sobresalga y genere incomodidad en la población, además, se utilizará los puentes existentes para anclar la tubería en ellos y así evitar utilizar pases aéreos. Las tuberías se muestran en las Figuras 9 y 10.

Figura 9

Tubería enterrada en el camino



Figura 10

Tubería anclada en puentes



3.1.3 O.E.3: Diseñar la tubería de presión, salto geodésico y el equipo electromecánico de la microcentral hidroeléctrica.

De acuerdo a los estudios que realizó la empresa Beta Consultores y Constructores SAC para la construcción de las obras civiles del sistema de abastecimiento de agua, se tomó en cuenta los datos reales, principales y básicos para el cálculo y dimensionamiento de los componentes de la microcentral.

Datos reales obtenidos en campo:

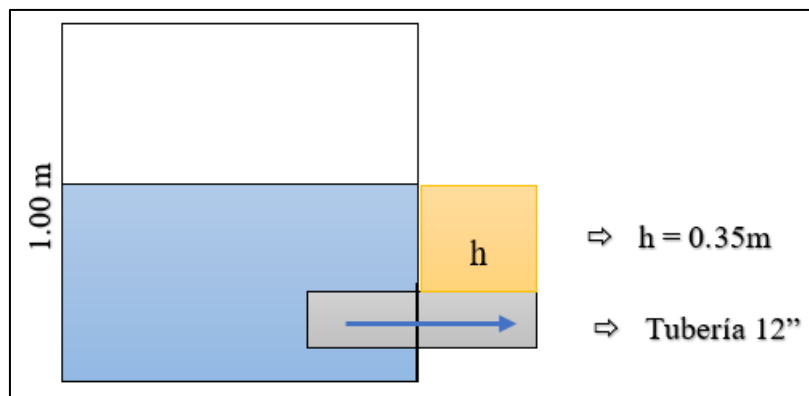
- Tubería: 12 pulgadas, clase 5.
- Caudal máximo de conducción: 200 L/s

3.1.3.1 Cálculo de la velocidad del caudal de salida de la cámara de carga y del caudal proyectado para la microcentral:

El cálculo de la velocidad del caudal, depende de la característica de la cámara de carga mostrada en la Figura 12, teniendo datos de la altura del orificio de salida (h), el diámetro de la tubería forzada, utilizando la ecuación de Torricelli y la ecuación de caudal se mostrará el siguiente cálculo:

Figura 12

Características de la cámara de carga del sistema de abastecimiento de agua



Ecuación de Torricelli: $v = \sqrt{2gh}$

$v = \sqrt{2 * 9.8 * 0.35} = 2.620 \text{ m/s}$, velocidad que será adecuada para el diseño.

Caudal de salida:

$$r = D_{tubo} = 2 = 12/2 = 6"$$

$$A_{tubo} = \pi * r^2 = \pi * [6 * (0.0254 \text{ m/1"})]^2 = 0.07297 \text{ m}^2$$

$$Q = A_{tubo} * v = 0.07297 \text{ m}^2 * 2.62 \text{ m/s} = 0.1912 \text{ m}^3/\text{s}$$

Convirtiendo el caudal de m^3/s a l/s , obtenemos 191.2 l/s

Dicho caudal, es la cantidad de agua transportada desde la primera cámara de carga hasta la derivación en la zona de producción que será la encargada de su distribución hacia las pozas de las truchas y a la microcentral.

Por lo tanto, según la empresa Ecofriendly Engineers SAC, es necesario 70 L/s para abastecer de agua las pozas de las truchas arcoíris, de modo que, el caudal restante de 121.2 L/s se distribuyó a la sala de máquinas de la microcentral hidroeléctrica.

El **Caudal** establecido para la microcentral es:

$$Q = 121.2 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 0.1212 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.1.3.2 Medición del salto geodésico:

Se desarrolló el procedimiento del método de manguera de nivelación según Coz et al. (1995).

Los materiales para el todo el proceso del método mencionado son los mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3

Materiales para el desarrollo del método de manguera de nivelación

Material	Cantidad	Unidad
Manguera transparente	10	m
Listón de madera de 2m	1	u
Wincha de 5m	1	u
Libreta	1	u
Lápiz	2	u

Procedimiento:

Para realizar el procedimiento, es necesaria la participación de dos personas. Ambas, tendrán la denominación de “X” y “Y”.

La persona X, se posicionará en la cámara de carga de derivación, el cual, será el punto de inicio para las mediciones. Asimismo, ambas personas sostendrán la manguera transparente y se procederá al llenado de la misma dejando un vacío de 20 cm en cada extremo.

Luego, la persona Y bajará la pendiente y colocará el listón de madera de 2 metros en una posición recta hasta que algún lado de la parte superior se encuentre al mismo nivel de la tubería de salida de la cámara de carga.

Cuando cada persona se encuentre en el lugar adecuada, ambas deberán percatarse de que el nivel de agua en los extremos de la manguera se encuentre estático y con el vacío de 20 cm, así, la persona Y hará una marca en la parte superior del listón donde se encuentre al mismo nivel del punto inicial. Además, deberá hacer una señal en el lugar donde colocó el listón.

Por último, se procede a la medición del tramo 1 y se apunta los datos obtenidos del mismo.

Ahora, la persona X se posicionará en el lugar señalado por la persona Y, siendo el punto de inicio para preceder a la siguiente medición. Luego, el mismo proceso

indicado anteriormente, se repetirá en varios tramos, los cuales, son indicados en la Tabla 4.

Tabla 4

Mediciones obtenidas en cada tramo durante todo el proceso

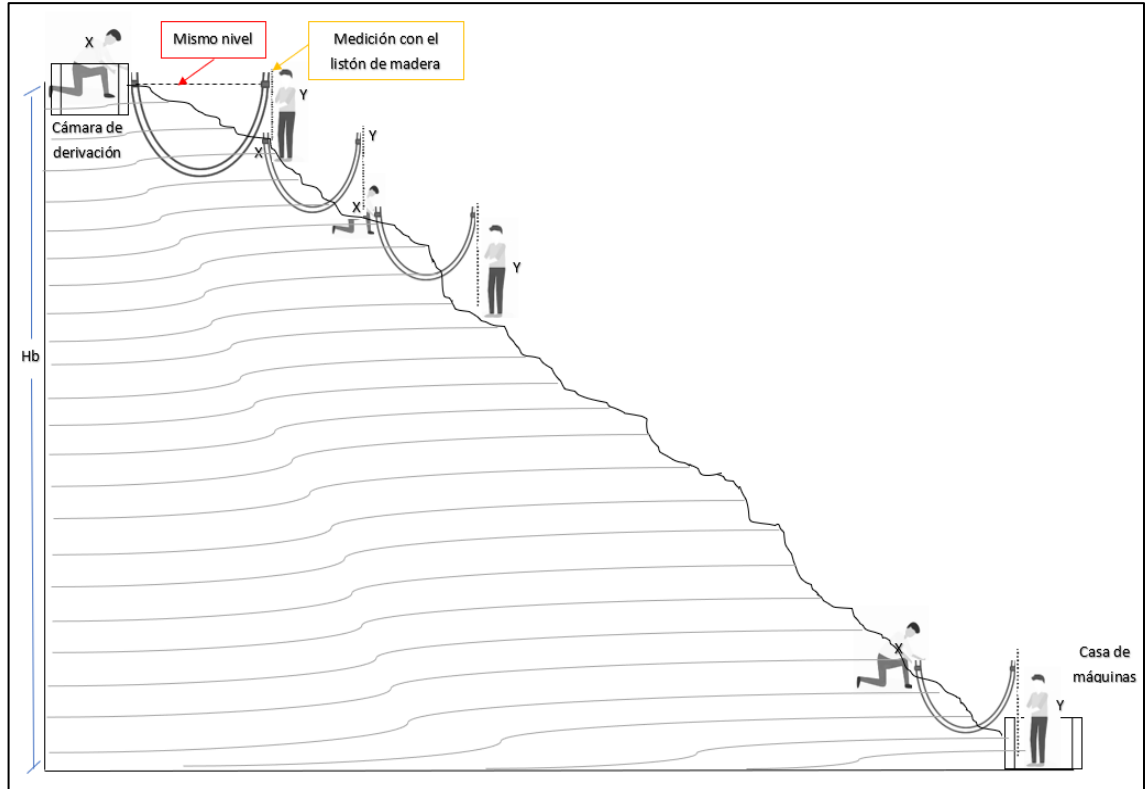
CALCULO DE LA ALTURA POR EL METODO DE MANGUERA DE NIVELACIÓN				
PUNTO	TRAMO	ALTURA BRUTA O CAIDA (Hb) m	LONGITUD INCLINADA (m)	LONGITUD HORIZONTAL (m)
1	0	0	0	0
2	1-2	1.76	7.84	
3	2-3	1.78	8.37	
4	3-4	1.87	7.56	
5	4-5	1.78	8.16	
6	5-6	1.85	7.45	
7	6-7	1.82	7.12	
8	7-8	1.78	5.46	
9	8-9	1.82	6.14	
10	9-10	1.75	1.84	
TOTAL		16.21	59.94	57.71

De esta manera, el procedimiento culmina al hacer la última medición en el lugar donde estará ubicada la turbina o la casa de máquinas.

En la Figura 13 se muestra el desarrollo del proceso del método de manguera por nivelación.

Figura 13

Procedimiento del método de manguera por nivelación



Por lo tanto, de acuerdo a la altura bruta obtenido de la Tabla 4, se obtuvo una altura neta para el diseño de la microcentral de:

$$H_N = H_b - H_p = 16.21 - 1.7133$$

$$H_N = 14.497 \approx 14.5 \text{ m}$$

3.1.3.3 Selección de la tubería de presión:

La tubería que se seleccionó para el presente proyecto es del tipo PVC, ya que, debido a la complejidad del lugar, es necesario que el material sea resistente a las presiones de agua, impermeable, liviano al momento de transportar, reciclable y que soporte el peso de la tierra cuando sea enterrada.

De esta manera, teniendo en cuenta los datos del sistema de abastecimiento de agua, se asume una tubería PVC de 10 pulgadas y de clase 5, obteniendo datos principales de la Figura 14 para cálculos posteriores.

Figura 14

Tubería de PVC rígido para fluidos a presión: NORMA ISO-4422

TUBERIA DE PVC RIGIDO PARA FLUIDOS A PRESION: NORMA ISO - 4422									
DIAMETRO REFERENCIAL	DIAMETRO EXTERIOR	SERIE 20 C - 5		SERIE 13.3 C - 7.5		SERIE 10 C - 10		SERIE 6.6 C - 15	
		DIAMETRO INTERIOR (mm)	ESPESOR (mm)	DIAMETRO INTERIOR (mm)	ESPESOR (mm)	DIAMETRO INTERIOR (mm)	ESPESOR (mm)	DIAMETRO INTERIOR (mm)	ESPESOR (mm)
Pulg.	(mm)								
1/2"	20							17.0	1.5
3/4"	25							21.4	1.8
1"	32					28.8	1.6	27.4	2.3
1 1/4"	40			37.0	1.5	36.2	1.9	34.4	2.8
1 1/2"	50			46.2	1.9	45.2	2.4	43.0	3.5
2"	63	59.8	1.6	58.4	2.3	57.0	3.0	54.2	4.4
2 1/2"	75	71.2	1.9	69.4	2.8	67.8	3.6	64.4	5.3
3"	90	85.6	2.2	83.4	3.3	81.4	4.3	77.4	6.3
4"	110	104.6	2.7	102.0	4.0	99.4	5.3	94.6	7.7
5 1/2"	140	133.0	3.5	129.8	5.1	126.6	6.7	120.4	9.8
6"	160	152.0	4.0	148.4	5.8	144.6	7.7	137.6	11.2
8"	200	190.2	4.9	185.4	7.3	180.8	9.6	172.0	14.0
10"	250	237.6	6.2	231.8	9.1	226.2	11.9	215.0	17.5
12"	315	299.6	7.7	292.2	11.4	285.0	15.0	271.0	22.0
14"	355	337.6	8.7	329.2	12.9	321.2	16.9	305.4	24.8
16"	400	380.4	9.8	371.0	14.5	361.8	19.1	344.0	28.0
18"	450	428.0	11.0	417.4	16.3	407.0	21.5	387.2	31.4

Nota: La figura muestra una tabla con las dimensiones de diferentes tipos de tuberías pvc. Tomado de (Manzi, 2020)

A partir del tipo de tubería y el diámetro asumido, se seleccionó los siguiente datos:

- Diámetro referencial: 10 pulgadas
- Diámetro exterior: 250 mm
- Diámetro interior: 237.6 mm
- Espesor (mm): 6.2 mm

3.1.3.4 Cálculo de las pérdidas de cargas en tuberías:

En el desarrollo del cálculo de las pérdidas por fricción se utilizó la ecuación Hazen-Williams:

$$hf_{(m)} = 10.67 * \left(\frac{Q_{\left[\frac{m^3}{s}\right]}}{C} \right)^{1.852} * \frac{L_{[m]}}{d_{[m]}^{4.87}}$$

Donde,

El coeficiente de PVC clase 5 se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5

Coefficientes de materiales de Hansel-Williams (elaborado según autores)

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 edad	107-113	Tubería lisa nueva	140
Hierro fundido, 20 años de edad	89-100	Acero nuevo	140-150
Hierro fundido, 30 años de edad	75-90	Acero	130
Hierro fundido, 40 años de edad	64-83	Acero rolado	110
Concreto	120-140	Lata	130
Cobre	130-140	Madera	120
Hierro dúctil	120	Hormigón	120-140

Nota: En la tabla se muestra valores de coeficientes de materiales de Hansel Williams. Tomado de (Alegret & Martínez, 2019)

- Q = Caudal = 0.1212 m³/s
- C = Coeficiente de PVC = CLASE 5 = 150
- L = Longitud de tubería = 60 m
- d = Diámetro interior de tubería = 237.6 mm

Entonces:

$$hf_{(m)} = 10.67 * \left(\frac{0.1212 \frac{m^3}{s}}{150} \right)^{1.852} * \frac{60m}{0.2376^{4.87}m}$$

$$hf_{(m)} = 1.3136 m$$

Se determinó pérdidas por tubulencia:

$$H_p = \frac{v^2}{2g} (k_1 + k_2 + k_3)$$

Donde:

v = velocidad del agua en la tubería

$$v = \frac{4Q}{\pi * d} = \frac{4 * 0.1212}{\pi * 0.2376^2} = 2.733 m/s$$

g = gravedad = 9.81 m/s²

k₁ = pérdida por inicio de tubería según la Figura 15 (recuadro amarillo) = 0.5

k₂ = pérdida por curvas 15° y 22.5° = 0.15+0.3 = 0.45

Para obtener el coeficiente de pérdida de curva se debe estimar el radio de la curva de 15° y 22.5° y se divide con el diámetro interior de la tubería de presión.

Fórmula para estimar radio de curva de 15° y de 22.5°

$$r = \frac{d}{2 * \text{sen} \left(\frac{\theta}{2} \right)}$$

Donde,

d = diámetro interior de la curva de 10" = 0.2376 m

θ = 15° y 22.5°

Entonces,

$$r_{15^\circ} = \frac{0.2376}{2 * \sin\left(\frac{15}{2}\right)} = 0.91 \quad ; \quad r_{22.5^\circ} = \frac{0.2376}{2 * \sin\left(\frac{22.5}{2}\right)} = 0.61$$

Luego se divide el radio calculado con el diámetro interior de la tubería de presión:

$$\frac{r_{15^\circ}}{d} = \frac{0.91}{0.2376} = 3.83 \approx 4 \quad ; \quad \frac{r_{22.5^\circ}}{d} = \frac{0.61}{0.2376} = 2.56 \approx 3$$

Los valores obtenidos, se comparan con la Tabla 6 para tomar valores superiores y/o cercanos a las curvaturas de 15° y 22.5°.

Tabla 6

Coeficientes de pérdidas en curvas

θ	r/d			
	1	2	3	5
20°	0.36	0.25	0.20	0.15
45°	0.45	0.38	0.30	0.23
90°	0.60	0.50	0.40	0.30

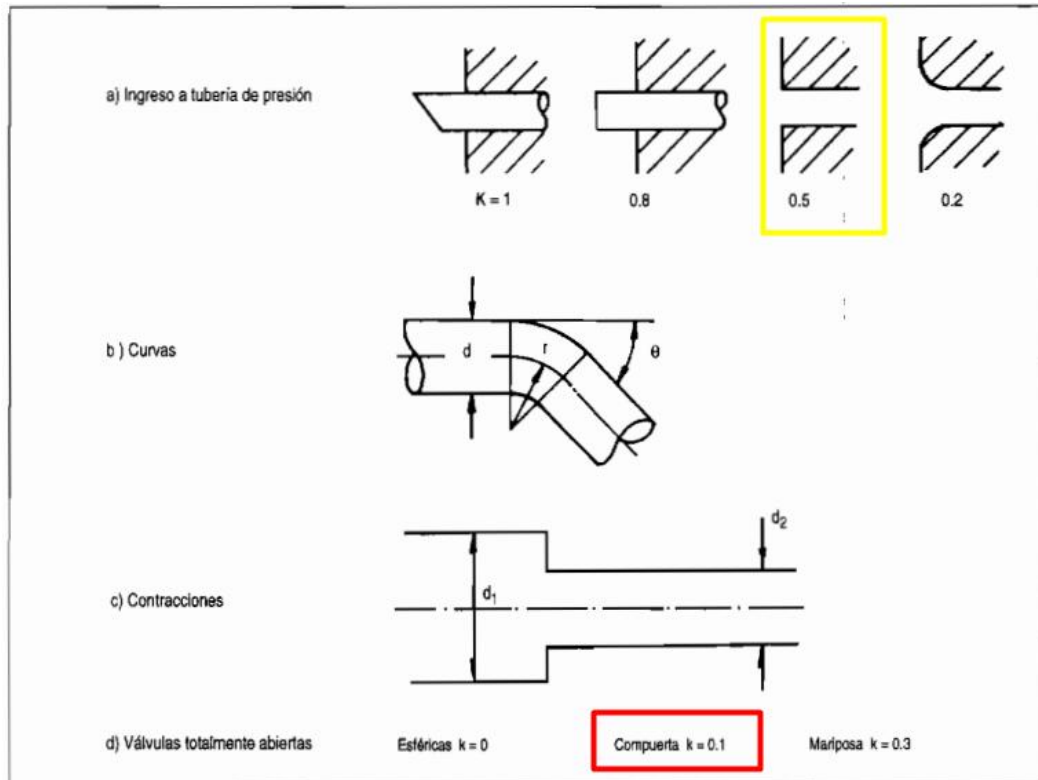
Nota: En la tabla se observa los valores de los coeficientes en curvas. Asimismo, cada valor depende del ángulo y el radio entre el diámetro menor. Tomado de (Coz, y otros, 1995)

Por lo tanto, los valores para 15° será = 0.15 y para 22.5° será = 0.3

k_3 = pérdida por válvula tipo compuerta según la Figura 15 (recuadro rojo) = 0.1

Figura 15

Pérdidas debido a turbulencias



Nota: En la figura se muestra los coeficientes para pérdidas por turbulencias según su tipo, tanto para ingreso a tubería de presión como de válvulas. Tomado de (Coz, y otros, 1995)

Se obtiene al reemplazar:

$$H_p = \frac{2.733^2}{2 * 9.81} (0.5 + 0.45 + 0.1) = 0.3997 \text{ m}$$

Por lo tanto se obtiene una pérdida total de:

$$H_p = H_f + H_t = 1.3136 + 0.3997$$

$$H_p = 1.7133 \text{ m}$$

3.1.3.5 Cálculo de presiones transitorias

Para dicho cálculo se utilizó la ecuación de presiones transitorias:

$$\Delta h = a * \frac{v}{g}$$

Donde,

a = velocidad de propagación de la onda para tubería PVC = 350 m/s

v = velocidad del agua en la tubería = 2.733 m/s

g = gravedad = 9.81 m/s²

Entonces,

$$\Delta h = a * \frac{v}{g} = 350 * \frac{2.733}{9.81} = 97.51 \text{ m}$$

Caída total en la tubería cuando ocurre golpe de ariete:

$$H_t = \Delta h + H_N = 97.51 + 14.5 = 112.01 \text{ m}$$

3.1.3.6 Cálculo del espesor teórico de pared de la tubería de presión:

En este punto, el resultado del cálculo del espesor de pared de la tubería de presión se comparó con el espesor de la tubería asumida en el punto 3.1.3.3 para corroborar si la elección de dicha tubería fue la adecuada.

Para dicho cálculo se utilizó la ecuación:

$$T = \frac{5 * f_s * h_t * 10^6 * d * k_j}{S} + K_c$$

Donde,

f_s = factor de seguridad = 1

Aunque usualmente se recomienda un factor de seguridad mayor a 1, las condiciones específicas de operación, temperatura moderada (15–19 °C), ausencia de golpes de ariete y uso de tubería de PVC Clase 5 (500 kPa), permiten adoptar un factor de seguridad de 1 para el cálculo del espesor teórico. Si el espesor calculado resulta inferior al nominal comercial, se ajustará aumentando el factor de seguridad.

h_t = caída total en la tubería cuando ocurre golpe de ariete = 112.01 m

d = 0.2376 m

k_j y K_c = Aproximación en tubería de PVC de acuerdo a la Figura 16 = 1

Figura 16

Factores de corrección pertinentes

Elegir los factores de corrección pertinentes:
Factor por tipo de junta: Soldadura $K_j = 1.1$
Plancha rolada y soldada $K_j = 1.2$
Factor por corrosión: $K_c = 1$ mm (por 10 años de vida)
$K_c = 2$ mm (por 20 años de vida)
Obsérvese que en una primera aproximación la tubería de PVC tiene un factor de multiplicación igual a 1.

Nota: En la figura se muestran los valores de factores de corrección, en este caso, optamos por la aproximación para tubería de PVC mostrado en el recuadro rojo. Tomado de (Coz, y otros, 1995).

S = Esfuerzo de rotura de acuerdo a la Figura 17 = 28×10^6 N/m²

Figura 17

Propiedades físicas de materiales para tuberías

Material	Módulo de Young GN/m ²	Coef. exp. lineal m/m°C	Esfuerzo de rotura MN/m ²	Densidad kN/m ³
Acero bajo %C	207	12×10^{-6}	350	78.6
PVC	2.75	54×10^{-6}	28	14
Polietileno	0.19-0.78	140×10^{-6}	5.9-8.8	9.4
Hierro dúctil	170	11×10^{-6}	310-520	70

Nota: En la figura se muestran los valores de las propiedades físicas, en este caso se toma el valor de esfuerzo de rotura para el material PVC. Tomado de (Coz, y otros, 1995)

Entonces,

$$T = \frac{5 * f_s * h_t * 10^6 * d * k_j}{S} + K_c$$

$$T = \frac{5 * 1 * 112.01 * 10^6 * 0.2376 * 1}{28 * 10^6} + 1 = 5.75 \text{ mm}$$

El dato obtenido del espesor teórico de la pared de la tubería de presión se comparó con el espesor asumido en el presente estudio. Por lo tanto, el espesor asumido de la tubería de presión de 6.2 mm mostrado en la Figura 14 es el más óptimo, ya que, dicho valor es mayor al espesor teórico calculado 5.75 mm.

3.1.3.7 Cálculo de la presión hidrostática en el punto de llegada a la turbina.

La presión hidrostática que ejerce el agua al punto de derivación hacia las pozas es, según el dato obtenido de la empresa Beta Consultores y Constructores SAC de 54.56kPa. Luego, el cálculo desde el punto de derivación hacia el punto de llegada a la turbina se calculó a continuación:

Para dicho cálculo se utilizó la fórmula de presión hidrostática:

$$P = \rho * g * h$$

Donde:

- P = presión (en pascales),
- ρ = densidad del fluido = Para el agua, aproximadamente 1000 kg/m³
- g = aceleración debida a la gravedad = 9.81 m/s²
- h = altura neta = 14.5 m

Entonces:

$$P = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 14.5 \text{ m}$$

$$P = 142.245 \text{ Pa} \approx 142.25 \text{ kPa}$$

Por lo tanto, la presión hidrostática total que ejerce el agua es:

$$142.25 \text{ kPa} + 54.56 \text{ kPa}$$

$$196.81 \text{ kPa}$$

3.1.3.8 Cálculo de la potencia a generar:

Para dicho cálculo se utilizó la ecuación de potencia efectiva:

$$P_{efectiva} = \rho \times g \times \eta_t \times \eta_g \times \eta_T \times Q \times H_n$$

Donde,

- ρ = peso específico del agua = 1 kg/m^3
- g = gravedad = 9.81 m/s^2
- η_t = rendimiento de turbina = 64%

De acuerdo a la Figura 18, los valores de eficiencia para la turbina Michell – Banki se encuentran entre 54 – 62%, sin embargo, de acuerdo al fabricante, para el presente proyecto se busca obtener una eficiencia del 64% con proyección a valores superiores.

Figura 18

Eficiencia del grupo de generación

Potencia (kW)	TIPO DE TURBINA			
	PELTON	MICHELL-BANKI	FRANCIS	AXIAL
<50	58-65%	54-62%	59-65%	58-66%
51-500	65-69	62-65	66-70	66-70
501-5000	69-73	65*	70-74	70-74

Nota: En la figura se muestran los valores para las eficiencias de distintos tipos de turbinas. Para el presente proyecto se espera obtener una eficiencia del 64% de la turbina Michell Banki seleccionado en el punto 2.2.3.9. Tomado de (Coz, y otros, 1995).

