



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PICO CENTRAL  
HIDROELÉCTRICA DE 500 W MEDIANTE UNA TURBINA  
TURGO EN EL SECTOR GUADALUPE”**

PROPUESTA TECNOLÓGICA PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

**AUTOR:**  
Victor Marcelo Toapanta Guano

**TUTOR:**  
MsC. Cristian Fabián Gallardo Molina

LATACUNGA, AGOSTO 2024

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Yo Toapanta Guano Victor Marcelo declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UNA PICO CENTRAL HIDROELECTRICA DE 500 W MEDIANTE UNA TURBINA TURGO EN EL SECTOR GUADALUPE**, siendo MsC. Cristian Gallardo tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, agosto 2024

  
.....

Toapanta Guano Victor Marcelo  
C.C.: 180553084-5

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN**

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UNA PICO CENTRAL HIDROELECTRICA DE 500 W MEDIANTE UNA TURBINA TURGO EN EL SECTOR GUADALUPE”**, de Toapanta Guano Victor Marcelo, de la carrera de Ingeniería Electromecánica considero que dicho Informe Investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, agosto 2024

El Tutor

Firma



MsC. Cristian Fabian Gallardo Molina

C.C.: 050284769-2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

### APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS; por cuanto, el postulante, Toapanta Guano Victor Marcelo con el título de Proyecto de titulación: DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UNA PICO CENTRAL HIDROELECTRICA DE 500 W MEDIANTE UNA TURBINA TURGO EN EL SECTOR GUADALUPE, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar el CD correspondiente, según la normativa institucional.

Latacunga, agosto 2024

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)

Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso

CC: 175836725-2

Lector 2

Ing. Carlos Francisco Pacheco Mena

CC: 050307290-2

Lector 3

Ing. Segundo Ángel Cevallos Betún

CC: 050178243-7

### **AGRADECIMIENTO**

*En primer lugar, agradezco a Dios por darme la oportunidad de seguir vivo y poder llegar a este punto de mi vida para poder alcanzar una meta más en mi vida. También quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi madre, cuyo amor, apoyo y sacrificio incondicional han sido fundamentales en cada paso de este camino. Sin su guía y fortaleza, este logro no hubiera sido posible. A mis compañeros de estudio, por su camaradería y por compartir juntos los desafíos y logros de esta etapa de universitario, por la las anécdotas y momentos vividos juntos siempre los recordare con alegría.*

*Finalmente, al Ing. Cristian Gallardo tutor de mi proyecto de grado quien con su paciencia, apoyo y recursos proporcionados ha sido vital para la culminación de este trabajo.*

**Victor Toapanta**

### ***DEDICATORIA***

*Dedico este proyecto principalmente a mi madre Lilia Luzmila Guano Ushiña, quien es mi mayor fuente de inspiración y que su amor, sacrificio y apoyo incondicional ha sido la luz en mi camino y la fuerza que me impulsa a seguir adelante, gracias a usted he logrado culminar un logro más en mi vida. A mi familia que estuvo ahí para apoyarme en todo y darme sus consejos que me ayudaron a no rendirme. A mis profesores y mentores, por compartir su conocimiento y guiarme con sabiduría y dedicación. Y finalmente, a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido a la realización de este sueño.*

***Victor Toapanta***

## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

### FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**Título: Diseño e implementación de una Pico central hidroeléctrica de 500 W en el sector Guadalupe**

**Autor:** Toapanta Guano Victor Marcelo

**Tutor:** MsC. Gallardo Molina Cristian Fabian

#### RESUMEN

En esta tesis de grado se describe detalladamente el diseño e implementación de una pico central hidroeléctrica, cuyo objetivo es aprovechar el recurso natural del agua para suministrar energía eléctrica en una ubicación específica del sector "Guadalupe," que actualmente carece de suministro eléctrico proporcionado por la empresa encargada de dotar de este servicio. El objetivo principal es demostrar que una pico central hidroeléctrica de 500 W puede proporcionar una fuente de energía eléctrica sostenible y eficiente para comunidades rurales con acceso limitado a la red eléctrica. La metodología adoptada se articula en varias etapas fundamentales. En primer lugar, se llevó a cabo la recopilación de datos hidrológicos y geográficos, obteniendo un caudal de 2 L/s y un salto de agua de 31 m, parámetros considerados óptimos para la Microhidráulica adquirida. Durante la fase de diseño, se seleccionaron cuidadosamente los materiales y tecnologías más adecuados, incluyendo tubería de polietileno de 1 1/5 "de alta densidad, que permitió mantener una presión operativa de 44,1 PSI y generar la energía necesaria. La implementación del sistema se ejecutó con éxito, alcanzando una potencia eléctrica de 0,5 kW, cumpliendo así con los 500 W previstos. Durante la etapa de ejecución, se construyó la infraestructura necesaria, seguida de pruebas preliminares y ajustes conforme a los resultados obtenidos. Finalmente, se concluyó que el sistema operó de manera estable y eficiente, manteniendo una frecuencia de 60 Hz y un voltaje de 124,9 V, en condiciones óptimas al abrir la válvula hasta el 30%, equivalente a 1,5 vueltas.

**PALABRAS CLAVE:** Pico central hidroeléctrica; Caudal; Salto de agua; Energía eléctrica; Potencia eléctrica

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI  
FACULTY OF ENGINEERING SCIENCES AND APPLIED**

**THEME: “DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A 500 W HYDROELECTRIC  
POWER PLANT PEAK IN THE GUADALUPE SECTOR”**

**Author:**

Toapanta Guano Victor Marcelo

**Abstract:**

This thesis describes in detail the design and implementation of a hydroelectric power plant peak, whose objective is to take advantage of the natural resource of water to supply electricity in a specific location of the "Guadalupe" sector, which currently lacks electricity supply provided by the company in charge of providing this service. The main objective is to demonstrate that a 500 W hydroelectric power plant peak can provide a sustainable and efficient source of electrical energy for rural communities with limited access to the electricity grid. The methodology adopted is articulated in several fundamental stages. Firstly, the collection of hydrological and geographical data was carried out, obtaining a flow rate of 2 L/s and a waterfall of 31 m, parameters considered optimal for the acquired Microhydraulics. During the design phase, the most suitable materials and technologies were carefully selected, including 1 1/5" high density polyethylene pipe, which allowed to maintain an operating pressure of 44.1 PSI and generate the necessary energy. The implementation of the system was executed successfully, reaching an electric power of 0.5 kW, thus fulfilling the planned 500 W. During the execution stage, the necessary infrastructure was built, followed by preliminary tests and adjustments according to the results obtained. Finally, it was concluded that the system operated stably and efficiently, maintaining a frequency of 60 Hz and a voltage of 124.9 V, in optimal conditions when opening the valve up to 30%, equivalent to 1.5 turns.

**Keywords:** Hydroelectric power plant peak; Flow rate; Waterfall; Electric power; Electric power

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS  
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**Author:**

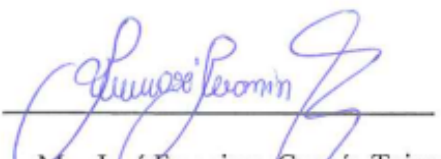
Toapanta Guano Victor Marcelo

**AVAL DE TRADUCCIÓN - PROFESIONAL EXTERNO**

Yo Guanín Taipe José Francisco, en calidad de docente de inglés con cédula de identidad número: 1804031274, Magister en enseñanza de inglés como Lengua Extranjera con número de registro de la SENESCYT No. 1010-2024-2873443; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: **TÍTULO: “DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UNA PIDOCENTRAL HIDROELECTRICA DE 500 W MEDIANTE UNA TURBINA TURGO EN EL SECTOR GUADALUPE”** de: **Toapanta Guano Victor Marcelo** de la carrera de **Electromecánica**, perteneciente a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

En virtud de lo expuesto y para constancia de lo mismo se registra la firma respectiva.