- $\eta_g = \text{rendimiento del generador} = 90\%$

Según el vendedor del generador, se espera obtener un 90% de rendimiento del generador

- $\eta_T = \text{rendimiento transmisión según la Figura 19} = 96\%$

Figura 19

Rendimiento característicos para una etapa de las transmisiones

Transmisiones dentadas	99%
Transmisiones por cadena	97 - 97%
T. por correa plana	95 - 97%
T. por correa trapezoidal	96%
T. por tornillo sin fin	75 - 90%

Nota: De acuerdo a la figura 19, se muestran las eficiencias para cada tipo de transmisión. En este caso, la transmisión se realizará a través de correa trapezoidales de acuerdo al punto 2.2.3.11. Tomado de (Coz, y otros, 1995)

- $Q = \text{caudal de diseño} = 0.1212 \text{ m}^3/\text{s}$
- $H_n = \text{Altura neta} = 14.5 \text{ m}$

Entonces, se obtuvo la potencia efectiva del grupo hidrogenerador:

$$P_{\text{efectiva}} = 1 * 9.81 * 0.64 * 0.90 * 0.96 * 0.1212 * 14.5$$

$$P_{\text{efectiva}} = 9.53 \text{ kW}$$

3.1.3.9 Cálculo de la máxima demanda:

En esta sección se calculó la máxima demanda real y la máxima demanda proyectada, obteniendo los siguientes resultados:

El desarrollo de la máxima demanda real los equipos están descritos en la Tabla 7, teniendo en cuenta el factor de simultaneidad para obtener la máxima demanda.

El desarrollo de la máxima demanda proyectada se muestra en la tabla 8.

Tabla 7

Potencia de cada equipo para el cálculo de la máxima demanda real

MAXIMA DEMANDA REAL							
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	POTENCIA PLACA(kW)	DEMANDA (kW)	FACTOR DE SIMULTANIEDAD	MAXIMA DEMANDA (kW)
1.00	Reflectores	Equipo	5	0.20	1.00	0.50	0.50
2.00	Luminarias Vna	Equipo	5	0.07	0.35	1.00	0.35
2.00	Aireador tipo splash (0.5 HP) Monofásico	Equipo	2	0.37	0.75	1.00	0.75
3.00	Aireador tipo splash (1.5 HP) Monofásico	Equipo	2	1.12	2.24	1.00	2.24
4.00	Aireador tipo splash (2 HP) Monofásico	Equipo	1	1.49	1.49	1.00	1.49
5.00	Luces de Emergencia	Equipo	2	0.02	0.04	1.00	0.04
6.00	Focos Led	Unidad	10	0.02	0.20	0.50	0.10
TOTAL					6.06		5.46

Tabla 8

Potencia de cada equipo para el cálculo de la máxima demanda proyectada

MAXIMA DEMANDA PROYECTADO (PROCESAMIENTO Y RESTAURANTE)							
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	POTENCIA PLACA(kW)	DEMANDA (kW)	FACTOR DE SIMULTANIEDAD	MAXIMA DEMANDA (kW)
1.00	Congeladoras	Equipo	3	0.30	0.90	1.00	0.90
2.00	Refrigeradoras	Equipo	3	0.25	0.75	1.00	0.75
3.00	Frio bar	Equipo	1	0.15	0.15	1.00	0.15
4.00	Televisor	Equipo	2	0.15	0.30	0.70	0.21
5.00	Equipo de sonido	Equipo	1	2.00	2.00	0.70	1.40
6.00	Horno microondas	Equipo	1	2.00	2.00	0.30	0.60
TOTAL					6.10		4.01

Por lo tanto, la microcentral con una capacidad de generación de 9.53 kW, pudo satisfacer la demanda real de 5.46kW que la empresa requirió para la crianza de trucha. Asimismo, se obtuvo una reserva de 4.07kW para futuras conexiones con respecto a la máxima demanda proyectada de 4.01 kW.

3.1.3.10 Selección de la turbina hidráulica

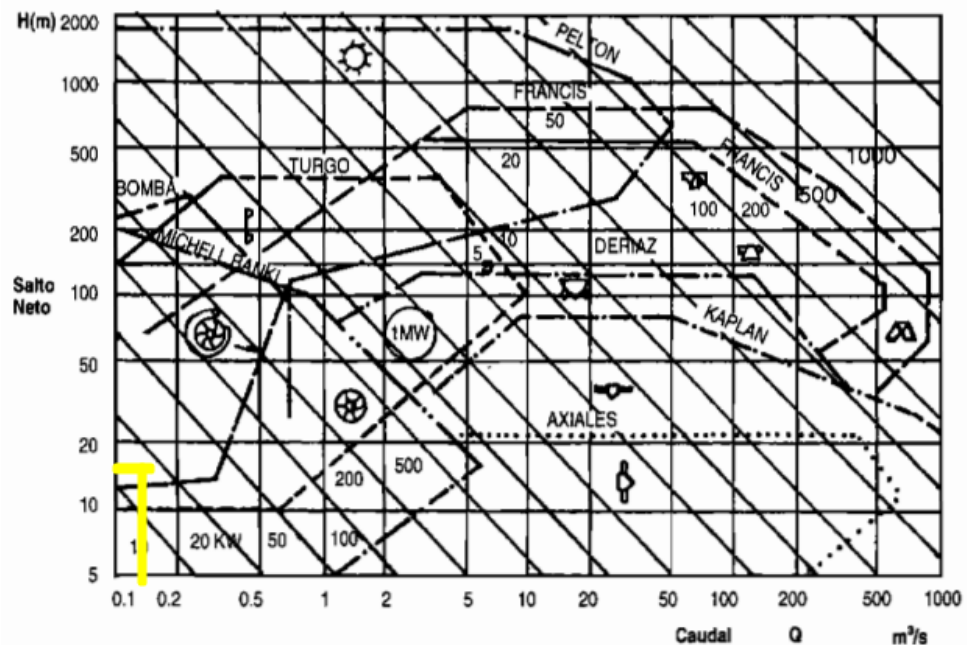
Para la selección de la turbina hidráulica se recopiló datos en campo de:

- La altura neta: 14.5m
- Caudal de diseño: 121.2 l/s = 0.1212 m³/s

Dicha altura ayudará a que el caudal caiga con una determinada presión de tal manera que haga girar el rotor de la turbina, así, la turbina recibe la potencia cinética y a través de los demás mecanismos, transforma esa energía en energía eléctrica. En la Figura 20, se selecciona el tipo de turbina partiendo de los datos mencionados anteriormente:

Figura 20

Parámetros para la selección de turbinas hidráulicas



Nota: En la figura se muestran un diagrama con la relación Salto neto y Caudal para establecer el tipo de turbina. En este caso se optó por la turbina Michel Banki. Tomado de (Coz, y otros, 1995).

En ese sentido, la turbina Michell – Banki, suele operar con grandes saltos y caudales relativamente bajos, siendo la necesaria para la potencia de 9.53 kW que se estimó en el diseño de la micro central hidroeléctrica.

3.1.3.11 Validación hidráulica de la Turbina Michell-Banki adquirida

El funcionamiento de la turbina Michell Banki se basa en que, la turbina recibe el chorro de agua con una determinada velocidad regulada por el inyector y esto hace que se produzca el primer impulso en los álabes del rodete para después, atravesar su interior, y dar un segundo impulso antes de salir en dirección de la descarga de la turbina.

Con el objetivo de verificar el comportamiento hidráulico de la turbina adquirida, se llevó a cabo la validación hidráulica utilizando datos de campo obtenidos en la zona de estudio. Este procedimiento consistió en la ejecución de cálculos hidráulicos, establecidos en el Manual de diseño, (...) para pequeñas centrales hidráulicas Michell Banki, considerando altura neta y caudal de diseño, con el fin de comparar las condiciones teóricas de diseño con el desempeño esperado de la turbina en operación.

3.1.3.11.1 Velocidad tangencial:

$$u_1 = 2.214k_c\sqrt{H} * \cos\alpha_1$$

Donde,

- $\alpha_1 = 16.102^\circ =$
ángulo asumido de valores determinados en la Tabla 9

Tabla 9

Variación del ángulo α_1

α_1	β_1
15.0	28.18
15.2	28.51
15.4	28.85
15.6	29.17
15.8	29.50
15.9	29.67
16	29.83
16.1	29.99
16.102	30.00
16.2	30.15
16.4	30.48
16.6	30.80
16.8	31.12
17	31.44

Nota: Se observa en la tabla, valores de variaciones de distintos ángulos. Tomado de (Marchegiani, s.f.)

Por lo tanto, la velocidad tangencial es:

$$u_1 = 2.214 * 0.95 * \sqrt{14.5} * \cos(16.102^\circ)$$

$$u_1 = 7.69 \text{ m/s}$$

Asimismo, el ángulo del álabe de acuerdo a la Tabla 9 es:

$$\beta_1 = 30^\circ$$

3.1.3.11.2 Velocidad relativa en la entrada del rotor

$$w_1 = 4.429 * k_c * \sqrt{H} * \frac{\text{sen}\alpha_1}{\text{sen}(180^\circ - \beta_1)}$$

Donde,

- $\alpha_1 = 16.102^\circ$
- $\beta_1 = 30^\circ$

Resolviendo:

$$w_1 = 4.429 * k_c * \sqrt{H} * \frac{\text{sen}16.102^\circ}{\text{sen}(180^\circ - 30^\circ)}$$

$$w_1 = 2.457 * 0.98 * \sqrt{14.5}$$

$$w_1 = 9.17 \text{ m/s}$$

3.1.3.11.3 Selección del diámetro y velocidad de giro de la turbina

Los diámetros que se usan frecuentemente para saber la velocidad de giro de la turbina, son los que se encuentran estandarizados en los diagramas. Por lo tanto, para obtener un rendimiento hidráulico adecuado se optó por utilizar el siguiente diámetro:

$$D = 0.35 \text{ m}$$

Ahora, al tener el diámetro seleccionado se procede a calcular la velocidad de giro la cual, está basada en la ecuación:

$$N = 40.62 * k_c * \frac{\sqrt{H_N}}{D}$$

$$N = 419.84 \approx 420 \text{ RPM}$$

3.1.3.11.4 Cálculo del diámetro exterior e interior del rodete

Diámetro exterior:

$$De = \frac{39 * \sqrt{H}}{N} = \frac{39 * \sqrt{14.5}}{419.84}$$

$$De = 0.35 \text{ m}$$

Diámetro interior:

$$Di = 0.66 * De$$

$$Di = 0.23 \text{ m}$$

Radio de curvatura de los álabes del rodete:

$$r = 0.163 * De$$

$$r = 0.06 \text{ m}$$

Diámetro máximo del eje que atraviesa el rodete:

$$d = 0.328 * De$$

$$d = 0.12 \text{ m}$$

3.1.3.11.5 Cálculo del ancho del inyector

$$B = \frac{Q}{De\sqrt{\pi H} * \theta}$$

Donde,

- $\theta = factor = 0.33$
- $H = \text{Altura neta} = 14.5 \text{ m}$
- $Q = \text{Caudal} = 0.1212 \text{ m}^3/\text{s}$

Entonces:

$$B = \frac{0.1212}{0.35 * \sqrt{\pi * 14.5} * 0.33}$$

$$B = 0.16 \text{ m}$$

Ángulo del inyector:

El ángulo del inyector comúnmente se encuentra entre 15° y 20 °, para el diseño será de 16°, valor óptimo para el ingreso del chorro al rodete.

Espesor del chorro:

$$a = Ka * De$$

Ka, dependerá del ángulo del inyector y el ángulo de admisión de 60°. El cual, para el ángulo del inyector, $\alpha_1 = 16^\circ$ se toma de la Tabla 10 el siguiente valor:

Tabla 10

Valores para el coeficiente Ka

θ°	60°	90°	120°
Ka	0.1443	0.2164	0.2886

Nota: En la tabla se muestra los valores para el coeficiente Ka que dependen del ángulo de admisión y el ángulo del inyector. Tomado de (Coz, y otros, 1995)

$$a = 0.1443 * 0.35$$

$$a = 0.05 \text{ m}$$

3.1.3.11.6 Cálculo del ancho del rodete

$$Br = 1.25 * B$$

$$Br = 0.2 \text{ m}$$

3.1.3.11.7 Número de álabes del rodete

El número de álabes dependerá al diámetro del rodete y el funcionamiento de la turbina. En este diseño, para conseguir un mejor rendimiento de la turbina y evitar movimientos bruscos o aceleraciones desproporcionadas el número adecuado de álabes será de 26.

Al realizar la validación de los datos hidráulicos de la turbina Michell Banki, se muestra en la Tabla 11, un resumen de dichos datos obtenidos anteriormente.

Tabla 11*Resumen de datos de validación hidráulica de la turbina Michell-Banki*

VALIDACIÓN HIDRÁULICA DE LA TURBINA MICHELL BANKI			
ÍTEM	Descripción	Valor	Unidad
1	Ángulo relativo en la entrada del rotor	16.1 °	
2	Diámetro de giro de la turbina	0.35	m
3	Velocidad de giro de la turbina	420	RPM
4	Diámetro exterior del rodete	0.35	m
5	Diámetro interior del rodete	0.23	m
6	Diámetro máximo del eje que atraviesa el rodete	0.12	m
7	Ancho del inyector	0.16	m
8	Ancho del rodete	0.2	m
9	Ángulo del inyector	16 °	
10	Espesor del chorro	0.05	m
11	Número de álabes del rodete	26	

3.1.3.12 *Cálculo del sistema de transmisión:*

En este punto se desarrolló el cálculo del sistema de transmisión por bandas trapezoidales utilizando el procedimiento de cálculo de transmisiones por fajas en V especiales (Alva, 2008).

Datos:

- Velocidad del eje de la turbina: 420 RPM
- Velocidad del eje del generador eléctrico: 1800 RPM

Potencia de diseño: Se multiplica la potencia a transmitir por el factor de servicio dado en la Tabla 12. La línea azul detallada en la tabla mencionada, hace referencia a las líneas de ejes o ejes de transmisión y su factor de potencia 1.3. Según Alva (2008), para una máquina que va a trabajar 24 hr del día, a dicho factor se le suma 0.1. Teniendo un factor de potencia de 1.4.

Potencia de diseño: 9.53 kW

Factor de potencia: 1.4

Tabla 12

Factores de servicio para transmisión por fajas en V

MAQUINAS MOVIDAS	CLASE 1	CLASE 2
Agitadores de líquidos:	1,1	1,2
Agitadores de semilíquidos	1,2	1,3
Batidoras en la industria papelera	1,3	1,5
Bombas centrífugas	1,1	1,2
Bombas reciprocantes.....	1,3	1,5
Bombas rotativas de desplazamiento positivo	1,2	1,3
Chancadoras de mandíbula de rodillos giratorios.	1,4	1,6
Compresoras centrífugas	1,1	1,2
Compresoras reciprocantes	1,3	1,5
Cribas giratorias.....	1,3	1,5
Elevadores de cangilones	1,3	1,5
Excitadores	1,3	1,5
Extractores	1,1	1,2
Generadores	1,2	1,3
<u>Líneas de ejes (ejes de transmisión)</u>	<u>1,2</u>	<u>1,3</u>
Maquinaria de imprenta	1,2	1,3
Maquinarias de lavandería	1,2	1,3
Maquinaria para aserraderos	1,3	1,5
Maquinaria para fabricación de ladrillos	1,3	1,5
Maquinaria para fabricación de cauchos:		
calandrias, mezcladoras, extrusores	1,4	1,6
Maquinaria textil	1,3	1,5
Máquinas herramientas	1,2	1,3
Mezcladoras de masa en la industria panificadoras	1,2	1,3
Molino de barras, de bolas, de tubos	1,4	1,6
Molinos de martillos	1,3	1,5
Prensas punzadoras.....	1,2	1,3
Pulverizadores	1,3	1,5
Sopladores	1,1	1,2
Sopladores de desplazamiento positivo	1,3	1,5
Transportadores de artesas, de paletas, de tornillo	1,3	1,5
Transportadores de fajas para arenas granos, etc	1,2	1,3
Transportadores para trabajos livianos	1,1	1,2
Ventiladores hasta 10 HP	1,1	1,2
Ventiladores mayores de 10 HP	1,2	1,3
Winches, montacargas, elevadores	1,4	1,6
Zarandas vibratorias	1,2	1,3

Nota: En la tabla se muestran los valores para distintas máquinas movidas con su tipo de clase. Tomado de (Alva, 2008).

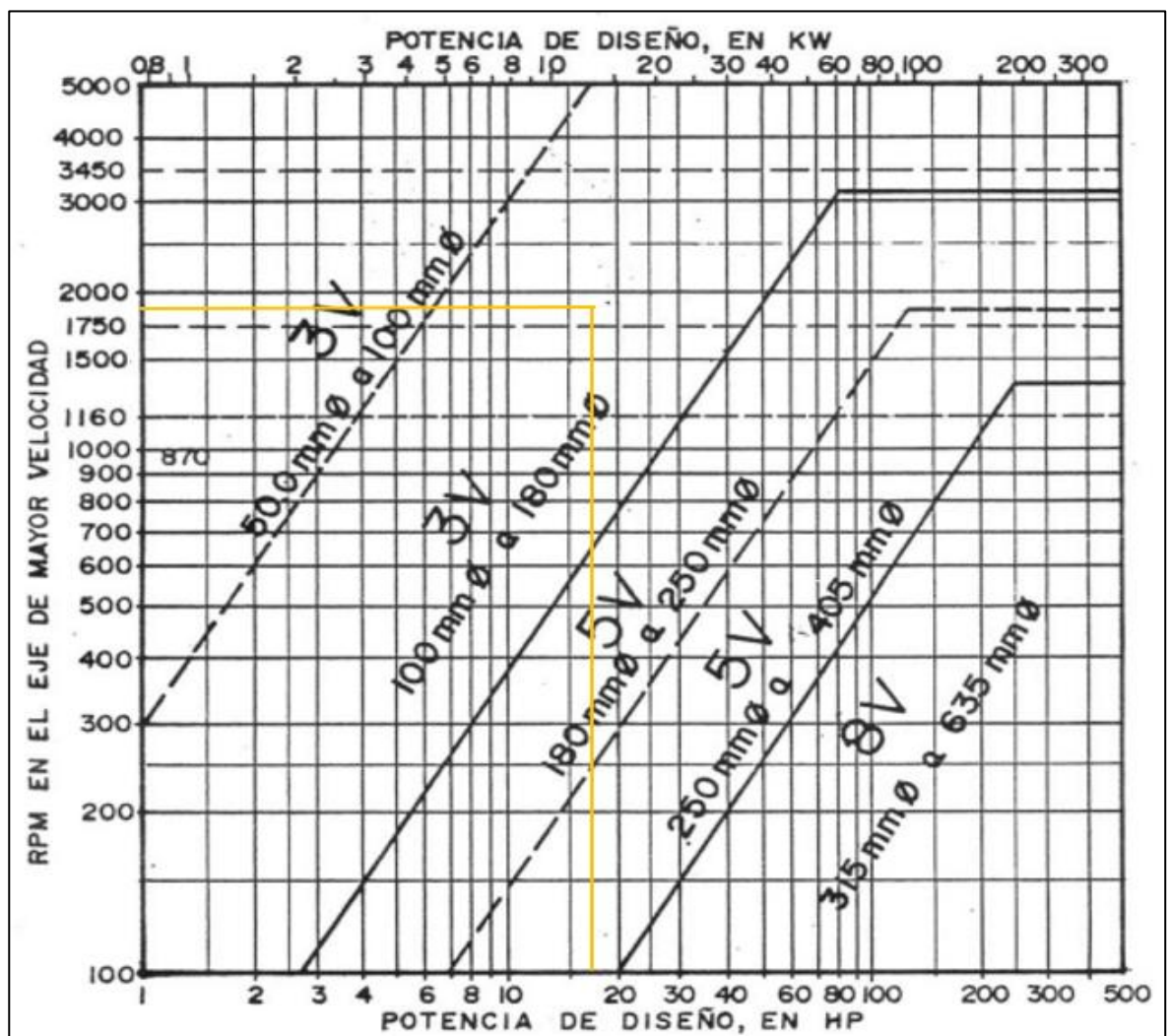
Así, se obtiene una potencia de diseño de:

$$P_d = 9.53 * 1.4 = 13.34 \text{ kW} = 17.88 \text{ hp}$$

Selección de la sección de la faja: Se utilizará la Figura 21 y en base a la potencia de diseño, 17.86 HP y a la velocidad del eje más rápido, 1800 rpm, se determinará la sección de la faja a usar, si la intersección cae en una zona muy cercana a una de las líneas de división entre dos secciones de fajas, se podría estudiar las posibilidades de utilización de cualquiera de las dos fajas.

Figura 21

Selección de la sección de la faja en V



Nota: En la figura se muestran los diferentes tipos de sección de faja, los cuales, dependen de la relación entre el RPM en el eje mayor y la potencia de diseño.
Tomado de (Alva, 2008)

La sección de faja que se determinó es la 3V, con diámetros de 100 mm a 180 mm.

Relación de transmisión: Se calculó, dividiendo las RPM del eje más rápido entre las RPM del eje de menor velocidad.

$$r = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow \frac{1800}{420} = 4.3$$

Selección de los diámetros exteriores estándares de las poleas: Teniendo en cuenta los diámetros exteriores recomendados y mínimos de la polea menor tamaño de la Tabla 13, escoger de la Tabla 14, de primera intención, los diámetros estándares de las poleas. Se determinó los diámetros de paso de las poleas de acuerdo a lo estipulado en la Tabla 13.

Tabla 13

Secciones de fajas y diámetros exteriores mínimos y recomendados de poleas

SECCION	ANCHO mm.	ESPESOR mm.	DIAMETRO EXTERIOR DE LA POLEA, en mm.		DIFERENCIA ENTRE LOS DIAMETROS EXTERIOR Y DE PASO DE LA POLEA, en mm.
			MINIMO	RECOMENDADO	
3 V	9,5	7,9	66	67 – 175	1,27
5 V	15,9	13,5	178	180 – 406	2,54
8 V	25,4	23,0	318	318 – 569	5,08

Nota: En la tabla se muestra las secciones y diámetros para cada tipo de sección de faja. Tomado de (Alva, 2008).

Los diámetros recomendados para la polea de menor tamaño serán de 67 a 175 mm, y como mínimo 66.

Convirtiendo a pulgadas se tendría que:

Diámetro recomendado: 67 a 175 mm = 2.64 a 6.9 pulg.

Mínimo: 66 mm = 2.6 pulg.

Dif. Entre los diámetros exterior y de paso de la polea: 1.27 mm = 0.05 pulg

Por lo tanto, se escogerá en la Tabla 14, los diámetros estándares de diseño.

Tabla 14

Diámetros exteriores estándares para fajas especiales

SECCION 3V		SECCION 5V		SECCION 8V	
1 – 4 canales	1 – 10* canales	2 – 10* canales		4 – 10* canales	
2,65"	4,75"	7,1"+	12,5"	12,5"	20,0"
2,8"	5,0"	7,5"+	13,2"	13,2"	21,2"
3,0"	5,3"	8,0"	14,0"	14,0"	22,4"
3,5"	5,6"	8,5"	15,0"	15,0"	30,0"
3,35"	6,0"	9,0"	16,0"	16,0"	40,0"
3,65"	6,5"	9,25"	21,2"	17,0"	53,0"
4,12"	6,9"	9,75"	28,0"	18,0"	71,0"
4,5"	8,0"	10,3"	37,5"	19,0"	
	10,6"	10,9"	50,0"		
	14,0"	11,8"	67,0"		
	19,0"				
	25,0"				
	35,5"				

** No se disponen poleas de 7 y 9 canales*

+ Se disponen de 2 a 8 canales

Nota: En la tabla se muestran los valores de diámetros según el tipo de sección de faja. Tomado de (Alva, 2008)

La medida de la polea de menor diámetro exterior, será 4.75 pulg.,

Por lo tanto, la medida de la polea de mayor diámetro exterior, será

$$D_p = 4.75 * r = 4.75 * 4.3 = 20.4 \text{ pulg}$$

Pero, se elige de la Tabla 14, el diámetro estándar de diseño, la cual, será 19 pulg.

$$d_p = 4.75 \text{ pulg}, D_p = 20.4 \text{ pulg}.$$

Cálculo de la velocidad de la faja por medio de la expresión:

$$v = \frac{\pi * d_p n_p}{12}$$

De donde:

V = Velocidad tangencial en pies/min

dp= Diámetro de paso de la polea menor en pulg

np= Número de RPM del eje más rápido

Se debe tener: $V \leq 6\,500$ pies/min

$$v = \frac{\pi * 4.75 * 1800}{12} = 2238.39 \text{ pies/min}.$$

Por lo tanto, sí cumple.