Latacunga, 20 de agosto del 2024

  
Mg. José Francisco Guanín Taipe  
C.I: 180403127-4  
Email: jguanin1274@uta.edu.ec  
Contacto: 0999021697

## INDICE GENERAL

<b>INDICE GENERAL .....</b>	<b>x</b>
<b>1. INFORMACIÓN GENERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
2.1. SITUACION PROBLÉMICA .....	1
2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN .....	3
2.3.1. Objeto de Investigación: Generar electricidad mediante un salto de agua.....	3
2.3.2. Campo de Acción: 3305 Tecnología de la Construcción .....	3
2.4. BENEFICIARIOS .....	3
2.4.1. Directo .....	3
2.4.2. Indirecto.....	3
2.5. JUSTIFICACIÓN .....	3
2.6. OBJETIVOS .....	4
2.6.1. General.....	4
2.6.2. Específicos.....	4
2.6.3. Sistema de tareas .....	5
<b>3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....</b>	<b>6</b>
3.1. ANTECEDENTES .....	6
3.2. MARCO TEÓRICO .....	6
3.2.1. Central hidroeléctrica .....	7
3.2.2. Pico centrales hidroeléctrica.....	8
3.2.3. Turbinas .....	9
3.2.4. Turbina Turgo.....	11
3.2.5. Características generales.....	12
3.2.6. Principio de funcionamiento.....	13
3.2.7. Partes de una turbina Turgo.....	14

3.3.	Generador.....	17
3.3.1.	Principio de funcionamiento.....	17
3.3.2.	Tipos de generadores .....	17
3.4.	Generadores Síncronos .....	17
3.4.1.	Parámetros del generador .....	18
3.4.2.	Velocidad de rotación de un generador síncrono .....	19
3.4.3.	Componentes del generador .....	19
3.5.	Recursos hídricos y potencial hidroeléctrico .....	20
3.5.1.	Salto neto .....	20
3.5.2.	Caudal disponible .....	20
3.5.3.	Potencial energético en redes de distribución de agua .....	20
<b>4.</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>21</b>
4.1.	Diseño de la investigación .....	21
4.2.	Fase de planificación .....	23
4.2.1.	Ubicación geográfica.....	23
4.2.2.	Caraterísticas del proyecto.....	23
4.2.3.	Recolección de datos .....	24
4.3.	Diseño del sistema .....	26
4.3.1.	Cálculo de parámetros requeridos .....	26
4.3.2.	Componentes de generación.....	30
4.3.3.	Selección de componentes hidráulicos para la PCH .....	30
4.3.4.	Selección de los componentes eléctricos.....	32
4.4.	Implementación .....	33
4.4.1.	Construccion de componentes mecanicos .....	33
4.4.2.	Obra civil.....	34
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>40</b>
5.1.	Cálculo de parámetros para el dimensionamiento del sistema hídrico.....	41

5.1.1.	Altura bruta (m) .....	41
5.1.2.	Diámetro de la tubería de presión.....	41
5.1.3.	Área de la sección transversal de una tubería.....	42
5.1.4.	Velocidad del agua .....	42
5.1.5.	Pérdidas de carga en accesorios hidráulicos.....	42
5.1.6.	Altura neta .....	43
5.1.7.	Potencia .....	43
5.1.8.	Presión .....	43
5.1.9.	Almacenamiento.....	43
5.2.	Obra civil .....	45
5.3.	Cálculo de parámetros para el diseño eléctrico.....	45
5.3.1.	Interruptor termomagnético.....	45
5.3.2.	Calibre del conductor.....	45
5.3.3.	Caída de tensión .....	46
5.4.	Pruebas y Resultados .....	47
5.4.1.	Primera prueba (en vacío).....	49
5.4.2.	Segunda prueba (con cargas).....	49
5.4.3.	Verificación del proyecto implementado .....	50
5.5.	Análisis Económico .....	53
5.5.1.	Costos de Implementación .....	53
5.5.2.	Análisis de Retorno de Inversión (ROI) .....	53
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>54</b>
<b>7.</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>55</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>1</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes de una central hidroeléctrica [7].	8
Figura 2. Diagrama de una pico central hidroeléctrica.	9
Figura 3. Turbina Turgo de Eje Horizontal [12].	12
Figura 4. Turbina Turgo de Eje Vertical [12].	12
Figura 5. Comparativa de ángulo de incidencia del chorro de agua sobre álabes entre Turbina Pelton y Turgo [12].	14
Figura 6. Rodete de una Turbina Turgo [14].	15
Figura 7. Distribuidor de una Turbina Turgo [14]	15
Figura 8. Álabes de una Turbina Turgo [14].	16
Figura 9. Carcasa de una Turbina Turgo [14].	16
Figura 10. Inyector de una Turbina Turgo [14].	17
Figura 11. Esquema general del generador síncrono [16].	18
Figura 12. Ley de inducción de Lenz Faraday [16].	19
Figura 13. Componentes del generador [14].	20
Figura 14. Diagrama de procesos para el desarrollo de una PCH.	22
Figura 15. Ubicación geográfica [18].	23
Figura 16. Aproximación de la altimetría y ubicación de la tubería para la turbina [19].	25
Figura 17. Medición de la altimetría.	25
Figura 18. Microhidráulica de 500 W.	30
Figura 19. Construcción de la base de acero.	34
Figura 20. Embalse de la PCH.	34
Figura 21. Manguera conductora.	35
Figura 22. Preparación del suelo para la base de la casa de máquinas.	36
Figura 23. Construcción de la base de la CM.	36
Figura 24. Construcción de la casa de máquinas.	37

Figura 25. Conexión del flujo de caudal a la turbina. ....	38
Figura 26. Montaje de la Microhidráulica. ....	38
Figura 27. Panel de control. ....	39
Figura 28. Tomacorriente instalado con una carga de 10 W. ....	39
Figura 29. Conexión eléctrica completa. ....	40
Figura 30. Datos de la Microhidráulica tipo turgo. ....	41
Figura 31. Calibres de conductores.[9]. ....	46
Figura 32. Tres puntos de iluminación. ....	47
Figura 33. Cargador de celular. ....	47
Figura 34. Funcionamiento de la Microhidráulica en vacío. ....	48
Figura 35. El multímetro permitió medir la corriente y voltaje generados. ....	48
Figura 36. Grafica de consumos de corriente por elemento. ....	49
Figura 37. Gráfica de caudal en función de la apertura de la válvula. ....	51
Figura 38. Caudal vs Voltaje medido. ....	51
Figura 39. Caudal vs Potencia. ....	52

### **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1: Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO. ....	1
Tabla 2: Campo de acción UNESCO. ....	3
Tabla 3: Sistema de Tareas. ....	5
Tabla 4: Datos del caudal. ....	24
Tabla 5: Datos geográficos. ....	26
Tabla 6. Comparación de las tuberías de presión [21]. ....	31
Tabla 7. Parámetros de la tubería forzada. ....	31
Tabla 8. Parámetros obtenidos para el diseño. ....	44
Tabla 9. Resultados de la segunda prueba. ....	49

Tabla 10: Valores de comportamiento del sistema. ....	50
Tabla 11. Costos de implementación. ....	53
Tabla 12. Ingresos y ROI. ....	53

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Tema:** Diseño e implementación de una pico central hidroeléctrica de 500 W mediante una turbina Turgo en el sector Guadalupe.