Selección de la longitud estándar de la faja: Asumir en forma tentativa una distancia entre centros. En caso que no exista restricción de ella, se puede tomar el mayor valor de las siguientes expresiones:

$$C \geq \frac{D + 3d}{2}; C \geq D$$

Siendo:

D = Diámetro de paso de la polea mayor

d = Diámetro de paso de la polea menor

Resolviendo:

$$C \geq \frac{19 + (3 * 4.75)}{2} =; C \geq D$$

$$C = 16.62$$

Al no cumplir con la condición, se asume C, como 30 pulg., para poder tener datos estándares de diseño.

Cálculo de la longitud aproximada de la faja utilizando la fórmula:

$$L = 2C + 1.65x(D + d)$$

$$L = 2 * 30 + 1.65 * (19 + 4.75)$$

$$L = 99.19 \text{ pulg}$$

Se escoge de la Tabla 14 la longitud estándar más próxima a la calculada. Se calcula la distancia entre centros correcta por medio de la expresión:

$$L_{real} = 2C + \frac{\pi}{2}(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4C}$$

$$100 = 2C + \frac{\pi}{2}(19 + 4.75) + \frac{(19 - 4.75)^2}{4C}$$

$$C = 30.51 \text{ pulg.}$$

Potencia por faja: Se calcula la relación (D - d) / C y de la Tabla 15, para determinar el factor de corrección por ángulo de contacto, "K θ ".

$$\frac{D - d}{C} = \frac{19 - 4.75}{30.51} = 0.47$$

Tabla 15

Factor por ángulo de contacto

$\frac{D-d}{C}$	θ°	K_θ
0,00	180	1,00
0,10	174	0,99
0,20	169	0,97
0,30	163	0,96
0,40	157	0,94
0,50	151	0,93
0,60	145	0,91
0,70	139	0,89
0,80	133	0,87
0,90	127	0,85
1,00	120	0,82
1,10	113	0,80
1,20	106	0,77
1,30	99	0,73
1,40	91	0,70
1,50	83	0,65

Nota: En la tabla se muestra los valores para el factor de corrección. Tomado de (Alva, 2008).

Se tabula el valor menor y mayor a 0.47.

0.467		
LIMITE SUPERIOR	0.4	0.94
LIMITE INFERIOR	0.5	0.93
Kθ	0.933	

Por lo tanto, se obtiene como resultado, que el factor de corrección por ángulo de contacto es 0.933.

Utilizando la Tabla 16, se determina el factor de corrección por longitud de faja "KL". Con los valores de los RPM del eje más rápido del diámetro exterior de la polea menor y de la sección de la faja, se determina la potencia que puede transmitir la faja seleccionada, haciendo uso de las tablas de potencia correspondiente (Tabla 17). Utilizando la Tabla 18, en base a la relación de transmisión y sección de la faja, determine la potencia adicional y luego, multiplicar este valor por las RPM del eje más rápido y dividirlo entre 100.

Tabla 16

Longitud de faja y factor por longitud de faja

SECCION 3V			SECCION 5V			SECCION 8V		
FAJA N°	LONG FAJA PULG	K_L	FAJA N°	LONG FAJA PULG	K_L	FAJA N°	LONG FAJA PULG	K_L
3V250	25,0	0,83	5V500	50,0	0,85	8V1000	100.	0,87
3V265	26,5	0,84	5V530	53,0	0,86	8V1060	106.	0,88
3V280	28,0	0,85	5V560	56,0	0,87	8V1120	112.	0,88
3V300	30,0	0,86	5V600	60,0	0,88	8V1180	118.	0,89
3V315	31,5	0,87	5V630	63,0	0,89	8V1250	125.	0,90
3V335	33,5	0,88	5V670	67,0	0,90	8V1320	132.	0,91
3V355	35,5	0,89	5V710	71,0	0,91	8V1400	140.	0,92
3V375	37,5	0,90	5V750	75,0	0,92	8V1500	150.	0,93
3V400	40,0	0,92	5V800	80,0	0,93	8V1600	160.	0,94
3V425	42,5	0,93	5V850	85,0	0,94	8V1700	170.	0,94
3V450	45,0	0,94	5V900	90,0	0,95	8V1800	180.	0,95
3V475	47,5	0,95	5V950	95,0	0,96	8V1900	190.	0,96
3V500	50,0	0,96	5V1000	100.	0,96	8V2000	200.	0,97
3V530	53,0	0,97	5V1060	106.	0,97	8V2120	212.	0,98
3V560	56,0	0,98	5V1120	112.	0,98	8V2240	224.	0,98
3V600	60,0	0,99	5V1180	118.	0,99	8V2360	236.	0,99
3V630	63,0	1,00	5V1250	125.	1,00	8V2500	250.	1,00
3V670	67,0	1,01	5V1320	132.	1,01	8V2650	265.	1,01
3V710	71,0	1,02	5V1400	140.	1,02	8V2800	280.	1,02
3V750	75,0	1,03	5V1500	150.	1,03	8V3000	300.	1,03
3V800	80,0	1,04	5V1600	160.	1,04	8V3150	315.	1,03
3V850	85,0	1,06	5V1700	170.	1,05	8V3350	335.	1,04
3V900	90,0	1,07	5V1800	180.	1,06	8V3550	355.	1,05
3V950	95,0	1,08	5V1900	190.	1,07	8V3750	375.	1,06
3V1000	100.	1,09	5V2000	200.	1,08	8V4000	400.	1,07
3V1060	106.	1,10	5V2120	212.	1,09	8V4250	425.	1,08
3V1120	112.	1,11	5V2240	224.	1,09	8V4500	450.	1,09
3V1180	118.	1,12	5V2360	236.	1,10	8V4750	475.	1,09
3V1250	125.	1,13	5V2500	250.	1,11	8V5000	500.	1,10
3V1320	132.	1,14	5V2650	265.	1,12			
3V1400	140.	1,15	5V2800	280.	1,13			
			5V3000	300.	1,14			
			5V3150	315.	1,15			
			5V3350	335.	1,16			
			5V3550	355.	1,17			

Tabulación izqu

Nota: En la tabla se muestran los valores para las longitudes y su factor dependiente del tipo de sección de faja. Tomado de (Alva, 2008).

Los datos seleccionados son:

FAJA N°	LOG FAJA PULG.	K_L
3V1000	100	1.09

Tabla 17

Potencia que pueden transmitir las fajas sección 3V

RPM EJE RAPIDO	HP POR FAJA REFERIDO A LA POLEA DE DIAMETRO EXTERIOR MENOR (PULGS) DE:										
	4,20	4,40	4,50	4,60	4,75	4,80	5,00	5,20	5,30	5,40	5,60
690	1,90	2,04	2,11	2,18	2,29	2,33	2,47	2,61	2,68	2,75	2,89
870	2,32	2,50	2,59	2,68	2,81	2,85	3,03	3,20	3,29	3,38	3,55
1160	2,98	3,21	3,33	3,44	3,61	3,67	3,89	4,12	4,23	4,34	4,57
1750	4,23	4,56	4,72	4,88	5,12	5,21	5,53	5,85	6,00	6,16	6,48
3450	7,14	7,68	7,95	8,21	8,61	8,73	9,24	9,74	9,98	10,2	10,7
100	0,34	0,36	0,37	0,38	0,40	0,41	0,43	0,46	0,47	0,48	0,50
200	0,63	0,68	0,70	0,72	0,75	0,77	0,81	0,86	0,88	0,90	0,95
300	0,91	0,97	1,01	1,04	1,09	0,10	1,17	1,24	1,27	1,30	1,37
400	1,17	1,26	1,30	1,34	1,41	1,43	1,52	1,60	1,64	1,69	1,77
500	1,43	1,53	1,59	1,64	1,72	1,75	1,85	1,96	2,01	2,06	2,17
600	1,68	1,80	1,87	1,93	2,02	2,05	2,18	2,30	2,37	2,43	2,55
700	1,92	2,07	2,14	2,21	2,32	2,36	2,50	2,64	2,71	2,78	2,93
800	2,16	2,32	2,41	2,49	2,61	2,65	2,81	2,97	3,05	3,14	3,30
900	2,39	2,58	2,67	2,76	2,89	2,94	3,12	3,30	3,39	3,48	3,66
1000	2,62	2,82	2,92	3,02	3,17	3,22	3,42	3,62	3,72	3,82	4,01
1100	2,85	3,07	3,18	3,29	3,45	3,50	3,72	3,93	4,04	4,15	4,36
1200	3,07	3,31	3,43	3,54	3,72	3,78	4,01	4,24	4,36	4,47	4,70
1300	3,29	3,54	3,67	3,80	3,98	4,05	4,30	4,55	4,67	4,79	5,04
1400	3,50	3,77	3,91	4,04	4,25	4,31	4,58	4,84	4,98	5,11	5,37
1500	3,71	4,00	4,15	4,29	4,50	4,57	4,86	5,14	5,28	5,42	5,69
1600	3,92	4,23	4,38	4,53	4,75	4,83	5,13	5,42	5,57	5,72	6,01
1700	4,13	4,45	4,61	4,77	5,00	5,08	5,40	5,71	5,86,15	6,02	6,32
1800	4,33	4,66	4,83	5,00	5,25	5,33	5,66	5,98	6,43	6,31	6,63
1900	4,52	4,88	5,05	5,23	5,49	5,57	5,92	6,26	6,70	6,59	6,93
2000	4,72	5,09	5,27	5,45	5,72	5,81	6,17	6,52		6,87	7,22
2100	4,91	5,29	5,48	5,67	5,95	6,04	6,42	6,78	6,97	7,15	7,51
2200	5,10	5,49	5,69	5,89	6,18	6,27	6,66	7,04	7,23	7,42	7,79
2300	5,28	5,69	5,89	6,10	6,40	6,50	6,90	7,29	7,49	7,68	8,06
2400	5,46	5,88	6,10	6,30	6,62	6,72	7,13	7,54	7,98	7,94	8,33
2500	5,64	6,08	6,29	6,51	6,83	6,94	7,36	7,77		8,19	8,59
2600	5,81	6,26	6,48	6,71	7,04	7,15	7,58	8,01	8,22	8,45	8,85
2700	5,98	6,44	6,67	6,90	7,24	7,35	7,80	8,24	8,45	8,67	9,09
2800	6,15	6,62	6,86	7,09	7,44	7,55	8,01	8,46	8,68	8,90	9,33
2900	6,31	6,80	7,04	7,28	7,63	7,75	8,21	8,67	8,90	9,12	9,56
3000	6,47	6,97	7,21	7,46	7,82	7,94	8,42	8,88	9,11	9,34	9,79
3100	6,62	7,13	7,39	7,63	8,00	8,13	8,61	9,08	9,32	9,55	10,0
3200	6,78	7,30	7,55	7,81	8,18	8,31	8,80	9,28	9,52	9,75	10,2
3300	6,92	7,45	7,71	7,97	8,36	8,48	8,98	9,47	9,71	9,95	10,4
3400	7,07	7,61	7,87	8,13	8,52	8,65	9,16	9,65	9,89	10,1	10,6
3500	7,21	7,76	8,02	8,29	8,69	8,82	9,33	9,83	10,1	10,3	10,8
3600	7,34	7,90	8,17	8,44	8,84	8,97	9,49	10,0	10,2	10,5	11,0
3700	7,47	8,04	8,32	8,59	8,99	9,13	9,65	10,2	10,4	10,6	11,1
3800	7,60	8,17	8,45	8,73	9,14	9,27	9,80	10,3	10,6	10,8	11,3
3900	7,73	8,30	8,59	8,87	9,28	9,41	9,94	10,5	10,7	11,0	11,4
4000	7,85	8,43	8,72	9,00	9,41	9,55	10,1	10,6	10,8	11,1	11,6
4100	7,96	8,55	8,84	9,12	9,54	9,68	10,2	10,7	11,0	11,2	11,7
4200	8,07	8,67	8,96	9,24	9,66	9,80	10,3	10,9	11,1	11,3	11,8
4300	8,18	8,78	9,07	9,36	9,78	9,91	10,5	11,0	11,3	11,5	11,9
4400	8,28	8,88	9,17	9,46	9,89	10,0	10,6	11,1	11,4	11,6	12,0
4500	8,37	8,98	9,28	9,56	9,99	10,1	10,7	11,2	11,5	11,7	12,1
4600	8,47	9,08	9,37	9,66	10,1	10,2	10,8	11,3	11,6	11,7	12,2
4700	8,55	9,17	9,46	9,75	10,2	10,3	10,8	11,3	11,7	11,8	12,3
4800	8,64	9,25	9,54	9,83	10,3	10,4	10,9	11,4	11,7	11,9	
4900	8,71	9,33	9,62	9,91	10,3	10,5	11,0	11,5	11,8	11,9	
5000	8,79	9,40	9,69	9,98	10,4	10,5	11,0	11,5	12,0		

Nota: En la tabla se muestra los valores de potencia que pueden transmitir las fajas.

Tomado de (Alva, 2008).

Por lo tanto, mediante la línea amarilla, se selecciona una potencia de 5.25 HP, que podría transmitir por faja referido a la polea de diámetro exterior menor.

Tabla 18

Potencia adicional por relación de transmisión

RELACION DE TRANSMISION	SECCION 3V	SECCION 5V	SECCION 8V
1.00-1.01	0,00000	0,0000	0,0000
1.02-1.05	0,00181	0,0096	0,0469
1.06-1.11	0,00494	0,0262	0,1277
1.12-1.18	0,00860	0,0457	0,2227
1.19-1.26	0,01171	0,0622	0,3030
1.27-1.38	0,01419	0,0754	0,3673
1.39-1.57	0,16630	0,0884	0,4305
1.58-1.94	0,01871	0,0994	0,4843
1.94-3.38	0,02040	0,1084	0,5279
Más de 3.38	0,02160	0,1148	0,5590

Nota: En la tabla 18 muestran los valores para el cálculo de la potencia adicional dependiente de la relación de transmisión y el tipo de sección de faja. Tomado de (Alva, 2008)

Se observa en la Tabla 18, a través de los recuadros rojos, que la relación de transmisión será más de 3.38, y la sección 3V, 0.02160.

$$Potencia\ adicional = 0.0216 * \frac{1800}{100} = 0.389\ HP$$

Finalmente, la potencia por faja será:

$$\frac{HP}{Faja} = \left[\left(\frac{HP}{Faja} \right)_{tabla} + HP_{adicional} \right] * (K_{\theta} K_L).$$

$$\frac{HP}{Faja} = (5.25 + 0.389) * 0.933 * 1.09$$

$$\frac{HP}{Faja} = 5.735\ HP$$

Número de fajas: Se divide la potencia de diseño entre la potencia por faja.

$$\frac{17.89}{5.734} = 3.12 \text{ fajas}$$

Por lo tanto, se escoge para sistema de transmisión, 3 fajas para el diseño.

Cálculo de medidas para el diseño de la polea:

De la Tabla 19 se seleccionará los parámetros correspondientes, de acuerdo a los datos calculados anteriormente.

Tabla 19

Dimensiones de canales de poleas para fajas en V especiales

SECCION	DIAMETRO EXTERIOR PULGS	α°	b PULGS	h PULGS	a PULGS	S PULGS	m PULGS
3V	Menos de 3,50	36°	0,350	0,350	0,025	13/32	11/32
	<u>3,50 a 6,00</u>	<u>38°</u>					
	6,01 a 12,0	40°					
	Más de 12,0	42°					
5V	Menos de 10,0	38°	0,600	0,600	0,050	11/16	1/2
	10,0 a 16,0	40°					
	Más de 16,0	42°					
8V	Menos de 16,0	38°	1,000	1,000	0,100	11/8	3/4
	16,0 a 22,4	40°					
	Más de 22,4	42°					

Nota: En la tabla muestran los datos para los diámetros del diseño de la polea.

Tomado de (Alva, 2008)

Por lo tanto, las medidas para el diseño de la polea serán los mostrados en la Tabla 20 y el prototipo se visualiza en la Figura 22.

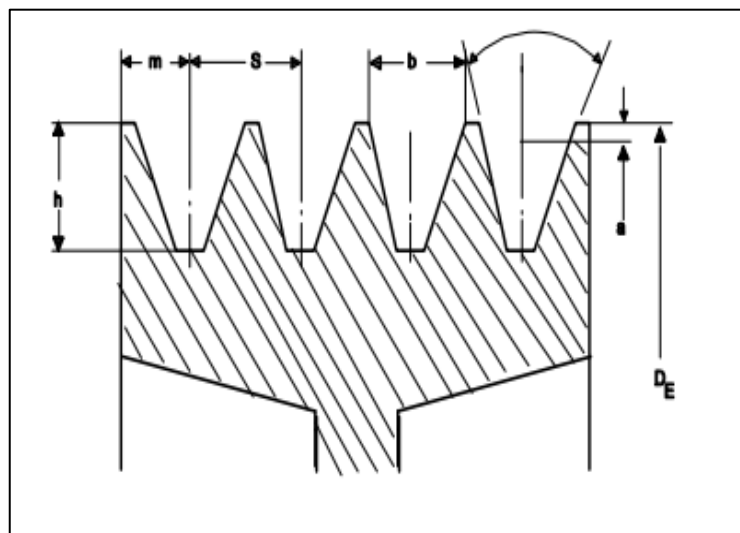
Tabla 20

Datos seleccionados para el diseño de polea

SECCION	D, ext, pulg	α°	b(pulgs)	h(pulgs)	a(pulgs)	S(pulgs)	m(pulgs)
3V	3.50 – 6.00	38	0.350	0.350	0.025	13/32	11/32

Figura 22

Prototipo de diseño de polea



Nota: En la figura se muestra un bosquejo para el diseño de la polea. Tomado de (Alva, 2008).

3.1.3.13 Selección de la sección del conductor autoportante, cable de distribución eléctrica y componentes de protección.

Conductor autoportante

El cable que se conectará del generador a los tableros de control y regulador de carga y al tablero secundario de distribución será del tipo AAAC (conductor de aleación de aluminio) cubierto.

El diseño del presente proyecto está constituido por una potencia de 10kW, sin embargo, la empresa ha proyectado a través de una turbina con mayor dimensión una potencia de 15kW. Por ello, el cálculo del conductor autoportante se establecerá a partir de la potencia proyectada, así, se evita al desmontaje y montaje de un nuevo conductor con otra sección de cable.

Cálculo de la corriente de diseño:

$$I_n = \frac{P}{V * \sqrt{3}}$$

Donde:

- I_n = corriente de diseño
- P = Potencia = 15000 W
- Voltaje = 380 V

Entonces:

$$I_n = \frac{15000}{380 * \sqrt{3}} = 22.8 \text{ A}$$

$$I_d = I_n * 1.25 = 22.8 * 1.25 = 28.5 \text{ A}$$

Cálculo de la caída de tensión permitida:

La máxima caída de tensión se establece por el tipo de sistema, en el presente proyecto se utilizará un sistema trifásico con 380 V por fase, por lo tanto, la fórmula para el cálculo es el siguiente:

$$\Delta V_{max} = 3\% * 380 = 11.4$$

Cálculo del conductor autoportante:

Dicho cálculo se establecerá a partir de la fórmula de caída de tensión:

$$\Delta V = \frac{2 * L * I * \rho}{S}$$

Reorganizando:

$$S = \frac{2 * L * I * \rho}{\Delta V}$$

Donde:

L = Longitud del conductor = 120 m

I = Corriente de diseño = 37.98 A

ρ = Resistividad del conductor de aluminio = 0.0328 Ω mm² /m

ΔV = Caída de tensión permisible = 11.4 V

Entonces,

$$S = \frac{2 * 120 * 37.98 * 0.0328}{11.4}$$

$$S = 19.68 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto, la sección del conductor autoportante para el presente proyecto es 19.68 mm², sin embargo, para una mayor seguridad y por minorar costos, se opta por un conductor comercial seleccionado de la Figura 23 de 25 mm² que soporta una corriente de 111 A.

Finalmente, se obtuvo un conductor autoportante trenzado y cubierto que se conectará vía aérea:

$$3 \times 25 \text{ mm}^2 + 1 \times 25 \text{ mm}^2$$

Figura 23

Datos técnicos del cable autoportante AAAC

CAAI 0,6/1 kV AAAC Covered Neutral without Public Lighting					
Contact Local Sales ventas.peru@nexans.com					
ELECTRICAL DATA					
Nb. of cores	Phase Cond. Cross Section [mm ²]	Neutral Cond. section [mm ²]	Max. DC Resist. Cond. 20°C [Ohm/km]	Perm current rat. Cond.Phase in air 30°C [A]	Nominal capacitance [pF/m]
1	16	25	1.91	98	354.0
1	25	25	1.2	130	401.0
1	70	50	0.443	248	492.0
2	16	25	1.91	98	354.0
2	25	25	1.2	130	401.0
2	35	25	0.868	161	483.0
2	35	50	0.868	161	483.0
2	50	35	0.641	195	417.0
2	50	50	0.641	195	417.0
2	70	50	0.443	248	492.0
3	16	25	1.91	83	354.0
3	25	25	1.2	111	401.0
3	25	35	1.2	111	401.0
3	35	25	0.868	136	483.0
3	35	50	0.868	136	483.0
3	50	35	0.641	165	417.0
3	70	50	0.443	209	492.0

*Nota: En la figura se muestran los distintos datos para un cable autoportante.
Tomado de (Indeco, 2024)*

Cable de distribución eléctrica y sus componentes de protección.

Cada aireador monofásico tendrá su propio circuito, por ello, se calculó la sección de cable para cada aireador. Asimismo, se determinó el interruptor termomagnético para cada circuito y su diferencial general.

Dicho cálculo se realizó en la plantilla de Excel mostrado en la Tabla 21, especificando los datos y las fórmulas en las celdas correspondientes. De esta manera, se tendrá una mejor organización al momento del cálculo.

Tabla 21

Plantilla Excel con la resolución de la sección del cable según datos mostrados.

SECCION DE CABLE	Potencia Placa (HP)	Potencia (W)	Voltaje (V)	Resistividad (ρ) Cu	u (caída tensión - 220 V)	Cos Φ	Longitud (m)	Corriente Nominal (In)(A) $I_n = \frac{P}{V * \cos \Phi}$	Corriente Diseño (Id)(A) $I_d = 1,25 * I_n$	Seccion de cable (S) (mm2) $S = \rho * \left(2 * I_d * \frac{L}{u} \right)$	Seccion de cable comercial(S) (mm2) ver tabla
AIREADOR	0.5	372.85	220	0.018	6.6	0.85	15	1.99	2.49	0.20	2.5
AIREADOR	1.5	1118.55	220	0.018	6.6	0.85	10	5.98	7.48	0.41	2.5
AIREADOR	2	1491.4	220	0.018	6.6	0.85	10	7.98	9.97	0.54	2.5
TOTAL INSTALADO								23.93	29.91		

De acuerdo a la Tabla mostrada anteriormente, la sección de cable comercial (S) mostrado en la Figura 24 será para cada aireador de 2.5 mm2 en ducto que soporta una corriente de 27 A en ducto y en aire 37 A.

Figura 24

Tabla de datos técnicos THW-90 (mm2)

CALIBRE CONDUCTOR	NUMERO HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (*)	
							AIRE	DUCTO
mm²		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
2.5	7	0.66	1.92	0.8	3.5	32	37	27
4	7	0.84	2.44	0.8	4.1	47	45	34
6	7	1.02	2.98	0.8	4.6	67	61	44
10	7	1.33	3.99	1.1	6.2	117	88	62
16	7	1.69	4.67	1.5	7.7	186	124	85
25	7	2.13	5.88	1.5	8.9	278	158	107
35	7	2.51	6.92	1.5	10	375	197	135
50	19	1.77	8.15	2	12.3	520	245	160
70	19	2.13	9.78	2	13.9	724	307	203
95	19	2.51	11.55	2	15.7	981	375	242
120	37	2.02	13	2.4	18	1245	437	279
150	37	2.24	14.41	2.4	19.4	1508	501	318
185	37	2.51	16.16	2.4	21.1	1866	586	361
240	37	2.87	18.51	2.4	23.5	2416	654	406
300	37	3.22	20.73	2.8	26.5	3041	767	462
400	61	2.84	23.51	2.8	29.3	3846	908	541
500	61	3.21	26.57	2.8	32.3	4862	1037	603

Nota: En la figura se muestran los datos de sección de cable dependiente del calibre del conductor y Amperaje. Tomado de (Indeco, 2024).

De esta manera, en la Tabla 21 (recuadro verde) se muestra la suma las corrientes de los 5 aireadores monofásicos para poder seleccionar el interruptor diferencial general y los interruptores termomagnéticos para cada circuito (ver Figuras 25 y 26).

Figura 25

Datos técnicos para un interruptor termomagnético bipolar

FE82/...

INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS BIPOLARES CURVA C

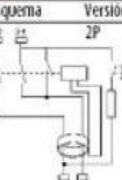
Esquema	Tipo	Nº polos	Vn (V)	Icu*	In (A)	Código
	2P	2	230/400	10kA	6	FE82/6
					10	FE82/10
					16	FE82/16
					20	FE82/20
					25	FE82/25
					32	FE82/32
					40	FE82/40
					50	FE82/50
					63	FE82/63

* 230V a.c. (IEC 60898)

Nota: En la figura se muestran los distintos amperajes para un interruptor termomagnético tipo C, bipolar. Tomado de (Bticino, S.F.)