**Modalidad de Titulación:** Propuestas Tecnológicas

**Carrera:** Ingeniería Electromecánica.

**Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto:** Diseño e Implementación de pico centrales hidroeléctricas en Comunidades Rurales para el Desarrollo Sostenible

**Equipo de Trabajo:** Toapanta Guano Victor Marcelo

**Área de Conocimiento:** Ingeniería, Industria y Construcción

Tabla 1: Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO

07 Ingeniería, Industria y Construcción	071 Ingeniería y Profesiones	0711 Ingeniería y procesos químicos.
		0712 Tecnología de protección del medio ambiente
		0713 Electricidad y energía.
		0714 Electrónica y automatización
		0715 Mecánica y metalurgia
		0716 Motor de vehículos, embarcaciones y aeronaves.

**Línea de investigación:** Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

**Sublíneas de investigación de la Carrera:** Energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía.

## 2. INTRODUCCIÓN

### 2.1. SITUACION PROBLÉMICA

En la actualidad todo individuo tiene la necesidad de contar con los servicios básicos en especial con la energía eléctrica la cual es una forma de energía fundamental para el desarrollo de la sociedad moderna. De esta forma su uso generalizado ha transformado en las personas su forma de vivir, trabajar y comunicar; cuyos elementos están relacionados constantemente con el desarrollo humano y con el impacto innegable en la actualidad.

En la actualidad, la electricidad, el transporte automatizado y la tecnología de la información son esenciales para el progreso económico y constituyen pilares de la sociedad contemporánea.

Por lo tanto, las fuentes y sistemas energéticos que satisfacen estas necesidades de manera confiable y económica se consideran "modernos"[1].

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha destacado que, a nivel global, el 20% de la población aún no tiene acceso a la electricidad y una proporción aún mayor enfrenta cortes de suministro persistentes. Alcanzar un acceso universal a una energía eléctrica asequible, confiable, sostenible y moderna es esencial para el desarrollo global en el siglo XXI.

Aunque no se dispone de todas las soluciones para este desafío y las disponibilidades no siempre son evidentes, es posible encontrar y adaptar soluciones a distintas escalas. Esta meta es alcanzable si las organizaciones internacionales demuestran visión, los gobiernos colaboran de manera efectiva y se proporcionan incentivos y recursos adecuados a las comunidades y personas [1].

En Latinoamérica, en las áreas de difícil acceso que no están conectadas a la red eléctrica, es común el uso de generadores diésel para proporcionar electricidad. Aunque esta solución es relativamente fácil de implementar, presenta varios inconvenientes que sugieren la necesidad de considerar alternativas. Las principales desventajas de los generadores diésel incluyen el alto costo de generación, debido al precio del combustible y los gastos de mantenimiento, la disponibilidad limitada de electricidad y la emisión de contaminantes [2].

A nivel nacional, el acceso a los servicios eléctricos contribuye a reducir la marginalidad, aumentar la seguridad ciudadana y mejorar la salud pública y la educación. Facilita el acceso a la información y el entretenimiento a través de radio y televisión, transformando la vida cotidiana, y permite el almacenamiento adecuado de alimentos mediante refrigeradores, lo que incrementa el confort de las personas.

En Ecuador, la electrificación rural representa un desafío significativo para el gobierno en su esfuerzo por alcanzar los objetivos de buen vivir para las poblaciones campesinas. El suministro de energía es fundamental para reducir la pobreza y marginalidad, mejorar las condiciones sanitarias, y promover el crecimiento económico mediante una mayor competitividad y aumento de la producción agrícola.

Actualmente, se disponen de diversas estrategias para llevar electricidad a los hogares en comunidades rurales aisladas, como la extensión de redes eléctricas, las micro redes o redes aisladas, y los sistemas domiciliarios [3].

## 2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La falta de acceso de la energía eléctrica en la casa de guardia del sector Guadalupe produce graves consecuencias en la viabilidad técnica y económica del área esto debido a la ausencia de una red de distribución eléctrica. Esta deficiencia deteriora la calidad de vida de los residentes y la habitabilidad del área.

## 2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

**2.3.1. Objeto de Investigación:** Generar electricidad mediante un salto de agua.

**2.3.2. Campo de Acción:** 3305 Tecnología de la Construcción

Tabla 2: Campo de acción UNESCO

3305 tecnología de la Construcción	
330506	Ingeniería Civil
330507	Presas
330515	Ingeniería Hidráulica

## 2.4. BENEFICIARIOS

### 2.4.1. Directo

- La persona encargada de la casa de guardia el cual tendrá acceso a la energía eléctrica.

### 2.4.2. Indirecto

- La comunidad local, en donde los moradores del barrio Guadalupe podrán beneficiarse de la infraestructura mejorada y el acceso a energía más confiable con el fin de rehabilitar la casa de guardia del agua potable en el sector Salviapamba.

## 2.5. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, es indispensable que cada individuo tenga acceso a un suministro eléctrico que fomente el progreso económico y social, satisfaciendo así las necesidades humanas. En este sentido, las instituciones actuales se han convertido en una fusión de infraestructura, procedimientos y distribución eléctrica, cuyos componentes están intrínsecamente ligados a la mejora de la calidad de vida de la población en general.

Este presente estudio es factible dado que cuenta con los recursos financieros, el personal capacitado y las fuentes de información necesarias que se requieren para su realización.

El trabajo posee un valor metodológico significativo, ya que se aprovecha el recurso hídrico disponible para la implementación de una pico central hidroeléctrica.

El estudio busca aportar al campo disciplinario de la electrificación, especialmente en el ámbito nacional y específicamente en el sector de Guadalupe. Se centra en la relevancia de la instalación de redes eléctricas como un componente fundamental para potenciar el bienestar y progreso en el sector. Este enfoque busca impulsar la productividad, fortalecer la economía local y elevar la calidad de vida de los residentes.

## **2.6. OBJETIVOS**

### **2.6.1. General**

Implementar una pico central hidroeléctrica eficiente y sostenible de 500 W mediante una turbina Turgo en el sector Guadalupe para contribuir al mejoramiento del Buen Vivir y disminuir el impacto ambiental del proyecto.

### **2.6.2. Específicos**

- Investigar en artículos científicos, revistas de alto impacto sobre las Pico centrales hidroeléctricas.
- Diseñar un sistema de generación eléctrica mediante materiales y tecnologías adecuadas para una Pico central hidroeléctrica de 500 W.
- Implementar el sistema diseñado para la obtención de energía eléctrica a partir de una turbina Turgo.
- Evaluar el funcionamiento del sistema para la obtención de los 500W de energía eléctrica.

### 2.6.3. Sistema de tareas

Tabla 3: Sistema de Tareas

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Investigar en artículos científicos, revistas de alto impacto sobre las Pico centrales hidroeléctricas.	Elaboración de un plan de investigación.	Cronograma detallado de acción de proyecto.	Sitios web, artículos científicos, entre otros medios.
	Indagar y comparar diferentes investigaciones de varios autores referente al tema propuesto.	Adquisición de conocimientos para nuestra investigación.	
Diseñar un sistema de generación eléctrica mediante materiales y tecnologías adecuadas para una Pico central hidroeléctrica de 500 W.	Diseño de un sistema que se ajuste a las particularidades del proceso propuesto.	Obtener el modelado de los equipos para la PCH.	Software Fusion 360
	Verificación de la funcionalidad de nuestro diseño.	La correcta funcionalidad de los elementos diseñados.	Software Fusion 360
Implementar el sistema diseñado para la obtención de energía eléctrica a partir de una turbina Turgo.	Implementación de nuestros conocimientos para la construcción de los elementos diseñados.	Los elementos ya construidos para la implementación en el sistema.	Corte, soldadura, equipos electrónicos de construcción.
	Construcción de la obra civil.	El proyecto implementado en su totalidad.	Construcción civil con herramientas de albañilería.
Evaluar el funcionamiento del sistema para la obtención de los 500W de energía eléctrica.	Valoración de los resultados teniendo en cuenta la viabilidad del Proyecto.	Un buen funcionamiento y la obtención de energía eléctrica.	Comparación de resultados.
	Evaluación del porcentaje de energía eléctrica producida por el Sistema implementado.	Generar energía dentro de los parámetros esperados y respondiendo adecuadamente a las variaciones de caudal.	Recolección de datos a partir de aparatos digitales de medición.