Figura 26

Datos técnicos para interruptores diferenciales termomagnético

Interruptores diferenciales y termomagnético diferenciales						
INTERRUPTORES DIFERENCIALES						
Esquema	Version	Vn (V)	Nº polos	In (A)	Sensibilidad	Tipo AC
	2P	230/400	2	16	10 mA	GE722/16AC
				25	30 mA	GE723/25AC
				40	30 mA	GE723/40AC
				63	30 mA	GE723/63AC
				25	30 mA	G723/25AH*
				40	30 mA	G723/40AH*

Nota: En la figura se muestran los distintos amperajes y sensibilidad para un interruptor diferencial bipolar. Tomado de (Bticino, S.F.)

Por lo tanto, el Interruptor diferencial y termomagnético óptimos para el la distribución eléctrica son los mostrados en la Tabla 22.

Tabla 22

Interruptores diferencial termomagnético y termomagnético seleccionados

Selección de Diferencial Bticino (ver tabla)	Selección de ITM Bticino (ver tabla)
40 A - 30mA	C - 2x16A
	C - 2x16A
	C - 2x16A

3.1.3.14 Selección del generador eléctrico

El sistema necesitó de un generador eléctrico tipo síncrono sin escobilla con regulador de tensión, diseñado para hidroeléctricas para operar con las siguientes condiciones según los parámetros mínimos conseguidos anteriormente y mostrados en la Tabla 23:

Tabla 23

Parámetros para la selección del generador eléctrico

Características	Valores mínimos
Potencia aparente	12.5 kVA
Potencia activa	10 - 15 kW
Cos Ø	0.8
Altitud de diseño	1200 msnm
Temperatura ambiente	5°C a 25°C
Tensión nominal	220 - 380 V
Frecuencia	60 Hz
Velocidad	1800 RPM
Fases	3

3.1.3.15 *Determinar tablero de control y regulador electrónico de carga:*

El Instrumental del tablero de control y los componentes del regulador electrónico de carga se instalaron sobre dos módulos, así, las características óptimas que tiene el tablero de control se muestran en la Tabla 24:

Tabla 24

Características óptimas del tablero de control y regulador electrónico

Potencia a controlar	10 kW – 15kW
Voltaje de operación	220 - 380 V
Frecuencia de regulación	60 +/- 1Hz
Precisión de regulación	+/- 1 % máximo
Tiempo de respuesta al 10% de la pot. Nominal	250 miliseg.
Número de fases	3 fases
Potencia a disipar por resistencia	2.0 KW
Filtro contra ruidos radioeléctricos	1 tipo L – C

Además, en la Tabla 25 se muestran datos del regulador electrónico de carga:

Tabla 25

Componentes del regulador electrónico

Componentes del regulador (unidad)
Tarjeta electrónica de control principal.
Tarjeta electrónica de sincronismo de fases.
Tarjeta electrónica de disparo de los triacs de potencia.
Tarjeta electrónica de detectora de fallas y alarma del sistema
Juego de triacs de potencia
Filtro contra interferencias radioeléctricas.
Disipador de aluminio para la refrigeración de los triacs.
Sirena de 25 W, para alarma acústica en caso fallas del sistema.
Control de ajuste fino de la frecuencia (+/- 0.6Hz)
Llave termomagnética
Fusible tipo NH, con 40 Amp. de capacidad

3.1.3.16 *Determinar sistema de puesta a tierra:*

Las carcasas metálicas de todas las máquinas están conectadas a tierra convenientemente.

Se debe obtuvo una resistencia de puesta a tierra en el sistema no mayor de 10Ω .

En caso de que haya suelos de alta resistividad se procederá al tratamiento electrolítico del terreno circundante al electrodo mediante el compuesto químico LABORGEL, SANICKGEL o similar.

3.1.3.16.1 **Conductor de puesta a tierra:**

Es de cobre electrolítico de 99.99% de pureza, conductibilidad 100% IACS. Cableado concéntrico, temple blando, desnudo, fabricado bajo las Normas ITINTEC P-370-220. P-370-223, DGE-019-CA-2/83 y sus características se muestra en la Tabla 26

Según el punto 2.2.3.12 la corriente de diseño del presente proyecto es de 28.5 A y de acuerdo a la Figura 27, la sección del conductor de cobre de puesta a tierra es de 10 mm²

Figura 27

Sección mínima de conductores de tierra para sistemas de corriente alterna

(Reglas 060-204)

Capacidad de conducción del conductor de acometida de mayor sección o el equivalente para conductores múltiples [A]	Sección del conductor de cobre de puesta a tierra [mm ²]
100 o menos	10
101 a 125	16
126 a 165	25
166 a 200	25
201 a 260	35
261 a 355	50
356 a 475	70
Sobre 475	95

Nota: En la figura se muestran los valores de secciones mínima dependiente del amperaje de diseño. Tomado de (MINEM, 2006)

Por lo tanto, en la Tabla 26 se muestra las características de la puesta a tierra que tiene el presente proyecto.

Tabla 26

Características para la puesta a tierra

Sección (mm²)	10 mm ²
N° de Hilos	7
Diámetro Nom. c/hilo	2.52
Diámetro de cable (mm)	7.56
Peso (Kg./Km.)	317
Carga Rotura (KN)	8.55
Resist. Cc. 20°C (Ω /Km.)	0.524

3.1.3.16.2 Electrodo de puesta a tierra:

Es de COPPERWELD con núcleo de acero SAE 1045 revestido con una gruesa capa de cobre electrolítico de 5/8” de diámetro por 8’ de longitud.

3.1.3.16.3 Borne para electrodo de puesta a tierra:

Para la conexión entre el electrodo de puesta a tierra de 5/8” de diámetro, con el conductor de puesta a tierra se utilizó grampas de bronce de alta conductibilidad eléctrica y alta resistencia a la corrosión: Incluye tuercas y arandelas de presión de bronce silicoso DURIUM (ASTM 899).

3.1.4 O.E.4: Diseñar CAD/CAE la microcentral hidroeléctrica con la turbina seleccionada a través del diseño asistido de computadora solidworks.

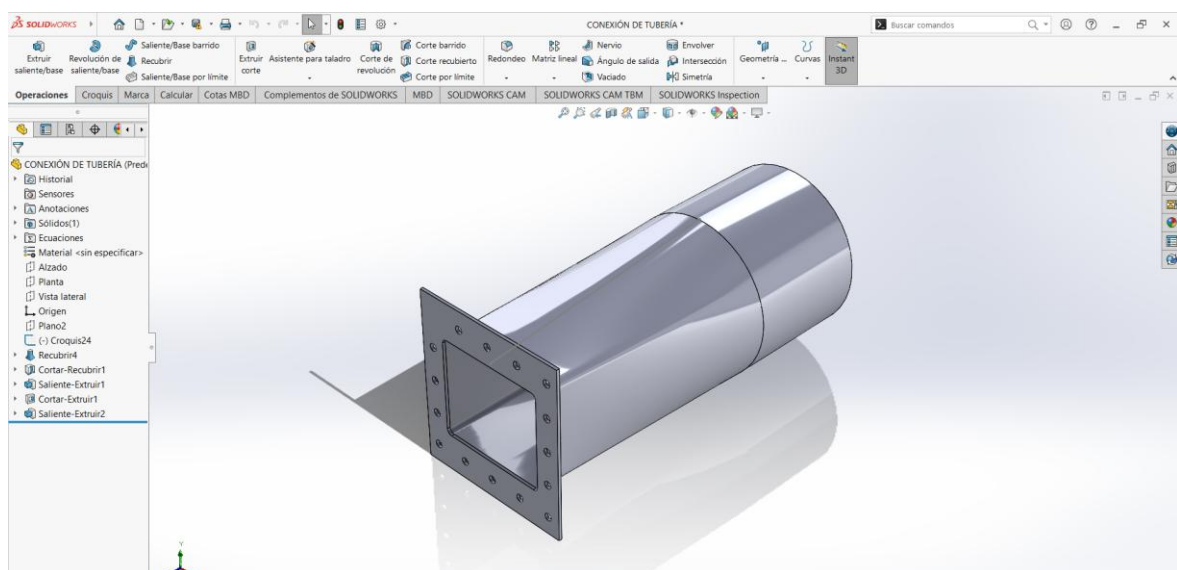
Se desarrolló el dibujo 3D de la turbina Michell Banki en el software SolidWorks, cumpliendo con los datos de validación hidráulica del punto 3.1.3.11. Para facilitar el orden y la mejor visualización, los planos de sus piezas principales se encuentran desde el Anexo 05 hasta el Anexo 13. Asimismo, el proceso de modelado 3D es mostrado en las figuras descritas a continuación.

Como resultado, el modelo 3D generado permitió representar adecuadamente la geometría funcional de la turbina adquirida, respetando las dimensiones hidráulicas. Además, las simulaciones realizadas con el módulo Flow Simulation evidenciaron un flujo másico y una distribución de presión hidrostática compatibles con los valores teóricos esperados, lo cual valida hidráulicamente el diseño para el caudal y condiciones de operación previstos.

En la Figura 28 se muestra el inyector, pieza que une la tubería de acero con la entrada a la turbina.

Figura 28

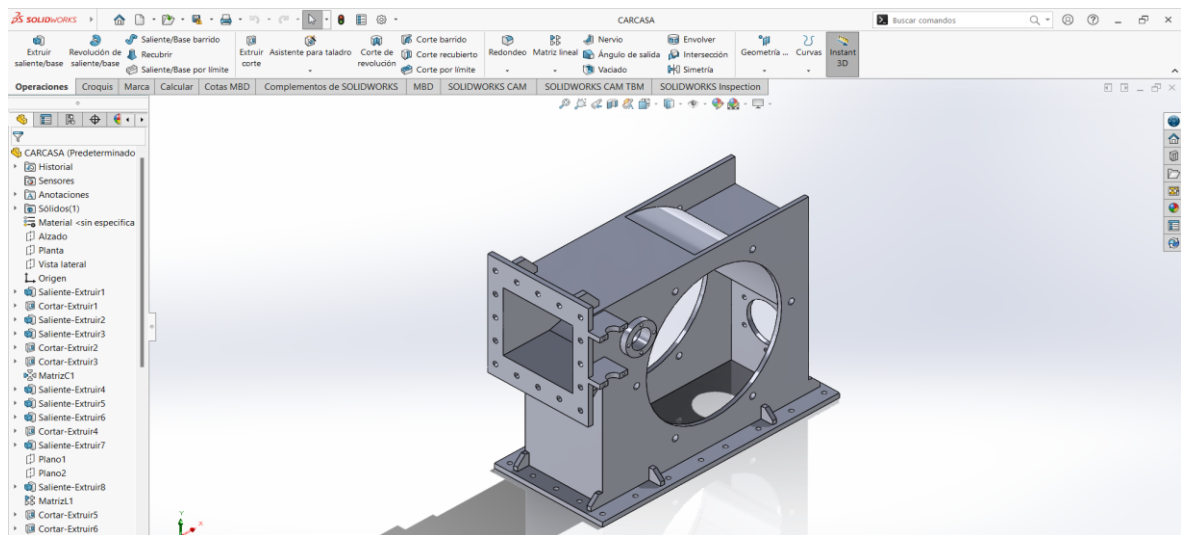
Dibujo del inyector de turbina



En la Figura 29 se muestra la carcasa de la turbina, se dibujó con los espacios requeridos para las demás piezas como el eje, el rodete, el regulador de caudal.

Figura 29

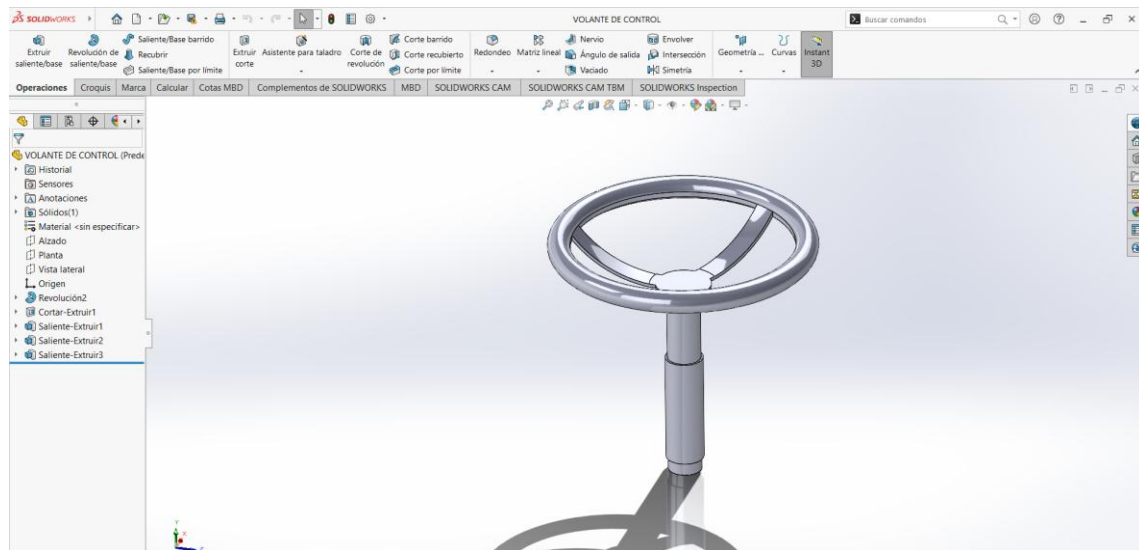
Dibujo de la carcasa de turbina



En la Figura 30, se muestra la volante del regulador de caudal para el movimiento de ángulo del inyector de la turbina.

Figura 30

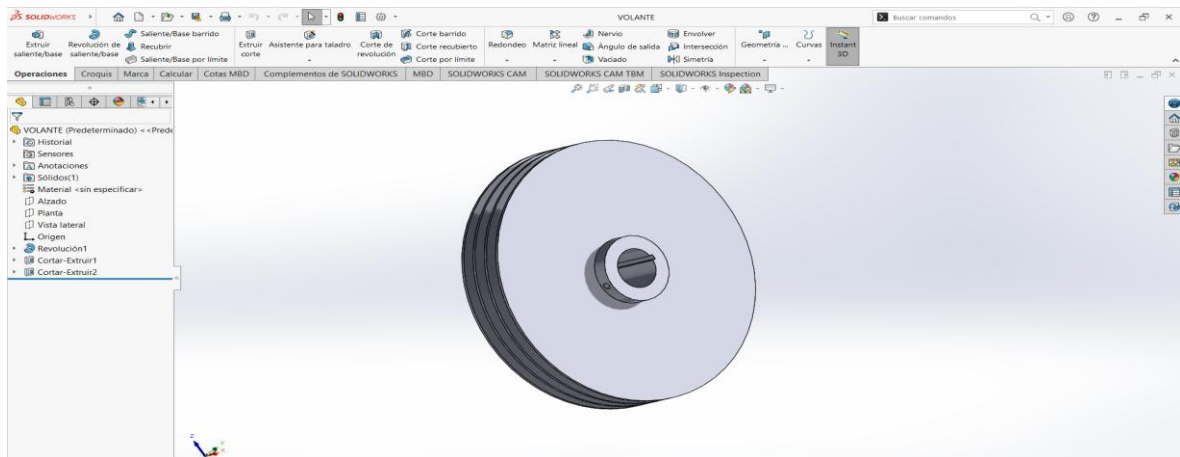
Dibujo de la volante del regulador de caudal



En la Figura 31 se muestra la polea que, a través de fajas transmitirá la potencia de la turbina a la polea del generador.

Figura 31

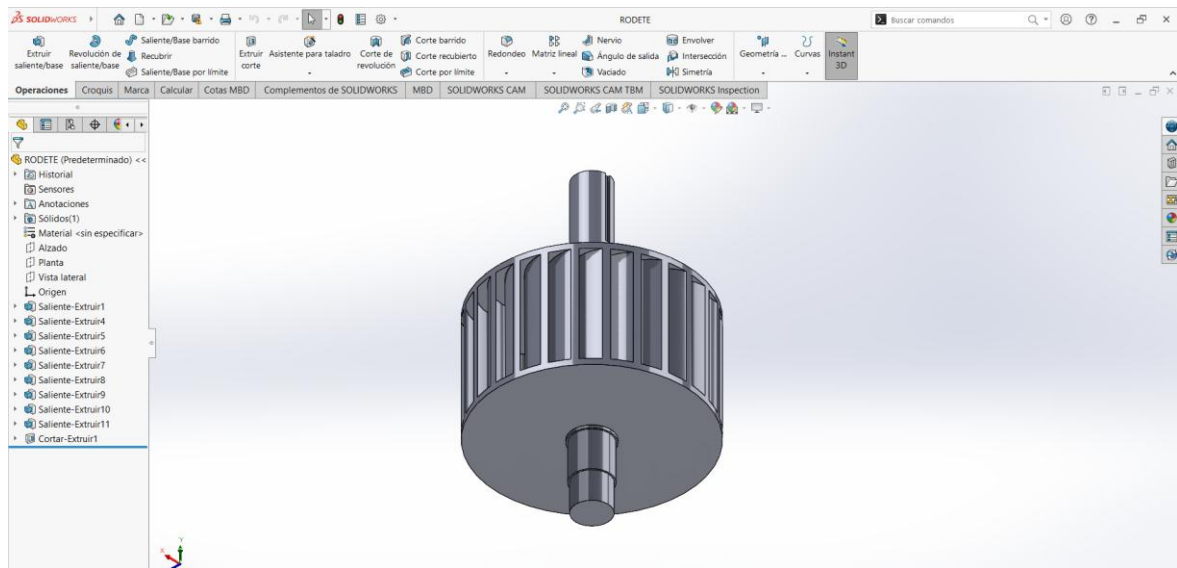
Dibujo de la polea de la turbina



En la Figura 32, se muestra el rodete con sus respectivos álabes y su eje para generar movimiento rotatorio a través del paso de agua.

Figura 32

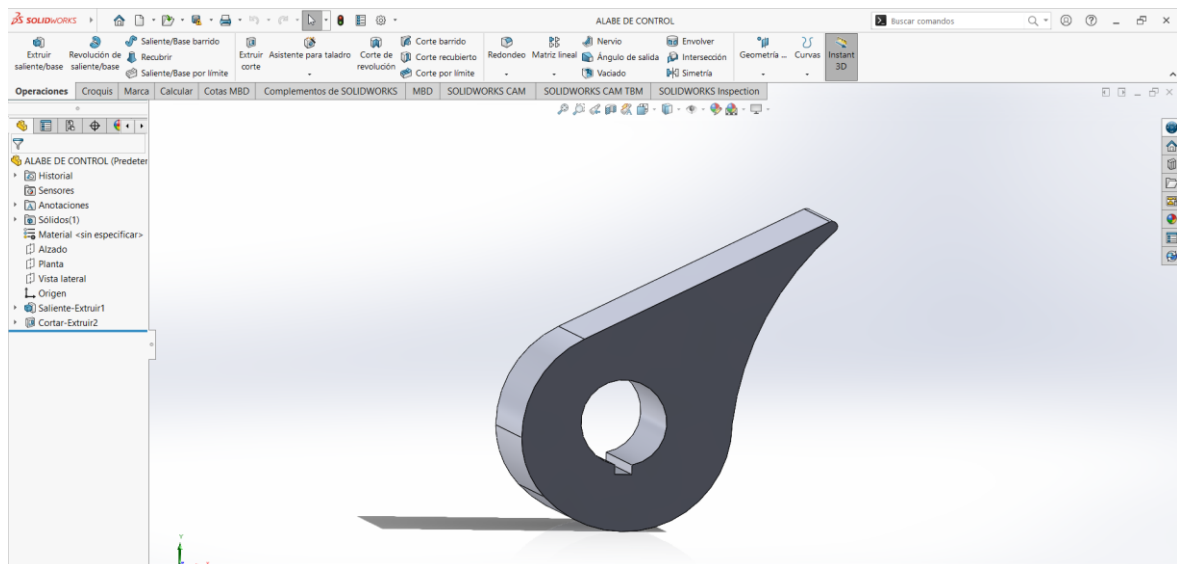
Dibujo del rodete, álabes y su eje de la turbina



En la Figura 33 se muestra el regulador de caudal que permitirá graduar la entrada de caudal hacia los álabes del rodete.

Figura 33

Regulador de caudal de la turbina



Finalmente se realizó el ensamblaje de todos los componentes principales y sus accesorios de la turbina. En las Figuras 34, 35 y 36, se muestran los diferentes tipos de vista del dibujo completo de la turbina.

Figura 34

Vista frontal del ensamblado del dibujo completo de la turbina

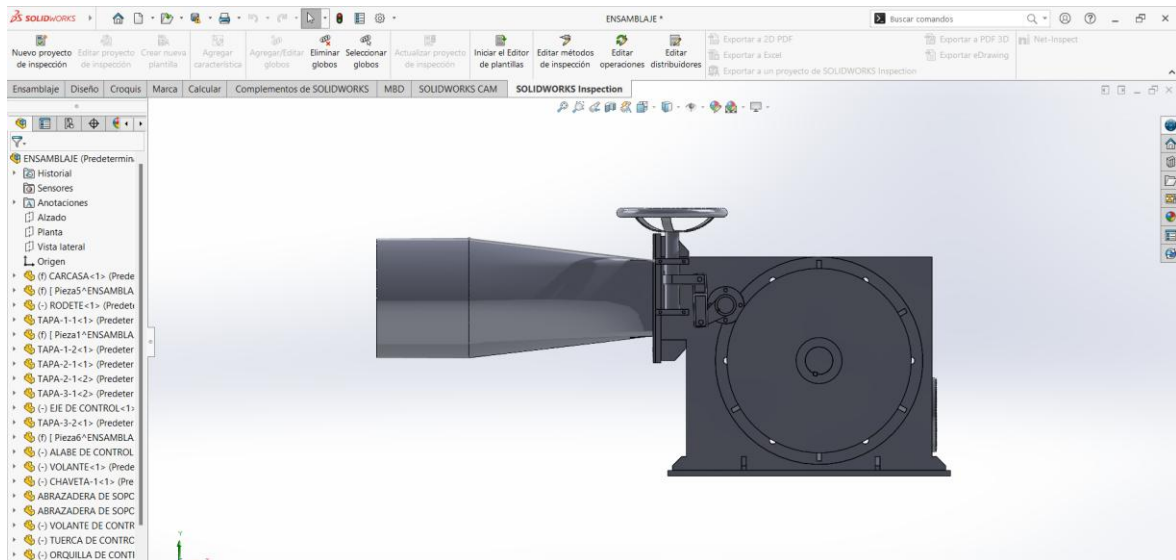


Figura 35

Vista Isométrica con vista de sección para visualización de los componentes internos

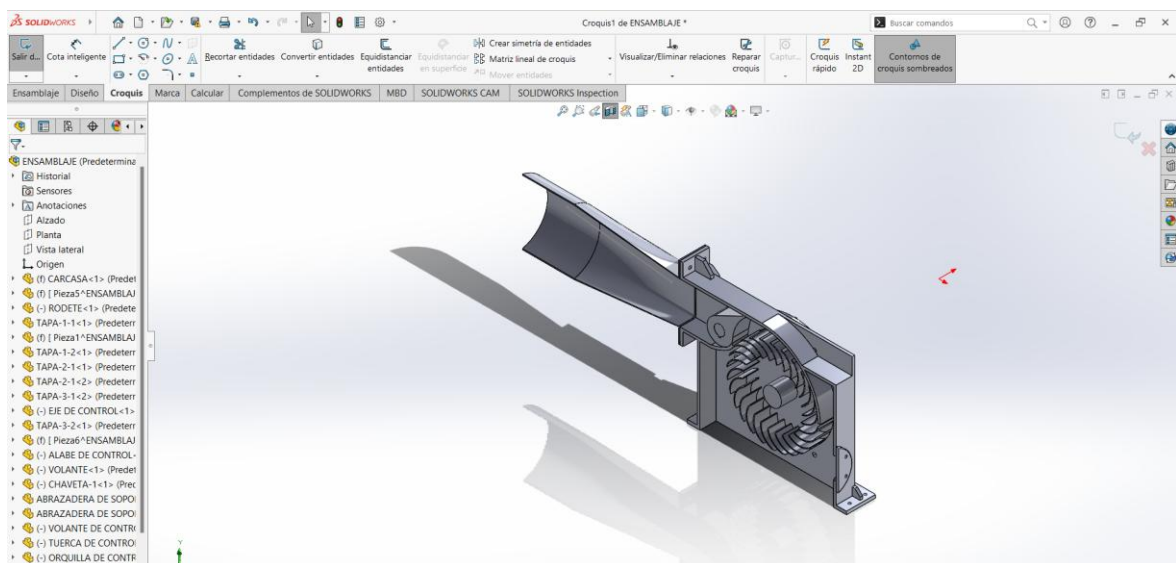
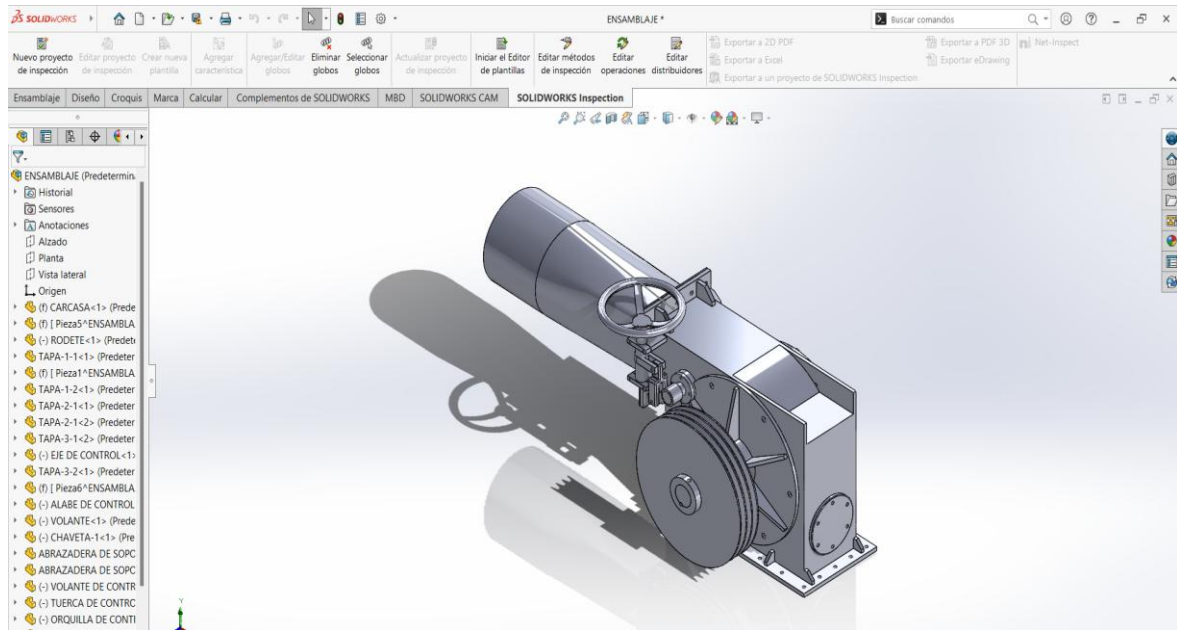