### **3.FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **3.1. ANTECEDENTES**

En el siglo XIX, inventores de Francia, Inglaterra y Estados Unidos, como Jourdan, Jonval, Girard, Thomson, James Francis y Lester Allen Pelton, establecieron las bases para el desarrollo de la turbina. Este innovador dispositivo convierte la energía cinética del agua en movimiento rotatorio, marcando el inicio de un nuevo paradigma en la generación de energía eléctrica. Las primeras turbinas utilizaban agua a presión que se canalizaba a través de tuberías, lo que permitió la construcción de las primeras centrales hidroeléctricas [4].

Los sistemas hidráulicos en miniatura se han convertido en una tecnología de uso extendido a nivel mundial, especialmente en países como China, Nepal, Sri Lanka e Indonesia. Desde el siglo XXI, el interés en esta tecnología ha crecido en naciones en desarrollo, con investigaciones significativas en Cuba, México, y países latinoamericanos como Colombia, Perú y Chile. La energía hidráulica, con sus múltiples beneficios, se ha consolidado como el segundo recurso renovable más utilizado globalmente.

En Ecuador, la ubicación geográfica y la abundancia de recursos hídricos brindan un potencial extraordinario para el desarrollo de proyectos de aprovechamiento hidráulico, destacando la generación hidroeléctrica como la más relevante [5].

En el sector Guadalupe, situada en las afueras de la ciudad de Latacunga, no se dispone del servicio básico de energía eléctrica proporcionado por la empresa eléctrica a través del sistema interconectado. Sin embargo, se cuenta con una ventaja significativa: una notable diferencia de alturas en un punto de dicho sector. Estas condiciones ofrecen la posibilidad de aprovechar dicho recurso para la generación de energía eléctrica mediante la instalación de un sistema hidroeléctrico.

#### **3.2. MARCO TEÓRICO**

El estudio de la generación hidroeléctrica se ha consolidado como una pieza fundamental para la operación segura, estable y eficiente de los sistemas eléctricos a nivel mundial, posicionándose como la fuente de energía renovable más grande del planeta. Gracias a su capacidad para regular y equilibrar diversos sistemas de generación eléctrica, la hidroenergía se ha convertido en una tecnología indispensable en el panorama energético global.

### 3.2.1. Central hidroeléctrica

#### 3.2.1.1. Concepto de las centrales hidroeléctricas

Una central hidroeléctrica es una infraestructura civil diseñada para convertir la energía potencial del agua almacenada en trabajo mecánico, el cual se transforma en energía eléctrica. Estas plantas generan electricidad a gran escala y se sitúan cerca de fuentes de agua, como ríos, cascadas o embalses, para optimizar el aprovechamiento del recurso hídrico. La proximidad a estas fuentes es crucial para asegurar el uso eficiente del flujo de agua en la generación de electricidad, garantizando una operación continua y efectiva. Generalmente, una central hidroeléctrica necesita un recurso hidráulico con una altura mínima de 10 metros desde el punto de captación del agua hasta la ubicación de la turbina, lo cual es fundamental para asegurar un flujo adecuado y mantener la eficiencia en la producción de energía [6].

#### 3.2.1.2. Partes de una central hidroeléctrica

Las centrales hidroeléctricas son complejas instalaciones diseñadas para transformar la energía hidráulica en electricidad mediante varios componentes clave que operan en conjunto, como se muestra en la Figura 1:

- **Presa:** Estructura destinada a retener y almacenar agua, creando un embalse. La presa eleva el nivel del agua, aumentando su energía potencial.
- **Embalse:** Almacena el agua que se liberará para la generación de energía, asegurando un suministro constante para la planta.
- **Tubería Forzada:** Canal o tubería que transporta el agua desde la toma hasta las turbinas, soportando altas presiones.
- **Turbinas:** Máquinas hidráulicas que convierten la energía hidráulica en energía mecánica. El flujo de agua hace girar las palas de la turbina.
- **Generador:** Conectado a la turbina, convierte la energía mecánica en energía eléctrica mediante inducción electromagnética.
- **Transformador:** Ajusta el voltaje de la electricidad generada para su transmisión eficiente a largas distancias.
- **Casa de Máquinas:** Edificio que alberga las turbinas y generadores, protegiendo los equipos y facilitando su mantenimiento.

- **Descarga:** Compuertas que regulan la salida del agua utilizada, devolviéndola al río o cuerpo de agua después de pasar por las turbinas[7].

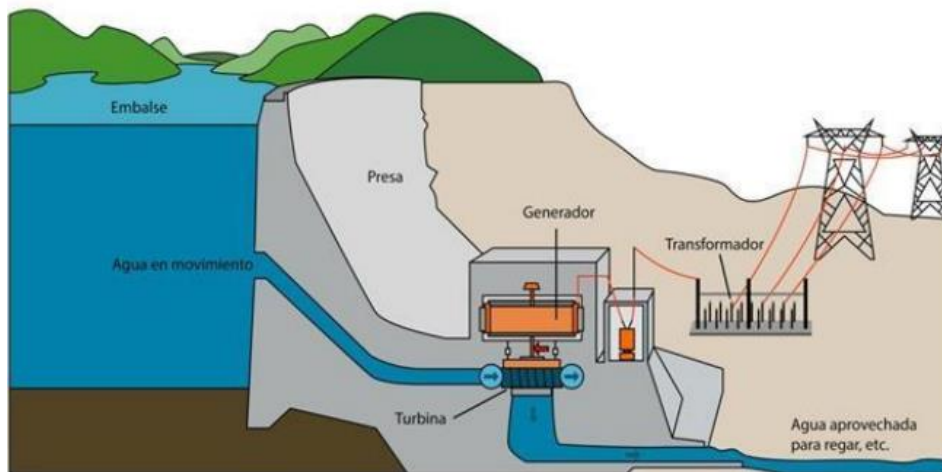


Figura 1. Partes de una central hidroeléctrica [7].

### 3.2.1.3. Tipos de centrales hidroeléctricas

Las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar en varios tipos, entre los cuales destacan:

- **Centrales de agua fluyente:** Estas centrales se sitúan directamente en el cauce de un río o utilizan un canal de derivación para aprovechar pequeños desniveles naturales con un gran caudal de agua. Son difíciles de gestionar porque no controlan el flujo de agua que las atraviesa, dependiendo en gran medida de las precipitaciones naturales.
- **Centrales de agua embalsada:** Este es el tipo más común de central hidroeléctrica. Utilizan un gran valle bloqueado por una presa de hormigón que actúa como depósito de agua. El agua almacenada se turbinada según la necesidad, lo que permite un mayor control sobre la generación de energía y una mejor gestión de los recursos hídricos [8].

### 3.2.2. Pico centrales hidroeléctrica

Una pico central hidroeléctrica es una instalación de generación de energía hidroeléctrica a pequeña escala, con una capacidad de producción que varía entre 1 y 5 kW. Estas unidades emergen como soluciones energéticas sostenibles, especialmente en zonas remotas y de difícil acceso donde la conexión a la red eléctrica convencional no es factible y, por ende, los servicios eléctricos básicos están ausentes. El principio operativo de estas picos centrales se fundamenta en la conversión de la energía potencial y cinética del agua en trabajo mecánico, el cual se convierte posteriormente en energía eléctrica, como se muestra en la Figura 2. Mediante el aprovechamiento del potencial hidráulico disponible, estas pequeñas centrales permiten la

generación de electricidad de manera limpia, eficiente y adaptada a las condiciones específicas de su entorno [6].

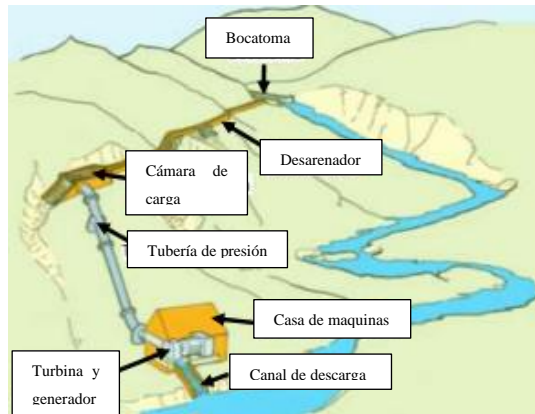


Figura 2. Diagrama de una pico central hidroeléctrica.

### 3.2.2.1. Ventajas de las pico centrales hidroeléctricas

Las ventajas de las centrales hidroeléctricas y pico centros incluyen:

- Es renovable: La energía hidroeléctrica proviene de recursos naturales que se renuevan continuamente, garantizando una fuente de energía sostenible a largo plazo.
- No se consume: El agua utilizada en el proceso no se consume; se toma de un punto y se devuelve a un nivel inferior, manteniendo el ciclo hídrico sin alteraciones significativas.
- Es segura
- A diferencia de otras fuentes de energía, no generan emisiones de contaminantes como la lluvia ácida o gases de efecto invernadero, contribuyendo a un ambiente más limpio y saludable.
- Proporcionan energía limpia, impulsan el desarrollo y mejoran la calidad de vida en las regiones donde se implementan.
- Las tecnologías y la experiencia adquiridas en el campo de la energía hidroeléctrica pueden ser fácilmente exportadas a países en desarrollo, facilitando su progreso y expansión en el sector energético [9].

### 3.2.3. Turbinas

Las turbinas hidráulicas son máquinas impresionantes que convierten la energía del agua en movimiento en energía mecánica. A diferencia de otros tipos de máquinas, estas turbinas operan utilizando las variaciones en la energía cinética del fluido. El proceso consiste en transformar

el flujo del agua en trabajo útil a medida que esta atraviesa un conjunto de álabes o palas. Este flujo de agua provoca una desviación y aceleración que impulsa las palas, generando así energía mecánica. [5].

### 3.2.3.1. Tipos de turbinas

Las turbinas hidráulicas se pueden clasificar según diversos criterios, como el principio de funcionamiento, la dirección del flujo, la altura de caída del agua y el tipo de construcción. A continuación, se presenta una clasificación general:

### 3.2.3.2. Turbinas de acción

Las turbinas de acción, también conocidas como turbinas de impulso, se destacan por su funcionamiento particular en el que la energía cinética del agua es la principal responsable de generar movimiento, mientras que la presión estática se mantiene constante a lo largo del paso del agua por el rotor. Estas turbinas se caracterizan por tener una admisión parcial y pueden instalarse con el eje en posiciones tanto horizontal como vertical. Son ideales para aplicaciones con grandes saltos de agua y caudales relativamente pequeños. Entre las turbinas de acción se incluyen:

#### a. Turbina Pelton:

- Utilizadas en altas caídas de agua con bajo caudal.
- El agua se dirige hacia los álabes de la turbina a través de toberas, produciendo chorros que impactan las cucharas o cangilones.
- Comúnmente usadas en plantas hidroeléctricas de alta montaña.

#### b. Turbina Turgo:

- Similar a la turbina Pelton, pero los chorros de agua impactan los álabes de la turbina en un ángulo.
- Adecuada para caídas de agua intermedias y caudales variables.

#### 3.2.3.2.1. Turbinas de reacción

Este tipo de turbinas, conocidas como turbinas de reacción, aprovechan tanto la energía de presión como la energía cinética del agua, lo que genera un gradiente de presión a lo largo del rotor. Son especialmente adecuadas para centrales hidroeléctricas con saltos de agua medianos y bajos, y caudales de medianos a altos. Entre las turbinas de reacción se encuentran:

#### a. Turbina Francis:

- Utilizada en caídas de agua medias con caudales elevados.

- El agua entra radialmente y sale axialmente después de pasar por los álabes.
- Muy versátil y una de las más comunes en plantas hidroeléctricas.

**b. Turbina Kaplan:**

- Diseñada para bajas caídas de agua con altos caudales.
- Presenta álabes ajustables en el rotor y estator, lo que permite una mayor eficiencia en diferentes condiciones de operación.
- Comúnmente utilizada en ríos y embalses con grandes volúmenes de agua, pero con poca altura.

**c. Turbina de Propela:**

- Similar a la turbina Kaplan, pero con álabes fijos.
- Menos eficiente que la Kaplan en operaciones variables, pero más simple y robusta.

**d. Turbina Bulbo:**

- Variante de la turbina Kaplan en la cual el generador está encapsulado en un bulbo sumergido en el agua.
- Adecuada para sitios con bajas caídas de agua y grandes caudales, similar a la Kaplan [10].

### 3.2.4. Turbina Turgo

Las turbinas Turgo, que pertenecen a la familia de las turbinas de acción, se distinguen por su diseño eficiente y son particularmente adecuadas para aplicaciones hidroeléctricas con características específicas. Estas turbinas están diseñadas para aprovechar saltos de agua que varían entre 10 y 250 metros y caudales de entre 0.2 y 10 m<sup>3</sup>/s, siendo ideales para instalaciones con potencias menores a 100 kW. Sin embargo, su rendimiento es inferior al de las turbinas Pelton, lo que limita su uso en aplicaciones de mayor potencia.

El diseño de la turbina Turgo se caracteriza por un empuje axial debido a la inclinación del chorro de agua. El agua entra por un borde y es expulsada por el opuesto, lo que permite a la turbina manejar mayores caudales. Entre sus ventajas se destacan la accesibilidad de sus componentes y su alta tolerancia a la erosión, lo que facilita el mantenimiento y mejora su durabilidad en entornos exigentes. [11].

Existen dos tipos de turbinas Turgo: con eje horizontal Figura 3 y con eje vertical Figura 4



Figura 3. Turbina Turgo de Eje Horizontal [12].



Figura 4. Turbina Turgo de Eje Vertical [12].

### 3.2.5. Características generales

Las turbinas Turgo y Pelton, aunque comparten algunas similitudes, se diferencian en sus características y aplicaciones específicas. La turbina Turgo es notable por su capacidad para manejar caudales mayores dentro de un diseño de rodete compacto, mientras que la turbina Pelton se destaca por su superior eficiencia general. La selección entre ambas turbinas dependerá de las características del sitio de instalación y de los requisitos de generación de energía.

Ambos tipos de turbinas son reconocidos por su versatilidad, tamaño compacto y alta eficiencia relativa a otras opciones disponibles, adaptándose bien a condiciones operativas específicas. Funcionan de manera óptima en situaciones donde el salto de agua y el caudal son moderados. La turbina Turgo, con su alta velocidad específica, permite la utilización de generadores más pequeños y económicos en comparación con las turbinas Pelton, que requieren inyectores múltiples. La turbina Turgo llena el intervalo entre las turbinas Pelton y Francis, ofreciendo un excelente rendimiento tanto en aguas limpias como en aguas con sedimentos, sin comprometer su eficiencia [13].