Figura 36

Vista isométrica del dibujo completo de la turbina



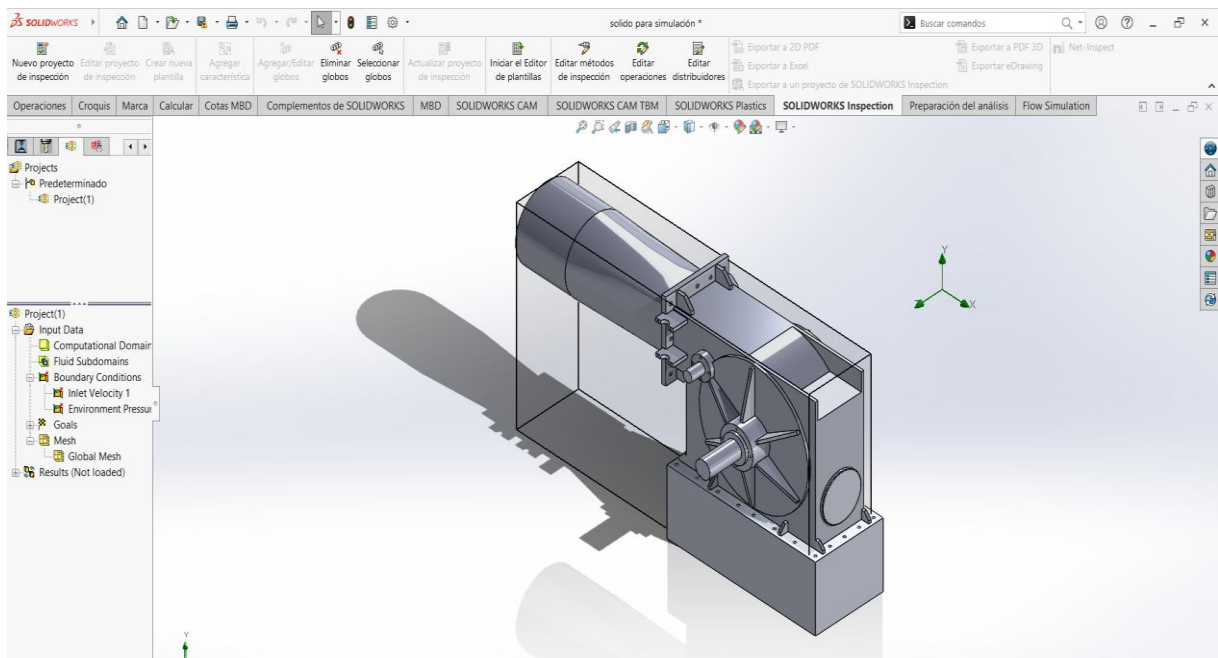
Al tener hecho el dibujo completo, el ensamblaje de todos los componentes y accesorios de la turbina, se procede a realizar la simulación del flujo másico y la presión hidrostática que se ejerce en los álabes y rodete al girar con el movimiento del agua.

La simulación de flujo másico y de presión hidrostática en los álabes se realizó teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Se tuvo en cuenta los parámetros de velocidad del fluido de 2.733 m/s y la presión atmosférica de 101.3kPa.
- Se simplifica o elimina piezas externas que no intervienen en la simulación.
- Se eliminó o se tapó los orificios que pueda tener la turbina (tuercas, pernos).
- Se generó un sólido de toda la turbina con sus componentes y accesorios.
- En la base de la turbina, se tuvo que aumentar su dimensión y se agregó láminas para representar la descarga del agua hacia el canal de salida. Esto permitirá que, al iniciar la simulación, se evite errores y no se generen vórtices o turbulencias en la parte del rodete por no haber espacio de descargada del agua.
- Lo mencionado en los puntos anteriores, se observan en la figura 37.

Figura 37

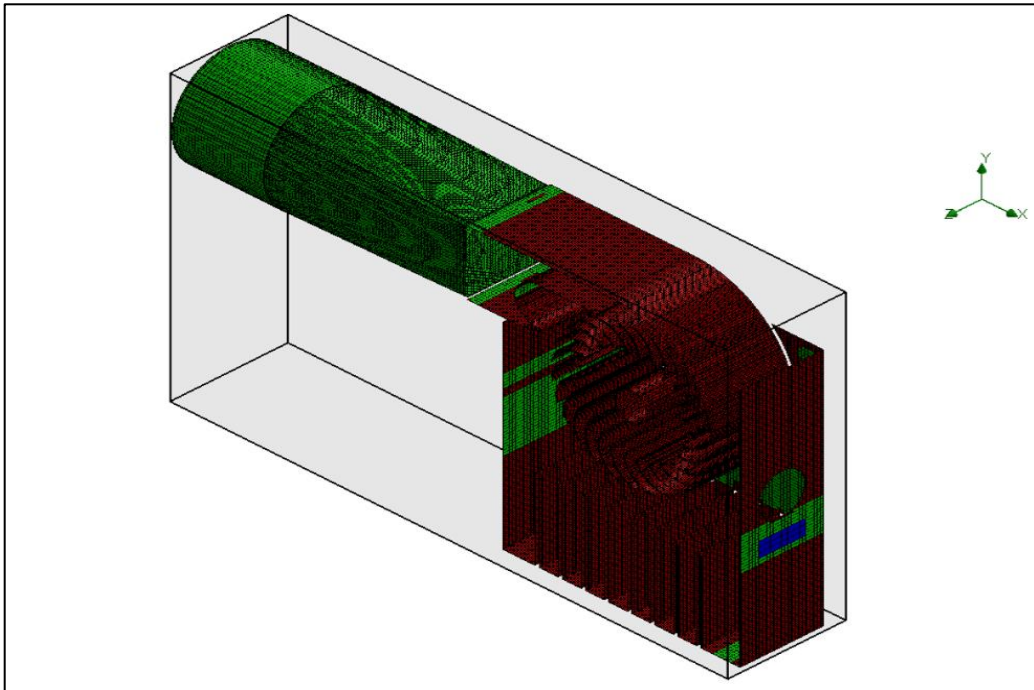
Modificaciones al sólido para realizar la simulación



- Como se observa en la Figura 38, se realizó un mallado o mesh, el cual, es la generación de una matriz cuadrícula fina para que los cálculos que se les ha asignado al software sean más precisos.

Figura 38

Mallado o mesh del sólido de la turbina



De esta manera, se inició la simulación del flujo másico y la presión hidrostática que se ejerce en el rodete de la turbina. En la parte izquierda de la Figura 39 se obtiene la presión hidrostática que se ejerce en los álabes del rodete de la turbina. La presión presenta valores entre 170.55 kPa a 198.52 kPa, el cual, dichos datos encuentran similitud con los datos calculados en el punto 2.2.3.7. que indica que la presión hidrostática que ingresa a la turbina es de 196.81 kPa.

Asimismo, se observan en la Figuras 40 y 41, el flujo másico y el cómo actúa específicamente la presión hidrostática en los álabes del rodete de la turbina.

Figura 39

Simulación del flujo másico y la presión hidrostática en la turbina

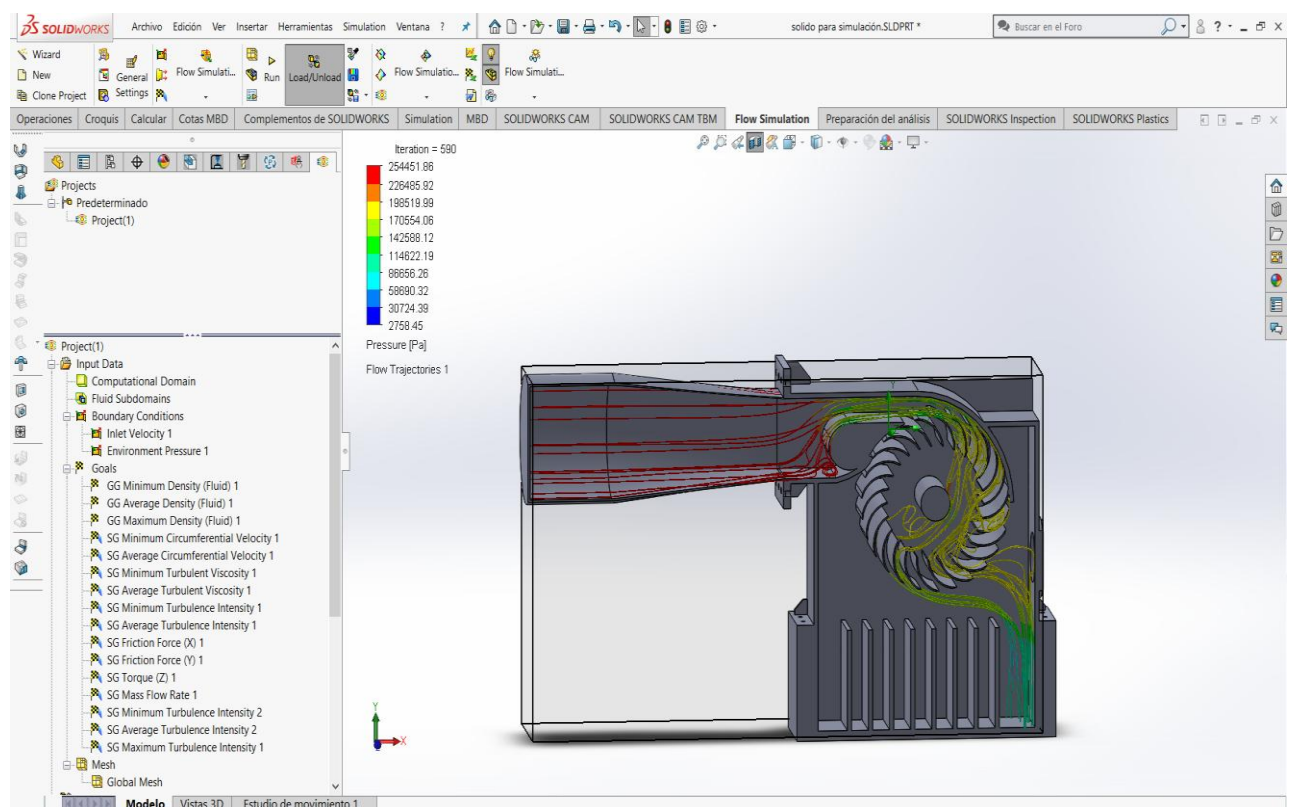


Figura 40

Flujo másico en la turbina

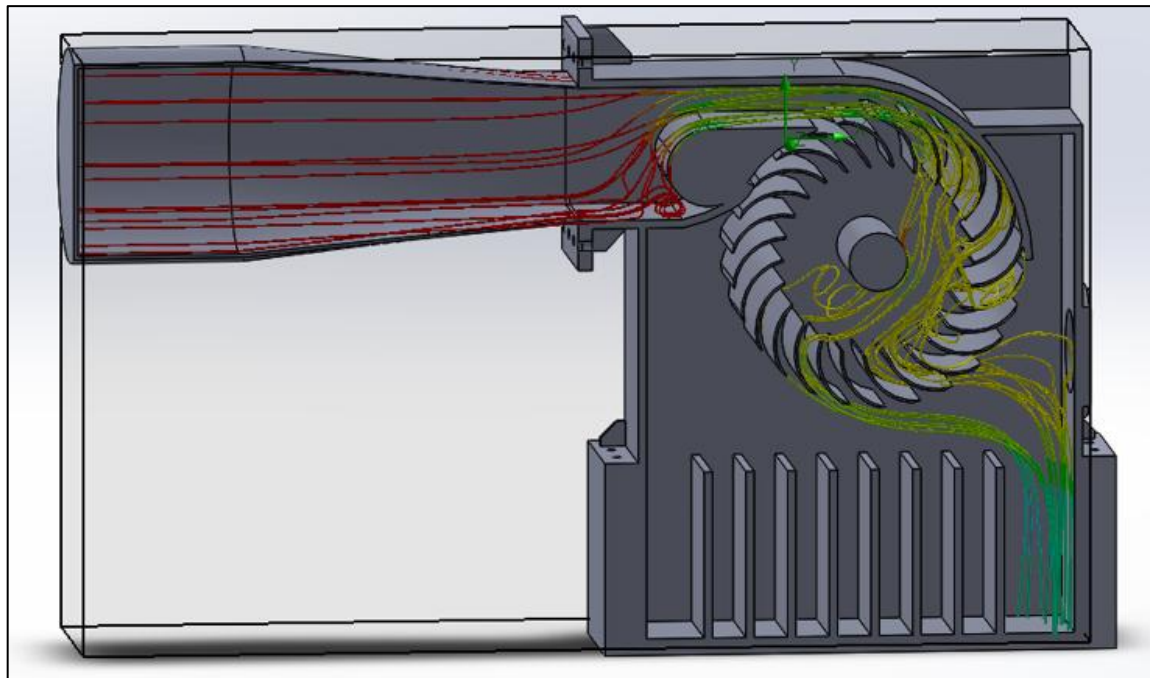
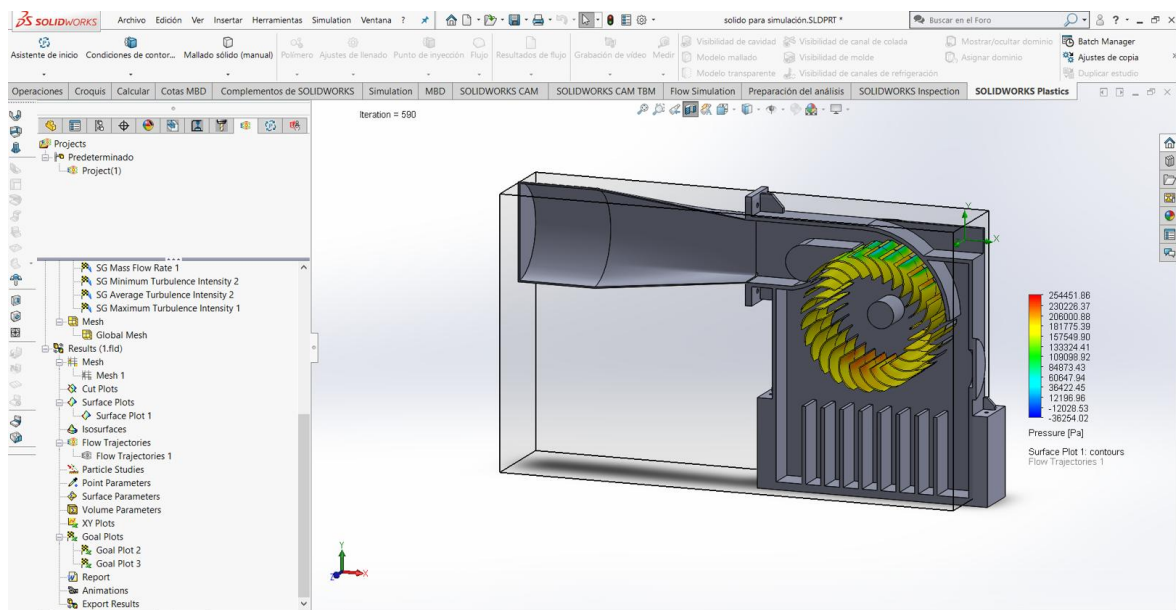


Figura 41

Presión hidrostática específicamente en los álabes del rodete de la turbina



3.1.5 O.E.5: Realizar el metrado y presupuesto de la manufactura de equipamiento de la microcentral hidroeléctrica..

Se realizó el metrado de la microcentral, se estimó sus costos y se presupuestó la obra, por lo tanto, se obtuvo el costo total de ejecución de obra detallado posteriormente.

Tubería PVC-UF C-5 de 250 mm (10")

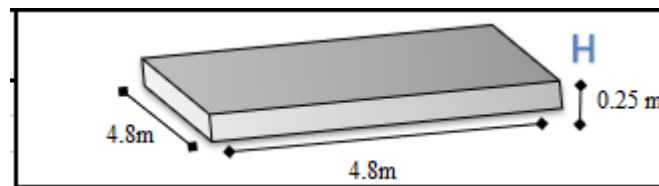
La longitud total para la conducción del agua desde la derivación hasta la microcentral es de 60 metros. Cada tubería tiene una longitud de 6.26 m, por lo tanto, para la implementación de tuberías será necesario la cantidad de 10 tuberías.

Cemento

Se va a construir una sala de máquinas. Asimismo, dicha sala tendrá un falso piso con los diámetros mostrados en la Figura 42. De acuerdo a dichas características se realiza los cálculos para cuantificar las bolsas de cemento, arena, piedra y agua que se utilizarán para su construcción.

Figura 42

Dimensiones del piso de la sala de máquinas



El cemento será del Tipo I. Sus características serán mostradas en la Tabla 27, además del volumen total del piso.

Tabla 27

Datos del cemento tipo I

Peso de la bolsa cemento	42.50 kg
Volumen de concreto	5.760 m³
Resistencia de concreto	210 kg/cm²

Por lo tanto, de acuerdo a los datos mostrados anteriormente se realizó los cálculos mostrando los resultados en la Tabla 28.

Tabla 28

Resolución y resultados sobre la cantidad de bolsas de cemento para el piso

resistencia de concreto <i>f'c</i> (kg/cm ²)	agua/cemento <i>A/C</i>	ASENTAMIENTO O SLUMP (pulg)	tamaño de agregado (pulg)	distribución en volumen cemento/arena/piedra	materiales por 1m ³			
					cemento (bolsas)	arena (m ³)	piedra (m ³)	agua (m ³)
140	0.61	4	3/4	1 : 2.5 : 3.5	7.01	0.51	0.54	0.184
175	0.51	3	1/2	1 : 2.5 : 2.5	8.43	0.54	0.55	0.185
210	0.45	3	1/2	1 : 2.0 : 2.0	9.73	0.52	0.53	0.186
245	0.38	3	1/2	1 : 1.5 : 1.5	11.5	0.50	0.51	0.187
280	0.38	3	1/2	1 : 1.1 : 1.5	13.34	0.45	0.51	0.189
RESULTADOS								
CEMENTO		ARENA		PIEDRA CHANCADA			AGUA	
56.045		2.995		3.053			1.071	
BOLSAS		M3		M3			M3	

Por otro lado, se construirá un dado para soportar la presión al momento en que el agua ingresa al equipo electromecánico. Dicho dado tendrá las características mostradas en la Figura 43 y los datos del cemento que se utilizará y el volumen total se detallan en la Tabla 29.

Figura 43

Dimensiones del dado de concreto

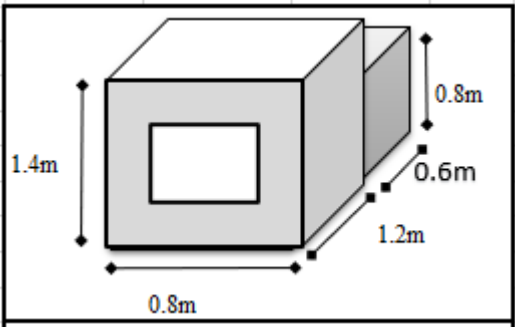


Tabla 29

Datos del cemento tipo I

Peso de la bolsa cemento	42.50 kg
Volumen de concreto	1.728 m3
Resistencia de concreto	210 kg/cm2

De esta manera, se realizó los cálculos para cuantificar las bolsas de cementos, arena, piedra y agua que se utilizarán para su construcción. Los resultados se verifican en la Tabla 30.

Tabla 30

Resolución y resultados de la cantidad de bolsas para el dado de concreto

resistencia de concreto <i>f_c</i> (kg/cm ²)	agua/cemento <i>A/C</i>	ASENTAMIENTO O SLUMP (pulg)	tamaño de agregado (pulg)	dosificación en volumen cemento/arena/piedra	materiales por 1m ³			
					cemento (bolsas)	arena (m ³)	piedra (m ³)	agua (m ³)
140	0.61	4	3/4	1 : 2.5 : 3.5	7.01	0.51	0.54	0.184
175	0.51	3	1/2	1 : 2.5 : 2.5	8.43	0.54	0.55	0.185
210	0.45	3	1/2	1 : 2.0 : 2.0	9.73	0.52	0.53	0.186
245	0.38	3	1/2	1 : 1.5 : 1.5	11.5	0.50	0.51	0.187
280	0.38	3	1/2	1 : 1.1 : 1.5	13.34	0.45	0.51	0.189
RESULTADOS								
CEMENTO		ARENA		PIEDRA CHANCADA			AGUA	
16.813		0.899		0.916			0.321	
BOLSAS		M3		M3			M3	

Por consiguiente, los demás componentes y materiales que se utilizarán durante todo el proceso de ejecución de la microcentral hidroeléctrica, están cuantificadas y estimadas de acuerdo a los requerimientos de la empresa y al dimensionamiento en el punto 2.2.3.

Asimismo, el suministro de materiales se detalla en las Figuras 44 y 45.

Figura 44

Metrado y presupuesto de suministro de materiales

METRADO Y PRESUPUESTO					PRESUPUESTO	TOTAL
TESIS: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA A PARTIR DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LA EMPRESA ECOFRIENDLY ENGINEERS SAC EN EL CASERÍO SELVA VERDE, DISTRO DE ARAMANGO, DEPARTAMENTO DE AMAZONAS"				METRADO		
DEPART.: AMAZONAS						
PROVINCIA: BAGUA						
DISTRITO: ARAMANGO						
A-	SUMINISTRO DE MATERIALES					
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UNID	MET	PU		
1	OBRAS CIVILES					
1.1	Cemento tipo I	bls	74	S/ 40.00	S/ 2,960.00	
1.2	Hormigón 30% piedra	m3	12	S/ 150.00	S/ 1,800.00	
1.3	Fierro de 1/2 "	u	40	S/ 48.00	S/ 1,920.00	
1.4	Techo y cerco perimétrico metálico de cobertura liviana	u	15	S/ 250.00	S/ 3,750.00	
	SUB TOTAL 01				S/ 10,430.00	
2	TUBERÍAS Y ACCESORIOS					
2.1	Tubería PVC-UF C-5 de 250 mm (10")	u	10	S/ 580.00	S/ 5,800.00	
2.2	Reducción PVC - UF de 12" a 10"	u	1	S/ 350.00	S/ 350.00	
2.3	Curva PVC de 10"	u	2	S/ 350.00	S/ 700.00	
	SUB TOTAL 02				S/ 6,850.00	
3	POSTES					
3.1	Poste de fierro galvanizado de 4"x7m.	u	5	S/ 160.00	S/ 800.00	
	SUB TOTAL 03				S/ 800.00	
4	ACCESORIOS DE FERRETERÍA PARA ESTRUCTURAS					
4.2	Grapa de suspension angular para conductor de aleacion de aluminio de 25 mm2	u	5	S/ 12.50	S/ 62.50	
4.3	Grapa de anclaje conica para conductor de aleacion de aluminio de 25 mm2	u	5	S/ 12.50	S/ 62.50	
4.4	Tubo baston de a°g° standard / redondo de 19 mm ø x 1,5 mm x 4,5 m	u	5	S/ 24.00	S/ 120.00	
	SUB TOTAL 04				S/ 245.00	
5	PUESTA A TIERRA					
5.1	Conector bimetalico para Al 25 mm2 y cobre de 35 mm2, tipo cuña	u	1	S/ 9.50	S/ 9.50	
5.2	Conector de bronce tipo AB para Electrodo de 19mm Ø y conductor de cobre de 35mm2	u	1	S/ 7.67	S/ 7.67	
5.3	Disco antihurto para puesta a tierra	u	1	S/ 6.50	S/ 6.50	
5.4	Conductor de cobre recocido de 35 mm2 para puesta a tierra	u	1	S/ 15.00	S/ 15.00	
5.5	Caja Registro de Concreto para Puesta a Tierra Circular 0,396 x 0,30 m	u	1	S/ 36.40	S/ 36.40	
5.6	Tubo de PVC SAP de 19 mm. Ø de 3 m. de long.	u	1	S/ 12.67	S/ 12.67	
5.7	Electrodo de Acero Recubierto de Cobre de 19 mm Ø x 2,40 m	u	1	S/ 86.60	S/ 86.60	
	SUB TOTAL 05				S/ 174.34	

Figura 45

Continuación metrado y presupuesto de suministro de materiales

6	EQUIPO ELECTROMECAÁNICO				
6.1	Tablero "TG", 18P, 3Ø+N, 380/220V,PVC , eqpdo. Con ITG: 3x20a, IT(10ka):3-2x20a, IT(10ka);, ID(25mA): 1-2X25A	u	1	S/ 11,500.00	S/ 11,500.00
6.2	Turbina Michel Banki de 10kW y accesorios	u	1	S/ 18,000.00	S/ 18,000.00
6.3	Generador eléctrico y accesorios	u	1	S/ 12,000.00	S/ 12,000.00
6.4	Junta mecánica Dresser	u	1	S/ 350.00	S/ 350.00
6.5	Bridas	u	1	S/ 50.00	S/ 50.00
	SUB TOTAL 07				S/ 41,900.00
7	CABLES, CONDUCTORES, LUMINARIAS Y ACCESORIOS				
7.1	Conductor autoportante de aluminio 3x25 + 1x16/25 mm ²	m	120	S/ 18.90	S/ 2,268.00
7.2	Conductor tipo nlt, de 1 - 4x2,50 mm ²	m	50	S/ 6.80	S/ 340.00
7.3	Luminarias	u	5	S/ 240.00	S/ 1,200.00
7.4	Tubería pvc de 3/4"	u	10	S/ 3.50	S/ 35.00
7.5	Cinta aislante	u	5	S/ 2.50	S/ 12.50
7.6	Tablero de distribución eléctrica 380 - 220 V	u	1	S/ 180.00	S/ 180.00
7.7	Interruptor diferencial 40 A, 30mA	u	1	S/ 185.00	S/ 185.00
7.8	Interruptor termomagnético bipolar tipo curva 16 A	u	5	S/ 45.00	S/ 225.00
7.9	Interruptor termomagnético tetrapolar tipo curva 40 A	u	1	S/ 358.00	S/ 358.00
	SUB TOTAL 08				S/ 4,803.50
	PRESUPUESTO TOTAL DE SUMINISTRO DE MATERIALES				S/ 65,202.84

El presupuesto total de suministro de materiales es de S/. 65,202.84 (Sesenta y cinco mil doscientos y dos con 84/100 soles).

El montaje electromecánico se muestra en la Figura 46.

Figura 46

Metrado y presupuesto de montaje electromecánico

B.-	MONTAJE ELECTROMECAÁNICO				
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS				
1	OBRAS PRELIMINARES				
1.1	Limpieza manual del terreno	m2	100	S/ 0.65	S/ 65.00
1.2	Trazo y cálculos preliminares de estructura	glb	1	S/ 1,000.00	S/ 1,000.00
	SUB TOTAL 01				S/ 1,065.00
2	OBRAS CIVILES				
2.1	Excavación manual en el terreno	m3	80	S/ 25.75	S/ 2,060.00
2.2	Refine y nivelación del terreno excavado	m2	80	S/ 1.67	S/ 133.60
2.3	Casa de máquina de 5m x 5m de muros Aluzinc, malla y techo metálico de cobertura liviana	glb	1	S/ 7,500.00	S/ 7,500.00
2.4	Murete de 0.70 x 1.90 x 0.20m de ladrillo y cemento	u	1	S/ 445.22	S/ 445.22
2.5	Dado de concreto ciclopeo 1:10 - 30% de piedra	m3	3.38	S/ 346.82	S/ 1,172.25
	SUB TOTAL 01				S/ 11,311.07
3	INSTALACIONES ELECTRICAS				
3.1	Poste de fierro galvanizado de 4"x7m.	u	5	S/ 25.00	S/ 125.00
3.2	Grapa de suspension angular para conductor de aleacion de aluminio de 25 mm2	u	5	S/ 13.83	S/ 69.15
3.3	Grapa de anclaje conica para conductor de aleacion de aluminio de 25 mm2	u	5	S/ 14.82	S/ 74.10
3.4	Tubo baston de a"º standard / redondo de 19 mm ø x 1,5 mm x 4,5 m	u	5	S/ 15.00	S/ 75.00
3.5	Conductor autoportante de aluminio 3x25 + 1x16/25 mm²	m	120	S/ 50.00	S/ 6,000.00
3.6	Conductor tipo nlt, de 1 - 4x2,50 mm2	m	50	S/ 8.25	S/ 412.50
3.7	Tablero de distribución	u	1	S/ 180.00	S/ 180.00
3.8	Interruptor diferencial 40 A, 30mA	u	1	S/ 185.00	S/ 185.00
3.9	Interruptor termomagnético bipolar tipo curva 16 A	u	5	S/ 45.00	S/ 225.00
3.10	Interruptor termomagnético tetrapolar tipo curva 40 A	u	1	S/ 358.00	S/ 358.00
3.11	Conector bimetalico para Al 25 mm2 y cobre de 35 mm2, tipo cuña	u	1	S/ 9.50	S/ 9.50
3.12	Disco antihurto para puesta a tierra	u	1	S/ 14.50	S/ 14.50
3.13	Conductor de cobre recocido de 35 mm2 para puesta a tierra	u	1	S/ 15.00	S/ 15.00
3.14	Caja Registro de Concreto para Puesta a Tierra Circular 0,396 x 0,30 m	u	1	S/ 45.00	S/ 45.00
3.15	Tubo de PVC SAP de 19 mm. Ø de 3 m. de long.	u	1	S/ 13.50	S/ 13.50
3.16	Electrodo de Acero Recubierto de Cobre de 19 mm Ø x 2,40 m	u	1	S/ 35.00	S/ 35.00
	SUB TOTAL 01				S/ 7,836.25
4	MONTAJE E INSTALACIÓN DEL EQUIPO HIDROELECTRICO				
4.1	Montaje e Instalación del grupo hidroeléctrico de 10kW (Turbina hidráulica, generador eléctrico, regulador de velocidad, tablero y pruebas)	glb	1	S/ 5,000.00	S/ 5,000.00
	SUB TOTAL 01				S/ 5,000.00
5	INSTALACIÓN DE TUBERIA DE PRESIÓN				
5.1	Tubería PVC-UF C-5	u	10	S/ 180.00	S/ 1,800.00
	SUB TOTAL 01				S/ 1,800.00
	PRESUPUESTO TOTAL DE MONTAJE DE MATERIALES				S/ 27,012.32

El presupuesto total del montaje electromecánico es de S/. 27,012.32 (Veintisiete mil doce con 32/100 soles).

El transporte de suministro se muestra en la Figura 47.

Figura 47

Metrado y presupuesto de transporte de materiales

C.-	TRANSPORTE DE MATERIALES				
1	OBRAS CIVILES				
1.1	Cemento tipo I	bls	74	S/ 2.00	S/ 148.00
1.2	Hormigón 30% piedra	m3	12	S/ 80.00	S/ 960.00
1.3	Fierro de 1/2 "	u	40	S/ 2.00	S/ 80.00
1.4	Techo metálico de cobertura liviana	u	15	S/ 120.00	S/ 1,800.00
	SUB TOTAL 01				S/ 2,988.00
2	TUBERÍAS Y ACCESORIOS				
2.1	Tubería PVC-UF C-5 de 250 mm (10")	u	10	S/ 150.00	S/ 1,500.00
2.2	Reducción PVC - UF de 12" a 10"	u	1	S/ 15.00	S/ 15.00
2.3	Curva PVC de 10"	u	2	S/ 15.00	S/ 30.00
	SUB TOTAL 02				S/ 1,545.00
3	POSTES				
3.1	Poste de fierro galvanizado de 4"x7m.	u	5	S/ 25.00	S/ 125.00
	SUB TOTAL 03				S/ 125.00
4	ACCESORIOS DE FERRETERÍA PARA ESTRUCTURAS				
4.1					S/ 0.00
4.2	Grapa de suspension angular para conductor de aleacion de aluminio de 25 mm2	u	5	S/ 0.33	S/ 1.65
4.3	Grapa de anclaje conica para conductor de aleacion de aluminio de 25 mm2	u	5	S/ 0.30	S/ 1.50
4.4	Tubo baston de a"g" standard / redondo de 19 mm ø x 1,5 mm x 4,5 m	u	5	S/ 0.45	S/ 2.25
	SUB TOTAL 04				S/ 5.40
5	POZO A TIERRA				
5.1	Conector bimetalico para Al 25 mm2 y cobre de 35 mm2, tipo cuña	u	1	S/ 0.20	S/ 0.20
5.2	Conector de bronce tipo AB para Electrodo de 19mm Ø y conductor de cobre de 35mm2	u	1	S/ 0.20	S/ 0.20
5.3	Caja Registro de Concreto para Puesta a Tierra Circular 0,396 x 0,30 m	u	1	S/ 12.60	S/ 12.60
5.4	Tubo de PVC SAP de 19 mm. Ø de 3 m. de long.	u	1	S/ 0.82	S/ 0.82
5.5	Electrodo de Acero Recubierto de Cobre de 19 mm Ø x 2,40 m	u	1	S/ 1.76	S/ 1.76
5.6	Disco antihurto para puesta a tierra	u	1	S/ 2.00	S/ 2.00
5.7	Conductor de cobre recocido de 35 mm2 para puesta a tierra	u	1	S/ 2.00	S/ 2.00
	SUB TOTAL 05				S/ 19.58
6	EQUIPO ELECTROMECHANICO				
6.1	Tablero "TG", 18P, 3Ø+N, 380/220V,PVC , eqpdo. Con ITG: 3x20a, IT(10ka):3-2x20a, IT(10ka):, ID(25mA): 1-2X25A	u	1	S/ 120.00	S/ 120.00
6.2	Turbina Michel Banki de 10kW y accesorios	u	1	S/ 800.00	S/ 800.00
6.3	Generador eléctrico y accesorios	u	1	S/ 500.00	S/ 500.00
6.4	Junta mecánica Dresser	u	1	S/ 100.00	S/ 100.00
6.5	Bridas	u	1	S/ 50.00	S/ 50.00
	SUB TOTAL 06				S/ 1,570.00
7	CABLES, CONDUCTORES Y ACCESORIOS				
7.1	Conductor autoportante de aluminio 3x25 + 1x16/25 mm²	m	120	S/ 1.50	S/ 180.00
7.2	Conductor tipo nlt, de 1 - 4x2,50 mm2	m	50	S/ 0.50	S/ 25.00
7.3	Luminarias	u	5	S/ 3.50	S/ 17.50
7.4	Tubería pvc de 3/4"	u	10	S/ 1.50	S/ 15.00
7.5	Cinta aislante	u	5	S/ 0.20	S/ 1.00
7.6	Componentes de protección eléctrica	glb	1	S/ 10.00	S/ 10.00
	SUB TOTAL 07				S/ 248.50
	PRESUPUESTO TOTAL DE TRANSPORTE DE MATERIALES				S/ 6,501.48

El presupuesto total del transporte de materiales es de S/. 6,501.48 (Seis mil quinientos y uno con 48/100 soles).

Cabe recalcar que el metrado y el presupuesto del presente proyecto se elaboraron en base a cotizaciones obtenidas de ferreterías locales y de empresas especializadas en la manufactura de componentes hidráulicos y eléctricos, con el fin de estimar costos reales y representativos para la implementación de la microcentral.

Por lo tanto, al sumar los presupuestos de suministro de materiales, montaje electromecánico y transporte de materiales, se obtuvo un presupuesto total de obra de S/. 98,716.64 (Noventa y ocho mil setecientos dieciséis con 64/100 soles)

$$S/. 65202.84 + S/. 27012.32 + S/. 6501.48$$

S/. 98 716.64

3.1.6 O.E.6: Manufacturar equipamiento mecánico y eléctrico de la microcentral hidroeléctrica.

Para la manufacturación de la microcentral se realizó un plano de ejecución, el cual, permitió lo siguiente:

- Los representantes de la empresa, ingenieros y trabajadores visualizaron de manera clara la idea del proyecto.
- Hubo una mayor planificación y organización de las actividades.
- Permitted realizar un metrado y presupuesto preciso.
- Se evitó que los trabajadores cometan errores durante la ejecución y cumplan estrictamente el proyecto de acuerdo al diseño de la microcentral.
- El proceso de manufactura fue más eficiente y se completó con éxito.

El plano de ejecución se muestra en el Anexo 09 para tener una mejor visualización.

Etapas de manufactura e implementación de todo el material y equipo electromecánico:

Primera Etapa: Excavación y construcción de las obras civiles para la microcentral

Esta etapa se inició con la definición del proyecto, visualización de los planos y las autorizaciones necesarias por parte de los encargados del proyecto a ejecutar de la empresa Ecofriendly Engineers SAC.

El personal encargado de la ejecución del proyecto realizó la limpieza y prepararon el terreno para el inicio de las actividades.

Excavación:

Se excavó 60 metros del trayecto de las tuberías de presión. Dichas excavaciones se hicieron en forma de zanja y el proceso se visualiza en las Figuras 48 y 49.

Figura 48

Proceso de excavación para tubería de presión



Figura 49

Proceso de excavación en otro tramo para tubería de presión



Asimismo, se procedió a excavar para los cimientos, zanjas y hoyos para la sala de máquinas. Además, se realizó el armado de la viga de fierro y del dado, posteriormente se hizo su encofrado para su construcción. Sus dimensiones se muestran en la Figura 11 y el procedimiento en la Figura 50.

Figura 50

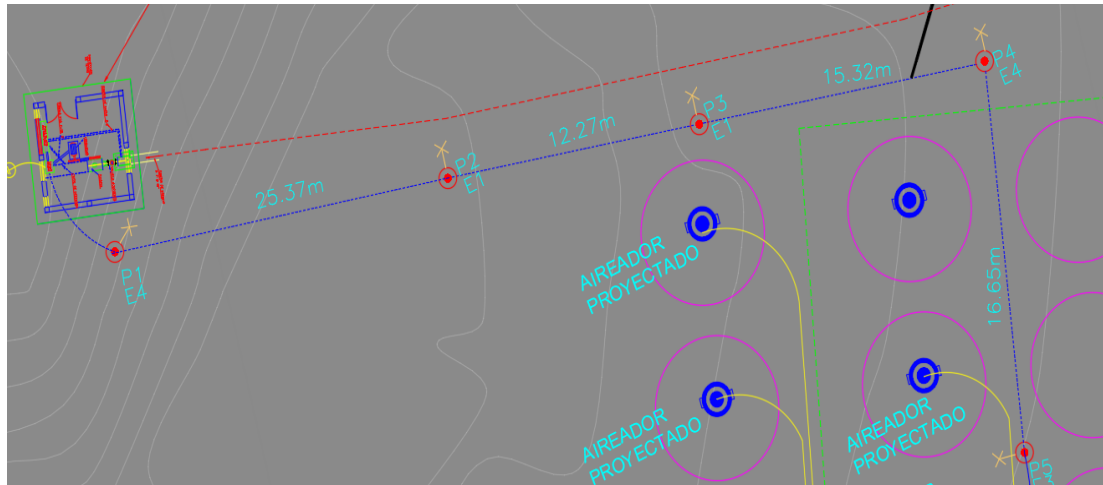
Encofrado para el dado y las vigas de fierro



Por otro lado, se colocan estacas de madera en los sitios específicos mostrados en la Figura 51, que es parte del plano de obra. En dichas estacas irán los postes de fierro que requiere el proyecto y se hará el hoyo adecuado para la instalación de la puesta a tierra.

Figura 51

Parte del plano de obra - puntos específicos para la colocación de las estacas de madera



Cimentación

Se procede a la cimentación de las vigas y del piso para la sala de máquinas, se debe tener en cuenta que en el centro se hará una zanja para el posicionamiento de la turbina y la posterior construcción del canal de descarga del agua que pasará por la turbina y luego retorne al cauce del río. Asimismo, se construye el dado de cemento para amortiguar la presión del agua al inicio del equipo electromecánico.

Para finalizar con la construcción de la sala de máquinas, se realizó un entramado de madera que consiste en un sistema de poste y viga con maderas pesadas. Luego, se clava el cerco perimétrico metálico en reemplazo de paredes y se coloca el techo metálico de cobertura liviano.

Segunda Etapa: Implementación de la tubería de presión y montaje del equipo electromecánico.

Al finalizar la primera etapa, se comunicó a la empresa que realice la compra y el transporte de materiales descritos en el punto 2.2.5. Así, se planificó con mayor precisión la implementación de la tubería, equipo electromecánico y eléctrico. Además, se le asignó una actividad específica a cada personal para ejecutar el proyecto de acuerdo al tiempo estimado.

Implementación:

Se implementó las tuberías de presión con sus respectivos accesorios en todo su trayecto hasta la llegada al dado de la sala de máquinas. El proceso se muestra en las Figuras 52 y 53.

Figura 52

Proceso de implementación de la tubería de presión



Figura 53

Proceso de implementación en otro tramo de la tubería de presión



Montaje:

Para el montaje del equipo electromecánico, con ayuda de madera gruesa se posiciona preliminarmente los componentes conformados por la válvula compuerta, turbina y generador tal y como se observa en las Figuras 54 y 55. Esto permitirá definir la construcción del canal para la descarga del agua luego de pasar por los álabes de la turbina, el cual, se muestra en la Figura 56.

Figura 54

Sala de máquinas y posición para cada componente electromecánico

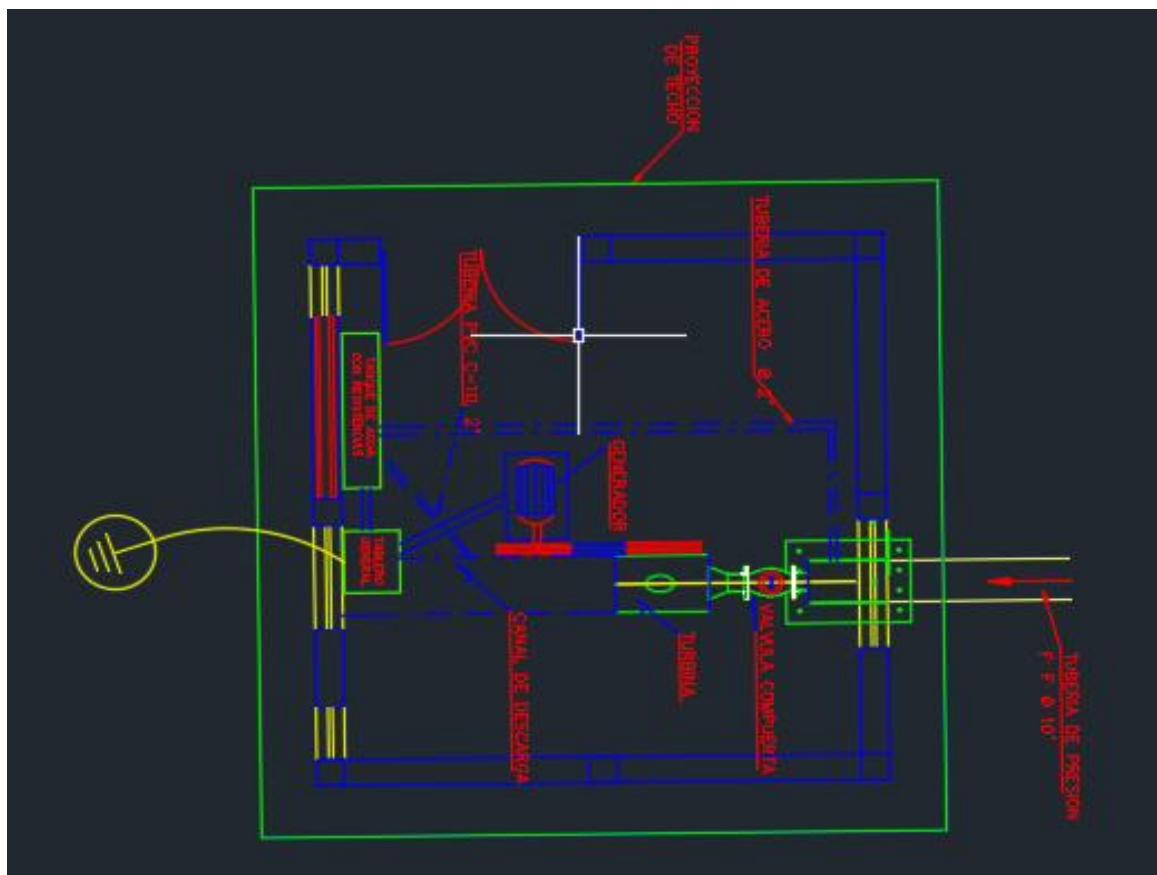


Figura 55

Posicionamiento preliminar según figura 40 de los componentes electromecánicos con ayuda de madera



Figura 56

Definición y construcción del canal de descarga del agua de la turbina



Al tener construido el canal, en las Figuras 57 y 58 se muestra el empernado y ensamblaje de los componentes electromecánicos en sus plataformas correspondientes. En cada acople, se coloca una empaquetadura para evitar la fricción cuando haya pequeñas vibraciones. Luego, se colocan las poleas y las fajas que han sido diseñadas en los puntos anteriores, además, se define la ubicación y se coloca el tablero general de control y el regulador electrónico de carga.

Figura 57

Empernado y ensamblaje del equipo electromecánico



Figura 58

Equipo electromecánico ensamblado



Por otro lado, en la Figura 59 se izan los postes de fierro galvanizado en los lugares indicados por las estacas colocadas en la parte de excavación y se instalan los pastorales con sus respectivas luminarias.

Figura 59

Izaje de postes e instalación de luminarias



Para la instalación de la puesta a tierra, se coloca la punta inferior del electrodo de acero recubierto de cobre en el disco antihurto para ponerlo dentro del hoyo. Luego se rellena con tierra negra y bentonita. En la parte superior del electrodo se instala el conector de bronce para conectarlo al conductor de cobre.

Luego del montaje de los componentes, se debería realizar la conexión del cable eléctrico del generador con el tablero de control y el regulador electrónico de carga. Finalmente se instalaría el cable eléctrico trifásico trenzado en los postes metálicos y el tablero de distribución independientemente de lo que requiera la empresa. Sin embargo, para dicha actividad, la empresa no realizó las instalaciones eléctricas que fueron descritas, eximiéndome de la culminación de la manufacturación de la microcentral hidroeléctrica.

4 DISCUSIÓN:

El presente trabajo de investigación y otro trabajo realizado en Santiago de Cali, convergen en la idea de que una microcentral hidroeléctrica no solo es una solución técnica viable, sino que también representa una alternativa económicamente favorable en comparación con otras opciones disponibles. Esta sinergia entre la reducción de costos y el aprovechamiento de la infraestructura existente refuerza la posición de los trabajos de investigación sobre la implementación de sistemas de energía renovable en contextos industriales, destacando su importancia en la sostenibilidad económica y operativa.

La construcción de microcentrales es posible en obras hidrotécnicas en explotación, para obtener al mismo tiempo, una cantidad adicional de energía eléctrica, mediante su adecuación y acoplamiento a los embalses ya existentes de uso no energético, (...), sistemas de suministro de agua, etc. (Crespo et al. 2003).

La turbina Michell Banki, la cual fue validada hidráulicamente para el presente proyecto, demuestra ser una opción adecuada para operar en zonas con caudales reducidos y con saltos netos superiores a los 12 metros.

Para la manufacturación de la microcentral hidroeléctrica se tuvo limitaciones en la ejecución de la obra cuando por razones climatológicas como lluvias torrenciales y consecuentemente deslizamiento de tierra en los accesos viales al sitio de estudio, se tenía que parar las labores hasta un máximo de 7 días calendario. Eso conllevó a un atraso en el tiempo estimado de ejecución.

Por otro lado, por circunstancias financieras, la empresa no realizó una implementación continua del proyecto, por lo que hubo varios periodos de inactividad, además no se logró implementar las instalaciones eléctricas que hubieran permitido realizar los ensayos de funcionamiento del sistema y especialmente de la turbina diseñada.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

5.1 Conclusiones

- Se validó hidráulicamente la turbina Michell Banki adquirida, que es uno de los componentes principales de una microcentral hidroeléctrica. Además, se logró diseñar la tubería de presión de 10 pulgadas, un caudal de agua de 0.1212 m³/s, un salto geodésico de 14.5 metros, alcanzando generar una potencia de diseño de 9.53kW.
- El uso del software SolidWorks, bajo licencia académica-estudiantil, permitió representar tridimensionalmente la turbina Michell Banki previamente adquirida y analizar su comportamiento hidráulico mediante simulación. Los resultados obtenidos, tanto en términos de flujo másico como de presión hidrostática, mostraron concordancia con los cálculos teóricos previamente desarrollados, lo cual respalda la validez técnica de los parámetros hidráulicos calculados para su funcionamiento. Su aplicación se limitó exclusivamente a fines formativos y de análisis, sin utilizarse para propósitos comerciales, de manufactura o producción industrial.
- El desarrollo del presente proyecto, refuerza el compromiso de priorizar la sostenibilidad, al hacer uso de una fuente de energía renovable, generando una eficiencia con la generación de energía, evitando depender energéticamente de terceros, minimizando el impacto ambiental y maximizando la producción de las industrias.
- El presupuesto de ejecución de **S/.98 716.64** para la construcción de la microcentral hidroeléctrica es económicamente viable a comparación de un sistema de utilización que la empresa hubiera requerido a la entidad Electro Oriente, ya que, según la experiencia de ingenieros especializados en dicho sector industrial, un sistema de utilización para industrias rurales supera el medio millón de soles para su implementación.