### 3.2.6. Principio de funcionamiento

El funcionamiento de las turbinas Turgo se basa en la aceleración del agua a través de la tobera, el cambio de dirección del chorro en los álabes cóncavos y la regulación del caudal mediante una válvula de aguja. A diferencia de otras turbinas, presentan características distintivas como la presión constante del agua, la ausencia de tubo de aspiración y la admisión parcial.

En la tobera, el agua se acelera, transformando casi toda la energía potencial gravitatoria en energía cinética del chorro, con mínimas pérdidas en el inyector. Esta energía cinética máxima es utilizada cuando el chorro de agua incide tangencialmente sobre el rodete, empujando los álabes y generando el trabajo mecánico deseado.

La potencia de la turbina se ajusta variando el caudal de agua mediante el desplazamiento de la válvula de aguja, controlada por el regulador de velocidad. Esto modifica el orificio de salida de la tobera y permite mantener constante la velocidad del rodete, evitando fluctuaciones en las revoluciones debido a cambios en la carga del generador.

Los álabes cóncavos redirigen el chorro de agua, que sale con poca energía por el borde lateral opuesto, sin afectar más a los álabes, como se indica en la Figura 5. Este impulso hace girar el rodete, transmitiendo la energía al eje de la turbina y convirtiéndola instantáneamente en energía mecánica.

En las turbinas de acción, como las Turgo, la presión del agua se mantiene constante en la zona del rodete, generalmente a presión atmosférica (chorro libre). Es posible instalar múltiples toberas por rodete, lo que incrementa la velocidad específica del rodete proporcionalmente a la raíz cuadrada del número de chorros (por ejemplo, cuatro chorros duplican la velocidad específica en comparación con un solo chorro).

Estas turbinas, al no requerir tubo de aspiración, pueden instalarse a cualquier altura sin riesgo de cavitación, a diferencia de las turbinas de reacción. En las turbinas Turgo, solo unos pocos álabes están activos simultáneamente, lo que las caracteriza como turbinas de admisión parcial [12].

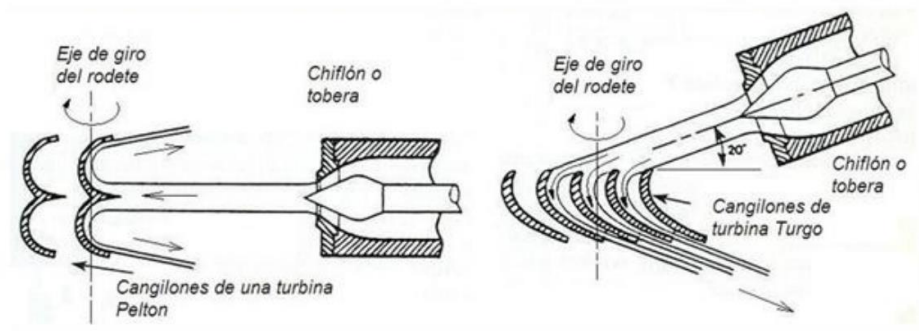


Figura 5. Comparativa de ángulo de incidencia del chorro de agua sobre álabes entre Turbina Pelton y Turgo [12].

### 3.2.7. Partes de una turbina Turgo

Una turbina Turgo está compuesta por varias partes clave que colaboran para convertir la energía del agua en energía mecánica, que luego se transforma en energía eléctrica. Las principales partes de una turbina Turgo son:

#### 3.2.7.1. Rodete

El de la turbina Turgo es el componente principal que gira al recibir el impacto del chorro de agua. Está montado sobre un eje que transmite la energía mecánica generada hacia el generador o a otro sistema de conversión. Aunque el diseño del rodete de la turbina Turgo, como se indica en la Figura 6 es similar al de la turbina Pelton, presenta una característica distintiva: las cucharas o palas están divididas a lo largo de sus aristas.

Para alcanzar una potencia equivalente a la de una turbina Pelton, el rodete de la turbina Turgo tiene la mitad del diámetro y opera a una velocidad específica que es el doble de la de una turbina Pelton. Esta configuración permite a la turbina Turgo manejar un mayor caudal de agua en comparación con la turbina Pelton.

En la turbina Turgo, el fluido que sale del rodete no interfiere con las cucharas, lo que permite una operación más eficiente en términos de manejo de caudales y flujo de agua.

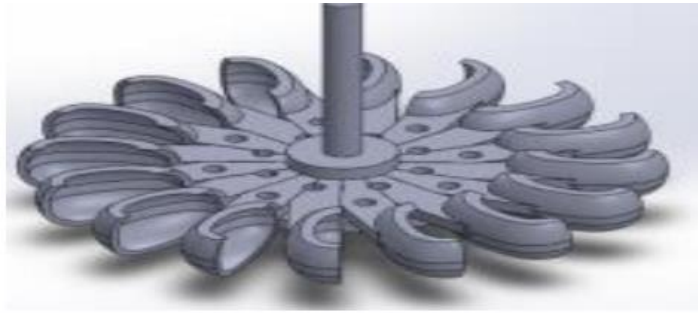


Figura 6. Rodete de una Turbina Turgo [14].

### 3.2.7.2. Distribuidor

El distribuidor en una turbina Turgo, como se muestra en la Figura 7, tiene la función principal de guiar el flujo de agua hacia el rodete de manera eficiente. Este componente asegura que el chorro de agua sea dirigido correctamente hacia las cucharas del rodete para maximizar la conversión de energía. En algunas configuraciones, el distribuidor también actúa como carcasa, proporcionando una estructura adicional que protege los componentes internos y mantiene el flujo de agua controlado.



Figura 7. Distribuidor de una Turbina Turgo [14].

### 3.2.7.3. Álabes

Los álabes, como se muestra en la Figura 8, montados en el rodete de una turbina Turgo reciben el impacto del chorro de agua, permitiendo que el rodete gire. Estos álabes cambian la dirección del chorro y transfieren la energía cinética del agua al rodete, convirtiéndola en energía mecánica. Aunque son similares en forma a las cucharas de la turbina Pelton, los álabes cóncavos de la turbina Turgo están divididos por la mitad, lo que permite una distribución más eficiente del flujo de agua y un manejo efectivo de mayores caudales.



Figura 8. Álabes de una Turbina Turgo [14].

#### **3.2.7.4. Carcasa**

La carcasa, según la Figura 9, tiene como función principal proteger los componentes internos de la turbina, asegurando que el flujo de agua se dirija de manera precisa hacia el rodete y evitando cualquier fuga de fluido hacia el exterior.



Figura 9. Carcasa de una Turbina Turgo [14].

#### **3.2.7.5. Inyectores**

Según la Figura 10, es el responsable de guiar y regular el flujo del fluido, el distribuidor dirige el agua hacia los álabes a través de un chorro controlado. Este componente acelera el agua, transformando su energía potencial en energía cinética [14].

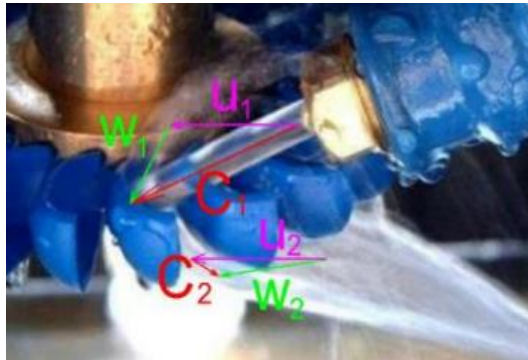


Figura 10. Inyector de una Turbina Turgo [14].

### 3.3. Generador

Los generadores son dispositivos electromecánicos diseñados para convertir energía mecánica en energía eléctrica. Estos equipos pueden operar de manera independiente o en sistemas combinados para proporcionar la cantidad de energía eléctrica requerida.

#### 3.3.1. Principio de funcionamiento

Los generadores operan mediante un motor que impulsa un alternador, el cual produce corriente eléctrica. Basados en la ley de Faraday, estos dispositivos convierten la energía mecánica en eléctrica. El movimiento rotativo del estator, junto con el campo magnético variable del rotor, induce una fuerza electromotriz (f.e.m.) en los devanados del estator, generando así la corriente eléctrica. Esta conversión se caracteriza por la relación directa entre la velocidad de rotación, el cambio en el flujo magnético y la f.e.m. inducida. En las máquinas rotatorias, el voltaje se genera en los devanados o bobinas a medida que giran mecánicamente a través de un campo magnético que varía con el tiempo [14].

#### 3.3.2. Tipos de generadores

Los generadores de energía eléctrica se clasifican en dos categorías principales:

- a) Generador síncrono
- b) Generador asíncrono o de inducción [15].

### 3.4. Generadores Síncronos

El generador síncrono es una máquina eléctrica rotativa que según la Figura 11, utiliza el principio de inducción electromagnética para transformar la energía mecánica del eje de una turbina en energía eléctrica para la red. A diferencia de los generadores asíncronos, el generador síncrono sincroniza la velocidad de su eje con la frecuencia de la red, manteniendo una rotación

constante. Este tipo de generador se destaca por su capacidad para convertir energía mecánica en eléctrica de manera sincronizada y controlada, siendo esencial en la generación moderna de electricidad.

La principal distinción entre un generador síncrono y uno asíncrono radica en el control de la potencia reactiva. El generador síncrono permite ajustar la potencia reactiva mediante el circuito de excitación, mientras que el generador asíncrono solo puede absorber potencia reactiva sin posibilidad de ajuste. Por ello, el generador síncrono es preferido para la generación de electricidad por su capacidad de controlar la potencia reactiva.

El generador síncrono se compone de dos partes principales: el **estator** y el **rotor**. El rotor, la parte móvil, incluye un eje sobre el cual se enrolla una bobina, conocida como electroimán, alimentada por una fuente de corriente continua que constituye el circuito de excitación. El estator, la parte fija, induce una corriente alterna, conocida como fuerza electromotriz (f.e.m.), debido a la variación del flujo magnético producida por el movimiento del eje [16].

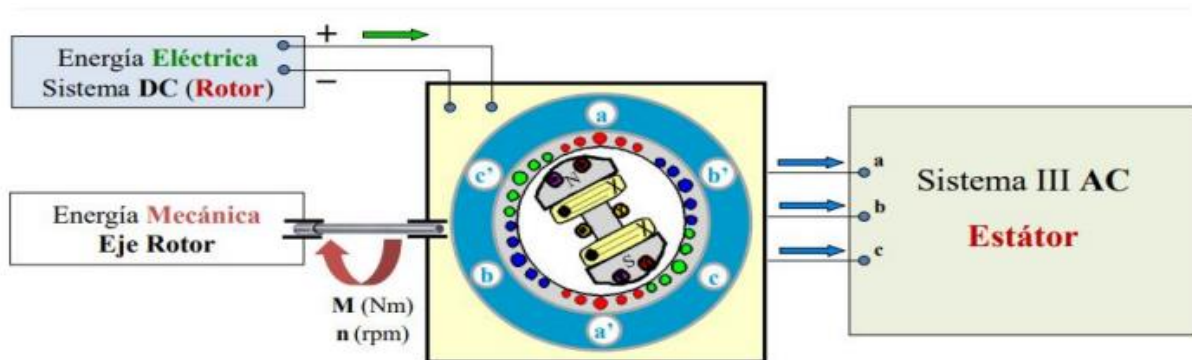


Figura 11. Esquema general del generador síncrono [16].

### 3.4.1. Parámetros del generador

En el funcionamiento del generador síncrono, la inducción electromagnética, según la Figura 12 está regida por la ley de Lenz-Faraday, es fundamental. Esta ley establece que la fuerza electromotriz (f.e.m.) inducida en un conductor es directamente proporcional a la tasa de cambio del flujo magnético que lo atraviesa. En el generador síncrono, la f.e.m. se genera en las bobinas del estator debido al movimiento rotativo del rotor.

El movimiento del eje del rotor, impulsado por la turbina, junto con la corriente que circula por el electroimán, produce una f.e.m. en el estator. De acuerdo con la ley de Lenz-Faraday, la

f.e.m. inducida está determinada por la variación del flujo magnético a lo largo del tiempo, la cual está directamente relacionada con el movimiento del eje del rotor [16].

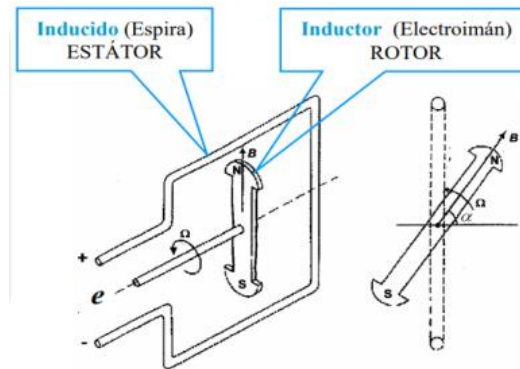


Figura 12. Ley de inducción de Lenz Faraday [16].

### 3.4.2. Velocidad de rotación de un generador síncrono

Las máquinas síncronas de generación se distinguen por su capacidad para sincronizar la frecuencia eléctrica generada con la velocidad de rotación del rotor. En estos generadores, el campo magnético del rotor se alinea con la dirección de rotación del mismo. Para que el generador produzca potencia eléctrica a una frecuencia de 60 Hz, es necesario que opere a una velocidad constante. Esta velocidad está directamente relacionada con el número de polos del generador, lo que determina la sincronización entre la frecuencia eléctrica y la velocidad de rotación. [15].

### 3.4.3. Componentes del generador

El generador eléctrico consta de dos componentes principales: como se muestra en la Figura 13, una parte fija llamada inducido o estator, y una parte giratoria conocida como inductor o rotor. Entre la superficie cilíndrica interna del estator y el rotor, existe un espacio esencial para el funcionamiento eficiente del generador. Este espacio permite el flujo del campo magnético generado por el rotor hacia el estator, facilitando la conversión de energía mecánica en energía eléctrica [14].

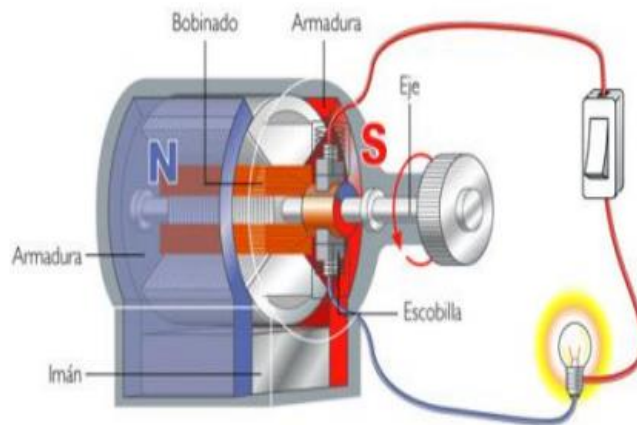


Figura 13. Componentes del generador [14].