5.2 Recomendaciones

- En el punto de derivación de agua hacia las pozas de las truchas y la microcentral hidroeléctrica, se recomienda evaluar el desarrollo y construcción de una cámara de carga para evitar el desabastecimiento de agua en futuras proyecciones de crianza de trucha al demandar de un mayor caudal para dicho fin. Esto permitirá que la microcentral hidroeléctrica genere energía eléctrica de manera eficiente y constante.
- Se recomienda implementar un contactor eléctrico en cada circuito para que el sistema cuente con una mayor protección eléctrica en sus equipos proyectados con mayores potencias.
- Se recomienda realizar un plan de contingencia o de evacuación en caso suceda una posible inundación a consecuencia de las fuertes lluvias en la sala de máquinas, ya que se encuentra cercano al afluente del lugar.
- Se recomienda implementar un plan de mantenimiento correspondiente al tipo de utilización que se le dará a los equipos electromecánicos.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Alegret Breña, E., & Martínez Valdés, Y. (2019). Coeficiente de Hazen-Williams en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(3).

<https://link.gale.com/apps/doc/A612580282/IFME?u=googlescholar&sid=bookmark-IFME&xid=16f53486>. Consultado el 16 de febrero de 2024.

Alva, F. (2008). *Diseño de elementos de Maquinas I*. Lima: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC). ISBN 9972-50-029-2

BUN-CA, B. U. (2002). *Manuales sobre energía renovable: Hidráulica a pequeña escala*. Costa Rica: San José. ISBN 9968-9708-8-3

Briceño, E., Escobar, R., Ramírez, S. (2008) “*Manual de capacitación en operación y mantenimiento de pequeñas centrales hidráulicas*”. Lima. Soluciones Prácticas-ITDG. ISBN 978-9972-47-148-3

Coz, F., Sánchez, T., Viani, B., Segura, J., Rodríguez, L., Miranda, H., . . . Muñoz, I. (1995). *Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas: una guía para el desarrollo de proyectos*. Lima: Intermediate Technology Development Group, ITDG-Perú. ISBN 1853392782

Crespo, A., De Francisco, A., Fernández, J., Herrero, M. De Juana, J., Santos, F. (2003) *Energías renovables para el desarrollo*. Ediciones Paraninfo, S.A. ISBN 978-84-2287-2864-7

Elías, X. (2012) *Energía, agua, medioambiente, territorialidad y sostenibilidad*. Ediciones Díaz de Santos. ISBN 978-84-9969-123-7

Gonzales, J. (2009). *Energías renovables*. Barcelona: Reverté, S.A. ISBN 9788429179125

Gonzales, M. (2015). *El sector acuícola medita el uso de la energía renovable en sus plantas*. Inteligencia en la Red. Catedra Telefónica en la Universidad de Sevilla. <http://institucional.us.es/catedratel/?p=2449>. Consultado el 09 de junio de 2023.

Jaramillo Delgado, L. (2011). Diseño y cálculo de una micro central hidroeléctrica, utilizando las aguas de la Ptar de la planta No.1 de propal S.A. Universidad del Valle. <https://hdl.handle.net/10893/16572>

Ministerio de Energía y Minas (2006). Código Nacional de Electricidad (Utilización). Lima, Perú.

Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) (1983). Manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas. Diseño, estandarización y fabricación de turbinas michell - banki. Quito. <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0194.pdf>. Consultado el 10 marzo de 2024.

Ortiz, R. (2011) *Pequeñas centrales hidroeléctricas*. Ediciones de la U. ISBN 978-958-8675-99-2

Ortiz, R., Sánchez, V., Collazos, A. (2022), *Microcentrales hidroeléctricas: Con aplicación de máquinas reversibles. Segunda edición*, Universidad del Valle. ISBN 978-958-765-500-1

Rainuzzo, J. (2020). *La cadena de valor de la trucha*. Fábrica de Ideas. <https://rnia.produce.gob.pe/wp-content/uploads/2020/10/Estudio-de-prospectiva-PNIPA-Cadena-de-Valor-de-la-Trucha.pdf>. Consultado el 25 de junio de 2023.

Requejo & Cortéz (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. <https://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/96>

Sanz, J. (2016) *Energía hidroeléctrica: Serie Energías renovables*. Pressas de la Universidad de Zaragoza. ISBN 978-84-16933-31-0

Schallenberg, J., Piernavieja, G., Hernández, C., Unamunzaga, P., García, R., Díaz, M., Subiela, V. (2008). *Energías Renovables y eficiencia energética*. Canarias: Instituto Tecnológico de Canarias S.A. ISBN 978-84-69093-86-3

Tamayo, Jesús; Salvador, Julio; Vásquez, Arturo y Carlo Vilches (Editores) (2016). La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país. Osinergmin. Lima, Perú. ISBN 978-612-47350-0-4

Vivas Rodríguez, B. E. (2020). *Diseño de una micro central hidroeléctrica para la hacienda las Garzas*. Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte, Ibarra. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10289>

7 AGRADECIMIENTO

Quiero comenzar esta sección de mi trabajo agradeciendo profundamente a Dios, quien ha sido mi guía, fortaleza y fuente de inspiración a lo largo de este proceso. Su amor y su sabiduría me han dado el coraje y la determinación para superar los retos que se presentaron, así como la paciencia para persistir en momentos complicados del proyecto.

Agradezco a mi madre Fresia del Pilar Benites Zuñiga, a mi padre Jaime Fernando Farias Moncada y a mi hermano Fernando Gastón Farias Benites, a mis maravillosos amigos Elvis Montenegro y Carlos Rojas, quienes siempre me brindaron su amor y apoyo incondicional, les agradezco por su confianza en mí y por estar a mi lado en los momentos más desafiantes.

Asimismo, dirigir unas palabras de agradecimiento a la Universidad Nacional de Jaén, quien me ha dado la oportunidad de conocer, explorar e incrementar mis conocimientos, competencias y herramientas para volverme el mejor profesional posible.

De igual manera, valoro muchísimo el papel de mi asesor de la universidad Mg. Jannier Alberto Montenegro Juarez y a mi asesor de la empresa Ing. Ticona Yujura Juan Antonio por sus orientaciones, apoyo y paciencia a lo largo de este proceso. Sus conocimientos y experiencias fueron fundamentales para el desarrollo de esta tesis.

Finalmente, expreso mi más sincero agradecimiento a la empresa Ecofriendly Engineers SAC y al Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura (PNIPA) por el valioso apoyo brindado. Gracias a su compromiso con el desarrollo académico y científico, se estableció un convenio con la universidad que me permitió llevar a cabo esta tesis. Su respaldo ha sido fundamental para hacer posible este proyecto de investigación.

A todos, ¡gracias!

8 ANEXOS:

ANEXO 01: CONTRATO DE VINCULO LABORAL ENTRE EL AUTOR Y EMPRESA ECOFRIENDLY ENGINEERS SAC


ecofriendly
— ENGINEERS —

Aprovechamiento de energía renovable a través del uso de una mini-hidro-electrica que aprovecha las masas de agua en movimiento de la quebrada Brisas del Picorana, para escalar a nivel intensivo el cultivo de trucha arco iris de la empresa Ecofriendly Engineers SAC de Cajamarca

Contrato N° 053-2021-PNIPA-SUBPROYECTOS

CONTRATO DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS

Este contrato, en adelante el "Contrato", se celebra el 24 de febrero de 2022, entre la empresa Ecofriendly Engineers SAC identificado con RUC N° 20604353533, señalando domicilio para estos efectos en Calle Intihuatana con Los Jardines N° 499, debidamente representado por Kelvis Alexander Serrano Chuquichua identificado con DNI [REDACTED] a quien en adelante se denominará "EL CONTRATANTE", y Sr. Jimmy Anghelo Farías Benites, con DNI N° [REDACTED] en adelante "EL CONTRATADO".

CONSIDERANDO que "EL CONTRATANTE" tiene interés en que "EL CONTRATADO" preste los servicios que se señalan a continuación, y CONSIDERANDO que "EL CONTRATADO" está dispuesto a prestar dichos servicios, **POR LO TANTO**, LAS PARTES convienen en lo siguiente:

CLÁUSULA PRIMERA: SERVICIOS.

"EL CONTRATADO" prestará el servicio de Tesista N° 1 del proyecto "Aprovechamiento de energía renovable a través del uso de una mini-hidroeléctrica que aprovecha las masas de agua en movimiento de la quebrada Brisas del Picorana, para escalar a nivel intensivo el cultivo de trucha arco iris de la empresa Ecofriendly Engineers SAC de Cajamarca".

Por el presente contrato "EL CONTRATADO", declara tener la capacidad y los conocimientos necesarios para desempeñarse como Tesista del proyecto de investigación.

CLAUSULA SEGUNDA: PLAZO DE CONTRATO.

"EL CONTRATADO" prestará los Servicios durante el periodo que se iniciará el 01 de marzo del 2022 y culminará el 31 de agosto del 2022.

CLÁUSULA TERCERA: FORMA DE PAGO.

[REDACTED]

CLAUSULA CUARTA: RESPONSABILIDADES Y COMPROMISOS DE "EL CONTRATADO"

ECOFRIENDLY ENGINEERS SAC
RUC 20604353522

**ANEXO 02: CONVENIO ENTRE LA EMPRESA ECOFRIENDLY ENGINEERS,
MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN, PNIPA, THE WORLD BANK Y
UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**

 PERÚ Ministerio de la Producción		 THE WORLD BANK IBRD • IDA WORLD BANK GROUP
ACUICULTURA - SIA - SP-2021-00111 (Versión 2) SAPEL v 2.0		
ACUICULTURA - Subproyectos de Investigación Adaptativa (SIA) Tercer Concurso - PNIPA 2020 - 2021 Ventanilla 02 SP-2021-00111 (Versión 2)		
Declaro bajo juramento que la información registrada durante la postulación es verídica y asumo la responsabilidad ante cualquier incumplimiento de los requisitos y condiciones señalados en las bases del concurso. En caso de que la información que proporciono resulte ser falsa, declaro haber incurrido en los delitos de falsa declaración en proceso administrativo(Art. 411° del Código Penal), falsedad ideológica o falsedad genérica(Arts.428° y 438° del Código Penal) en concordancia con el Art.IV, 1.7 del Título Preliminar de la Ley N° 27444 del Procedimiento Administrativo General(Principio de presunción de veracidad).		

5. CONFORMACIÓN DE LA ALIANZA ESTRATÉGICA					
N°	RUC	Razón Social	Rol de la entidad en el concurso	Rol de la entidad en el subproyecto	Representante Legal
1	20604353522	ECOFRIENDLY ENGINEERS S.A.C.	Entidad Proponente	Demanda	KELVIS ALEXANDER SERRANO CHUQUICAHUA
2	20487463737	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN	Entidad Asociada	Oferta	OSCAR ANDRES GAMARRA TORRES

Entidad 1 : ECOFRIENDLY ENGINEERS S.A.C.			
Rol en el Concurso		Rol en el subproyecto	Procedencia
Entidad Proponente		Demanda	Nacional
RUC	Razón Social		
20604353522	ECOFRIENDLY ENGINEERS S.A.C.		
País	Ubigeo/Ciudad		
Perú	CAJAMARCA/JAEN/JAEN		
Siglas	Domicilio Legal		
ECOFRIENDLY	CAL. LOS JARDINES URB. LOS ALCANFORES 499 CAJAMARCA JAEN JAEN		
Condición	Estado	Deuda Coactiva	Archivo de Sustento
HABIDO	ACTIVO	NO	

Documento de Postulación	Sistema de acompañamiento de proyectos en línea - SAPEL v 2.0	Página 3 de 18
--------------------------	---	----------------

**ANEXO 03: SECCION ESPECIFICA DE ESTIMACION DE CAUDALES DE
ACUERDO A ESTUDIOS HIDROLOGICOS REALIZADO POR BETA
CONSULTORES & CONSTRUCTORES S.A.C.**



Con el fin de reunir los criterios adecuados para conocer las características hidrológicas de la cuenca considerada, se realizó el estudio en las siguientes etapas:

Recopilación de Información: comprende la recolección, evaluación y análisis de la documentación existente como cartográfica, pluviométrica e hidrométrica en el área de estudio.

Trabajos de Campo: consiste en un recorrido por la cuenca en estudio para su evaluación y observación de las características, relieve y aspectos hidrológicos de los mismos, así como la granulometría del material del lecho.

Fase de gabinete: consiste en el procesamiento, análisis y determinación de los parámetros de diseño.

Tabla 2: Disponibilidad hídrica en la zona de estudio.

DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LOS AFLUENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO		
QUEBRADA	Q (L/S)	Q NECESARIOS (L/S)
A	1500.00	200.00
B	2000.00	
C	3500.00	

Fuente: Elaboración propia.

La disponibilidad hídrica de la quebrada "A" es la suficiente para abastecer de un caudal requerido de 200.00 ~~lt/seg.~~ ^{l/s} para dotar con recurso hídrico para la para las pozas y la minicentral proyectadas en el presente proyecto.

**ANEXO 04: FACTURA QUE CERTIFICA LA COMPRA DE LA LICENCIA
UTILIZADA PARA FINES EstrictAMENTE ACADÉMICOS EN EL
PRESENTE INFORME FINAL DE TESIS**



Jimmy Anghelo Farias Benites
06801
Perú

Factura

Número de referencia: 501344049
(necesario para todas las consultas)

Fecha de facturación: 29 abr 2025
Número de facturación: AKD-736118304956

Información de la factura

N.º	Nombre del producto	Cant.	IVA	Precio a pagar
1	SOLIDWORKS Student Edition 2025 Entrega: electrónico	1	18 %	247,79 PEN
Subtotal:				247,79 PEN
IVA (18 % de 247,79 PEN):				44,60 PEN
Importe total:				292,39 PEN

Salvo que se indique lo contrario, la fecha de entrega coincide con la fecha de facturación.

Total a pagar:
292,39 PEN

Datos de pago

Su tarjeta de crédito (xxxxxxxxxxxx7) ha sido autorizada correctamente. Por favor, tenga en cuenta que el cargo en su tarjeta de crédito aparecerá como "CBA*CLEVERBRIDGE AG".

Si desea cancelar su compra, siga las instrucciones del último correo electrónico que le enviamos o póngase en contacto con nuestro servicio de atención al cliente: support.cleverbridge.com.

Cleverbridge GmbH es el vendedor en esta transacción.
Tunisstr. 19-23, 50667, Colonia, Alemania

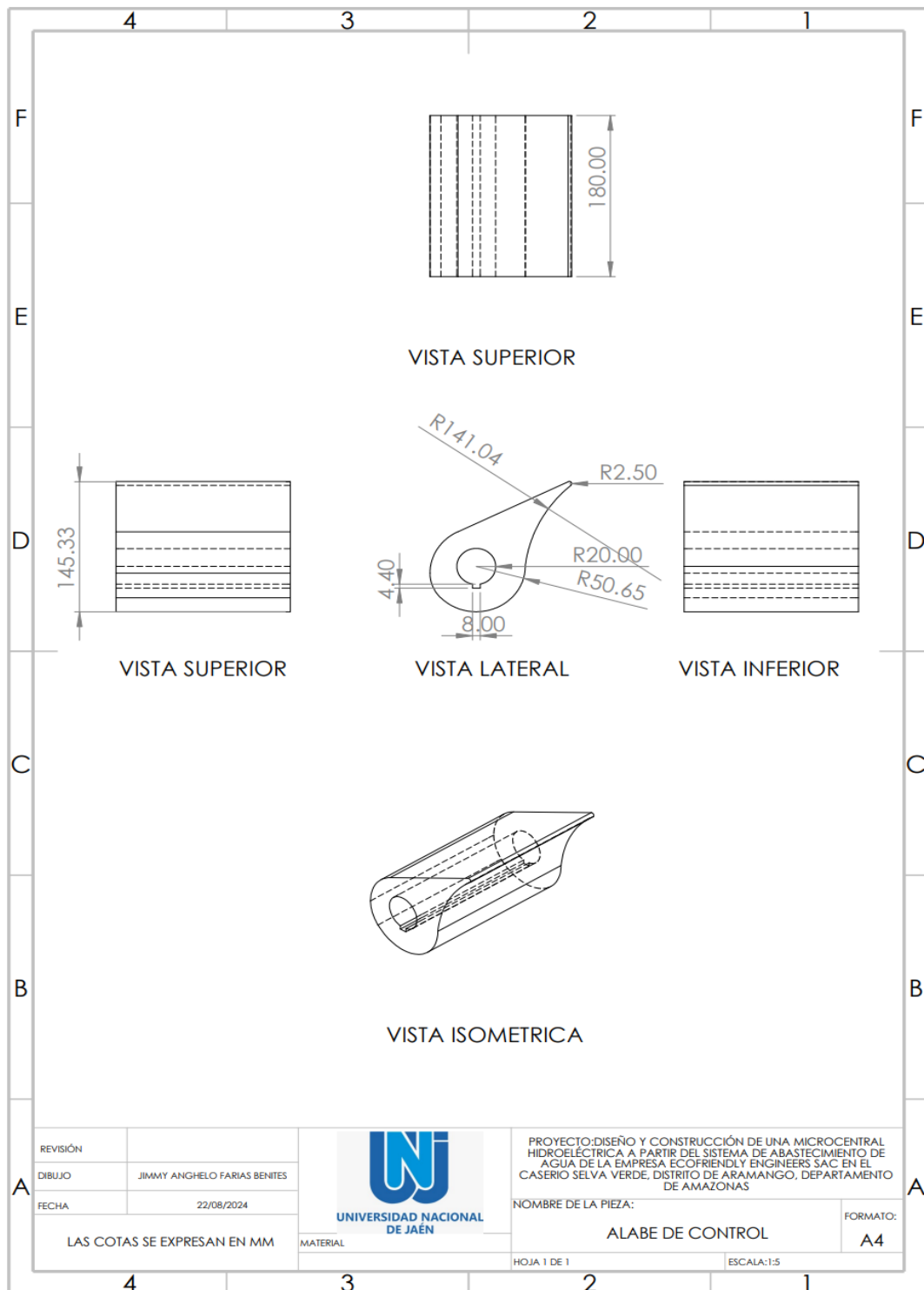
Dirección ejecutiva:
Richard J. Stevenson, Markus Scheuermann, Radu
Immenroth

Tribunal de registro: Tribunal municipal de
Colonia / HRB 111750
Número RUC: 20613400363

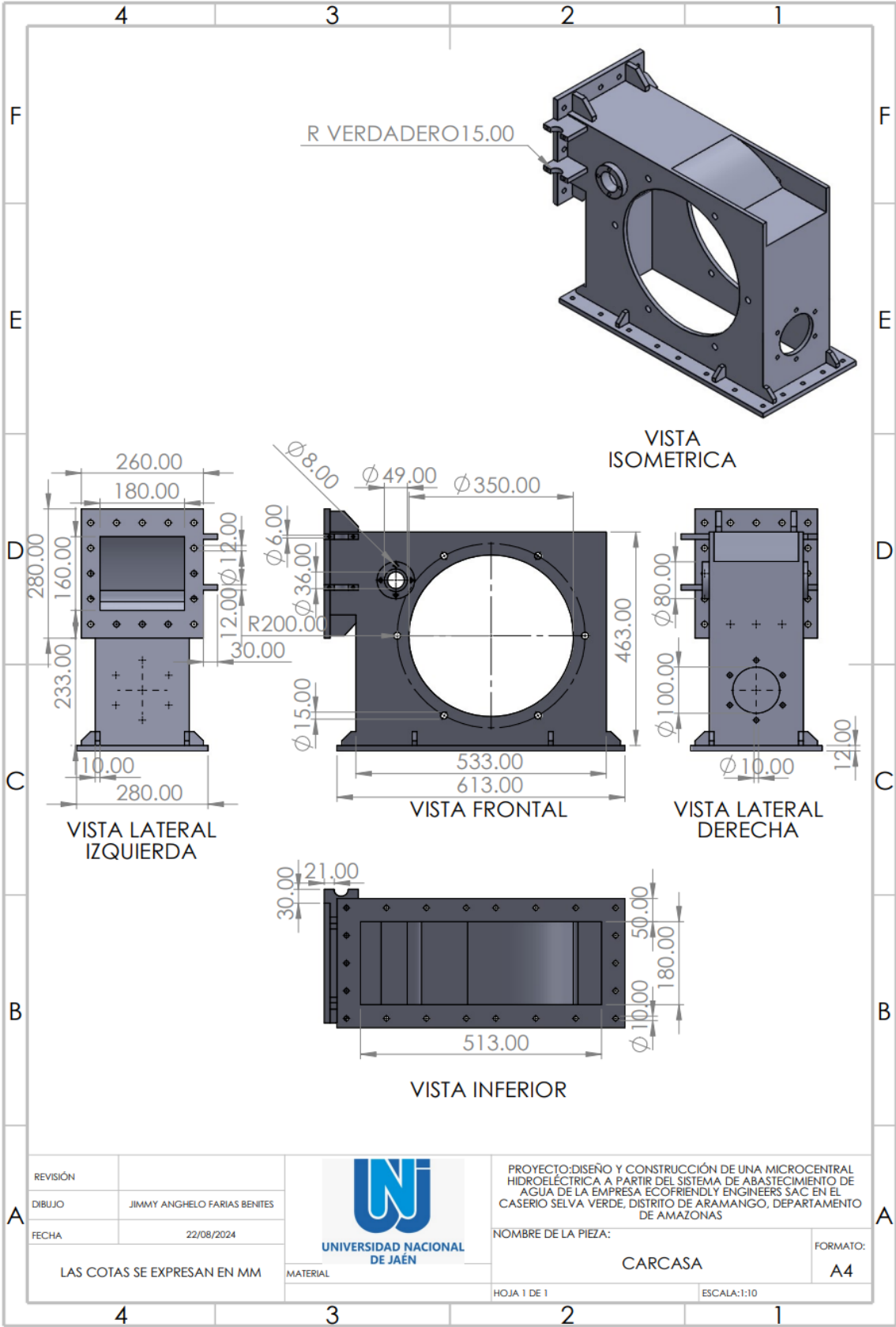
Datos bancarios:

Titular de la cuenta: Cleverbridge GmbH
Número de cuenta: 0192144405
Código de identificación bancaria: 37070060
Nombre de la entidad bancaria: Deutsche Bank
IBAN: DE04370700600192144405
BIC (SWIFT): DEUTDE33XXX

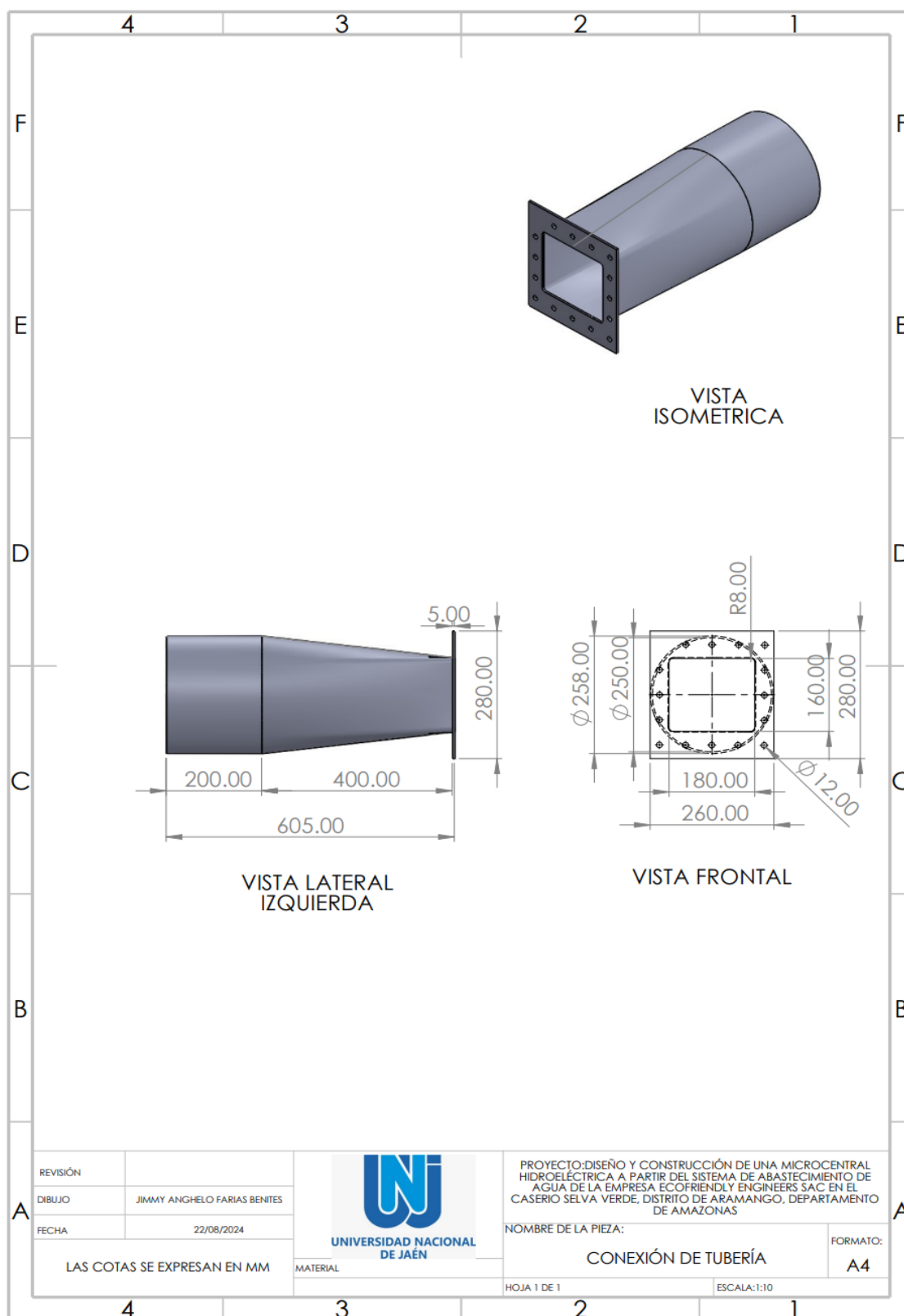
ANEXO 05: PLANO DEL REGULADOR DE CAUDAL O ÁLABE DE CONTROL DE LA TURBINA



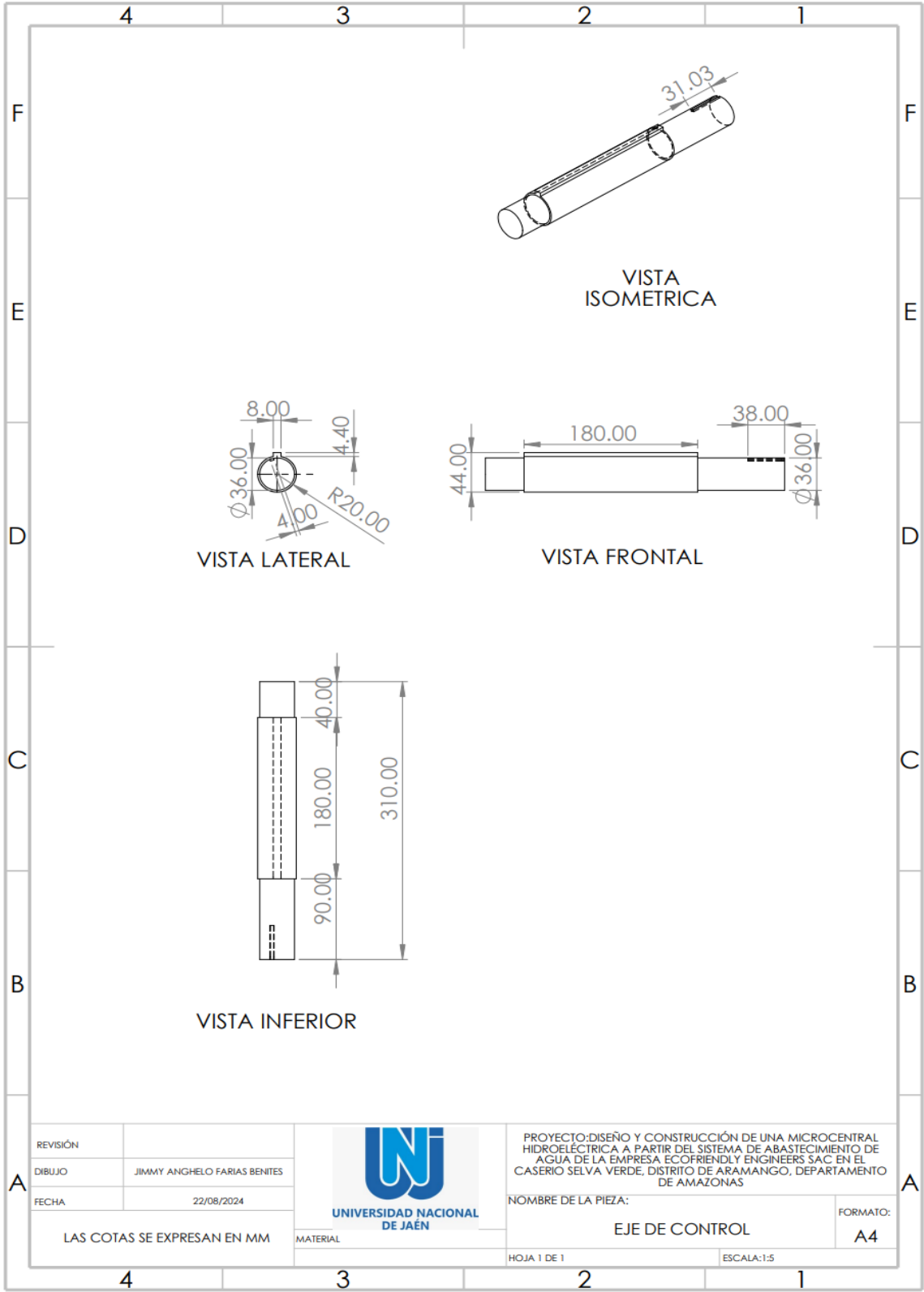
ANEXO 06: PLANO DE LA CARCASA DE LA TURBINA



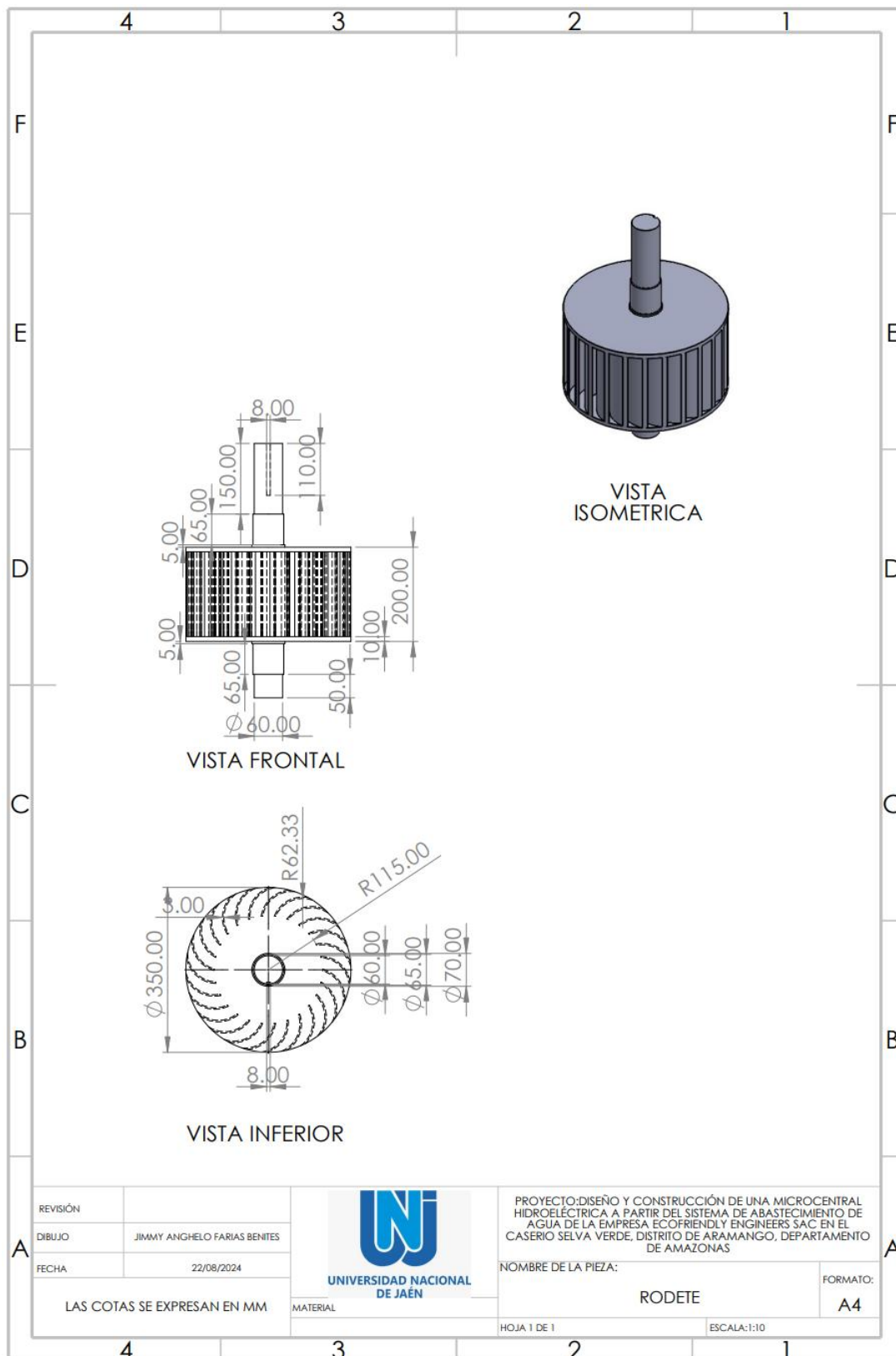
ANEXO 07: PLANO DEL INYECTOR DE TURBINA O CONEXIÓN DE TUBERÍA DE LA TURBINA



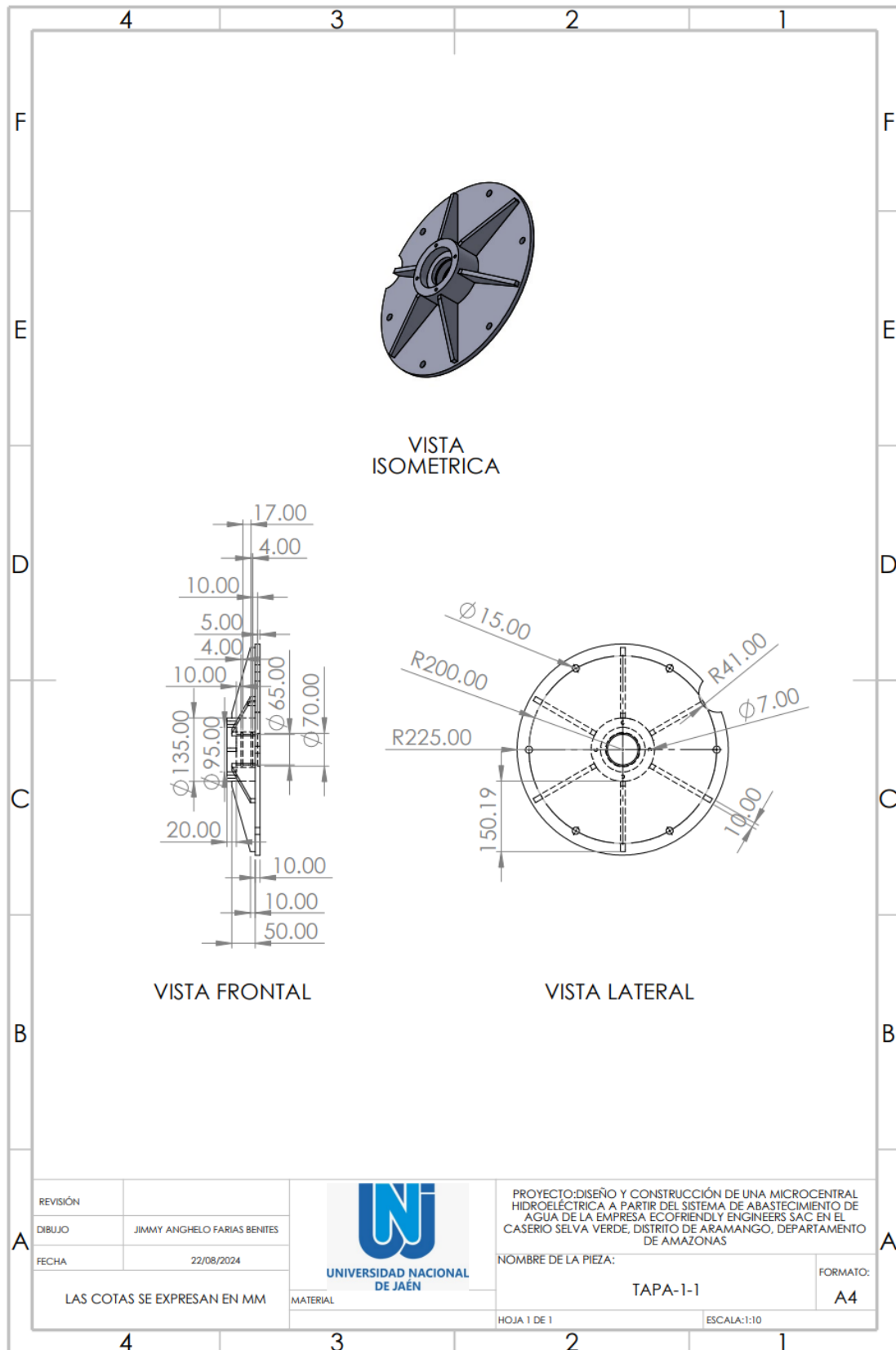
ANEXO 08: PLANO DEL EJE DE CONTROL DEL REGULADOR DE CAUDAL DE LA TURBINA



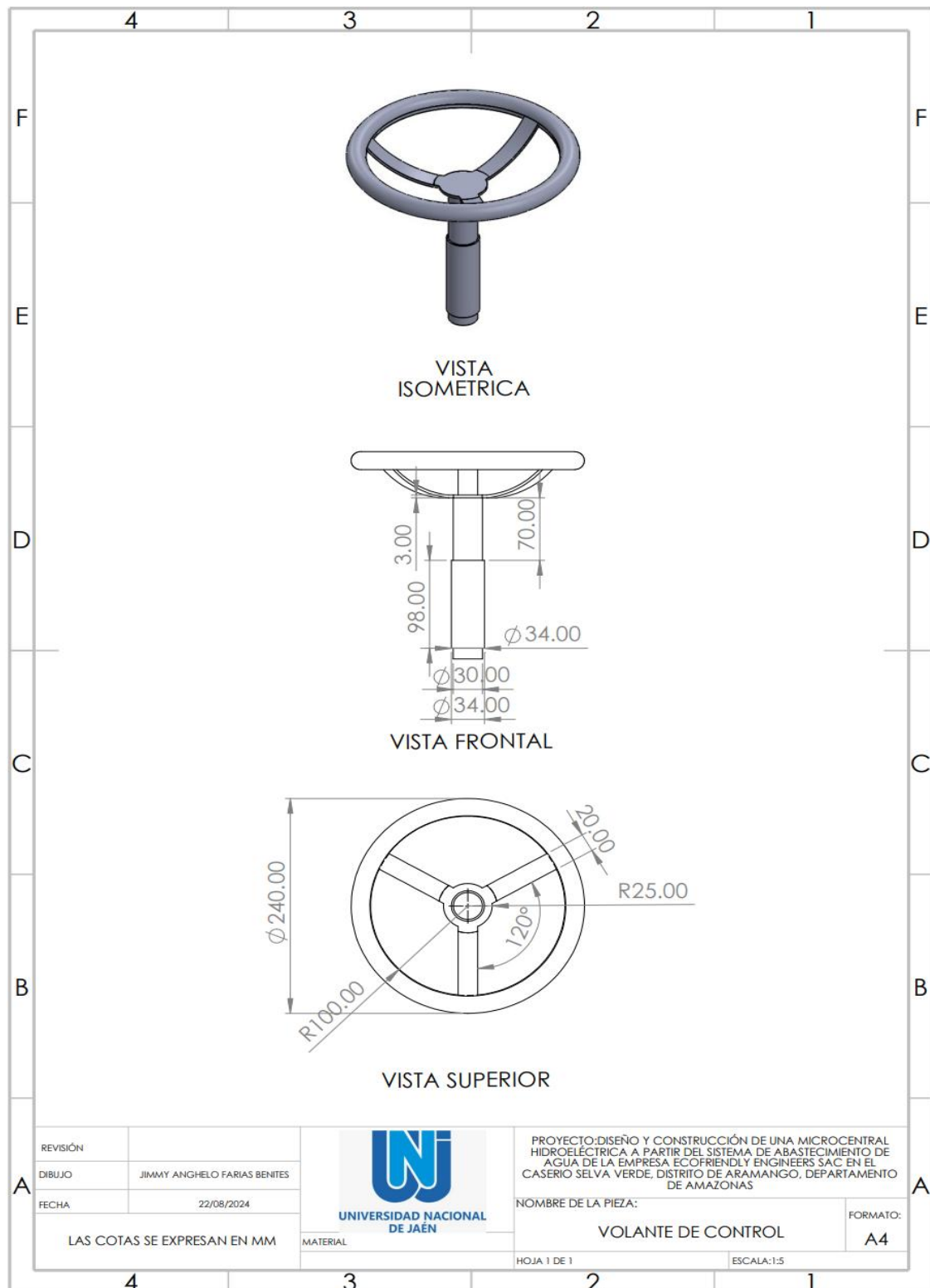
ANEXO 09: PLANO DEL RODETE, ÁLABES Y SU EJE DE LA TURBINA



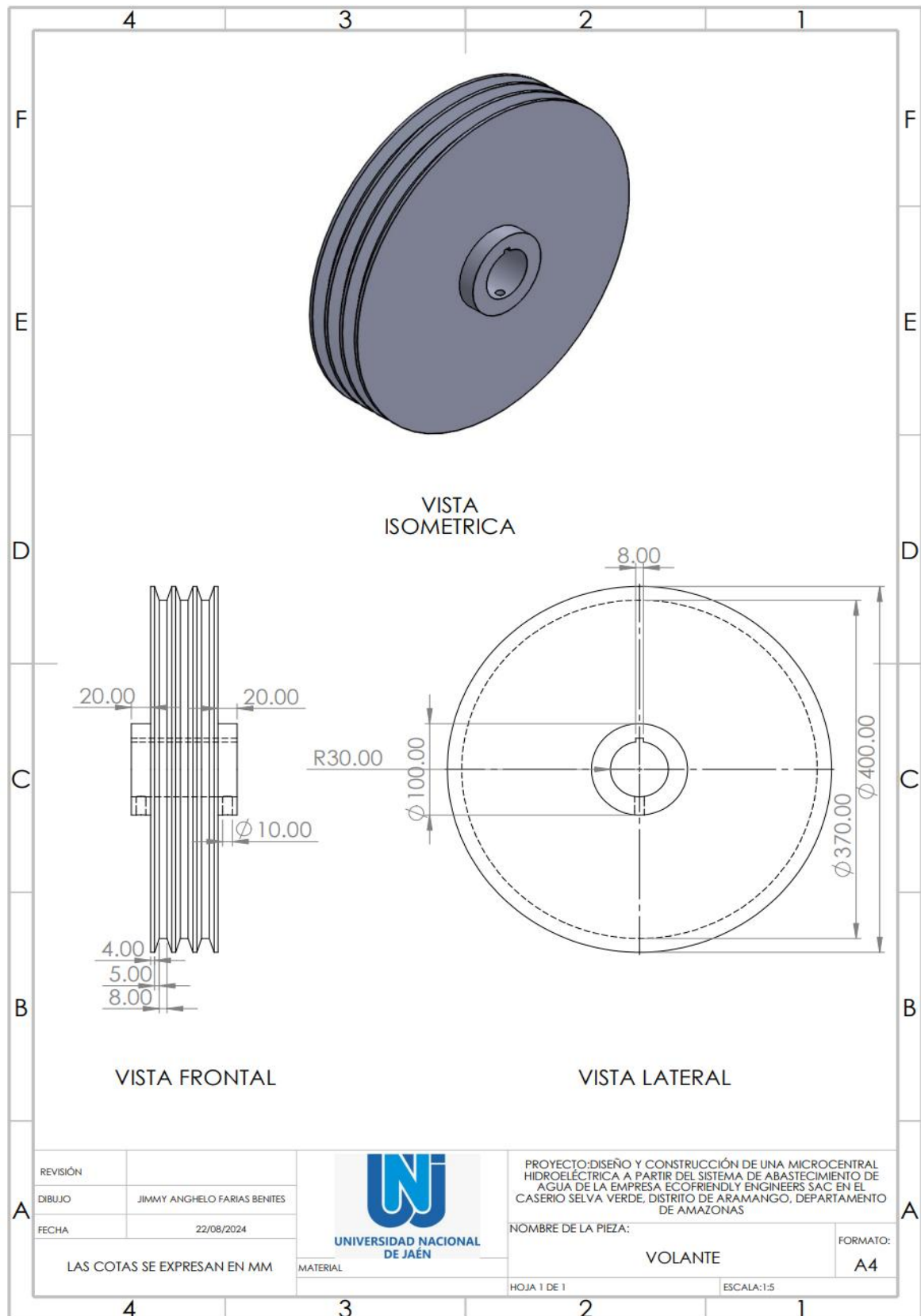
ANEXO 10: PLANO DE LA TAPA COMO ACCESORIO DE LA TURBINA



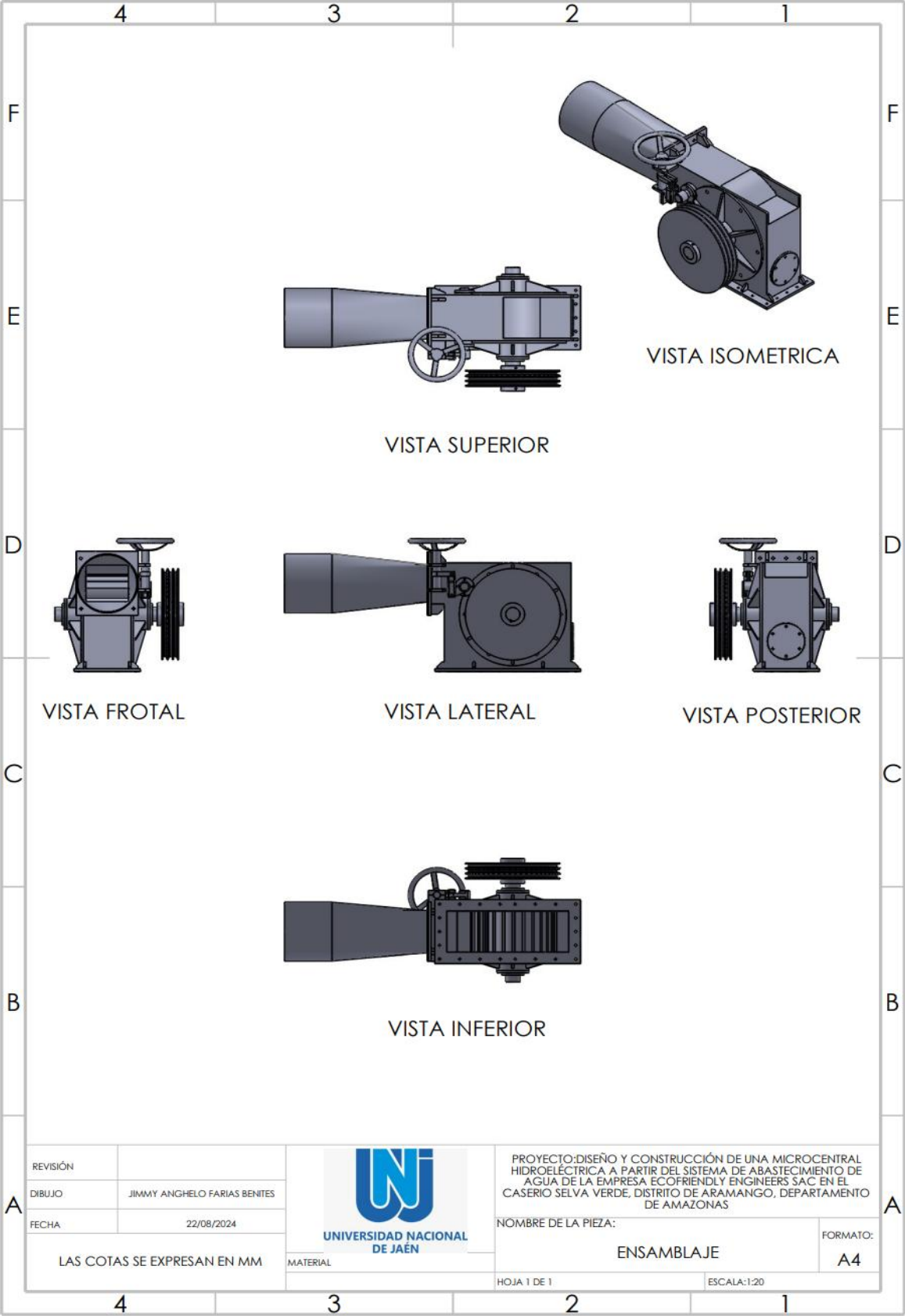
ANEXO 11: PLANO DE LA VOLANTE DEL REGULADOR DE CAUDAL DE LA TURBINA



ANEXO 12: PLANO DE LA VOLANTE O POLEA DE LA TURBINA



ANEXO 13: PLANO DEL ENSAMBLAJE TOTAL DE LA TURBINA



ANEXO 14: PLANO DE EJECUCION DE OBRA DE MICROCENTRAL HIDROELECTRICA