### 3.5. Recursos hídricos y potencial hidroeléctrico

#### 3.5.1. Salto neto

La energía específica se refiere a la cantidad de energía disponible por kilogramo de agua para la turbina. Este valor se calcula considerando la altura bruta del salto, y luego se ajusta restando las pérdidas de carga asociadas con las turbulencias, la fricción del flujo en la tubería de presión y las pérdidas en la válvula. [10].

#### 3.5.2. Caudal disponible

El caudal se define como la cantidad de agua que fluye a través de un punto específico, como un río, arroyo o tubería, durante un intervalo de tiempo determinado. Se expresa generalmente en volumen por unidad de tiempo, como metros cúbicos por segundo. La medición del caudal es esencial para evaluar la disponibilidad de agua, y se realiza utilizando datos estadísticos. Esta información es crucial para la planificación y desarrollo de proyectos como embalses, represas y centrales hidroeléctricas. [6].

#### 3.5.3. Potencial energético en redes de distribución de agua

Las redes de distribución de agua se pueden clasificar en tres categorías principales según su uso: redes de riego, redes de agua potable y redes de aguas residuales. En estas redes, uno de los elementos disipativos más comunes son las válvulas de reducción de presión (VRP), ya que son muy eficaces para minimizar las fugas de agua. Debido a su efectividad, las VRP se consideran ideales para ser complementadas o reemplazadas por dispositivos de recuperación energética. Dado que el potencial pico-hidráulico en las redes de distribución de agua es

significativo, la literatura técnica incluye diversos desarrollos de pico-turbinas hidráulicas. Estos desarrollos tienen como objetivo reducir costos y recuperar energía en estos sistemas de distribución. [17].

## **4.METODOLOGÍA**

Este capítulo aborda elementos fundamentales, incluyendo el diseño conceptual de soluciones potenciales antes de su fabricación. Esta metodología proporcionará un soporte sólido para las diferentes fases del diseño y la construcción del sistema de generación utilizando una Microhidráulica tipo Turgo, asegurando que se cumplan los requisitos tanto en el flujo del caudal del recurso hídrico como en la generación de electricidad.

### **4.1. Diseño de la investigación**

Según la Figura 14 el proceso comienza con la búsqueda exhaustiva de información y la estimación precisa de la demanda energética. Asimismo, se evaluará la disponibilidad del recurso hídrico, ya que este constituye el pilar esencial para la viabilidad del proyecto. Posteriormente, se procederá a la selección del tipo adecuado de pico central hidroeléctrica a implementarse. Una vez definida esta elección, se llevarán a cabo los cálculos necesarios y el diseño detallado para la construcción e implementación de la pico central hidroeléctrica.

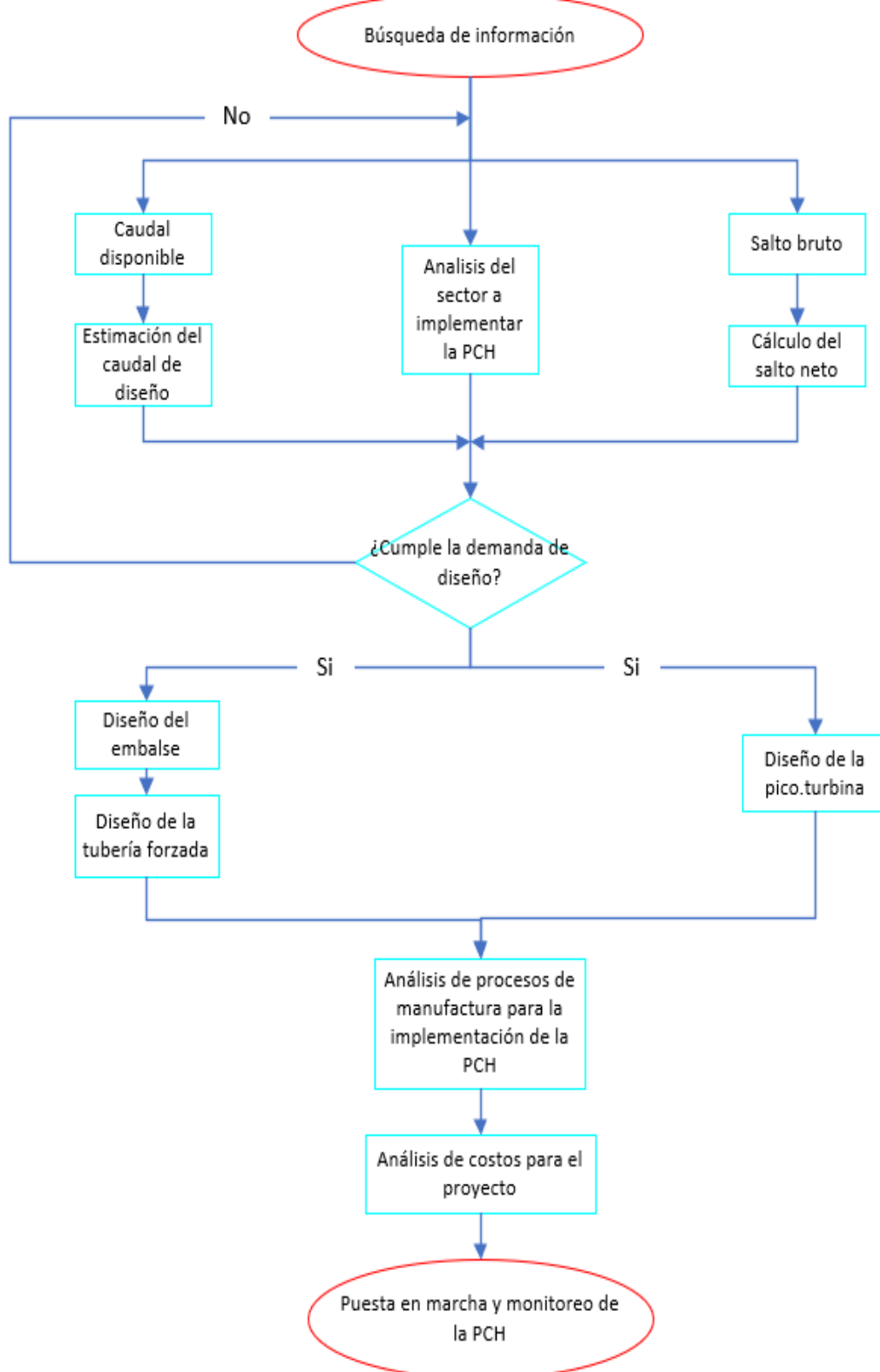


Figura 14. Diagrama de procesos para el desarrollo de una PCH.

## 4.2. Fase de planificación

En esta sección se describen las primeras etapas del proyecto hidroeléctrico, las cuales incluyen el levantamiento de información básica (ubicación geográfica, recursos hídricos), el diseño preliminar del sistema e implementación efectiva para asegurar la viabilidad técnica y económica de la iniciativa.

### 4.2.1. Ubicación geográfica

Para indicar la ubicación de la vertiente se tomó datos de las coordenadas geográficas mediante Google Maps, dicha vertiente se encuentra a pocos metros del embalse de la central de generación Illuchi II, como se muestra en la Figura 15.

La vertiente se encuentra al frente del terreno en donde deseamos implementar la pico central, este terreno es de tipo rocoso con un espeso bosque verde a sus alrededores.



Figura 15. Ubicación geográfica [18].

### 4.2.2. Características del proyecto

Este proyecto consiste en el diseño, ingeniería y construcción de una pequeña central hidroeléctrica que aprovechara el caudal de una vertiente existente. El objetivo es generar energía eléctrica de manera limpia y sostenible, contribuyendo al desarrollo energético de la región. A través de un análisis detallado de las condiciones hidráulicas, se dimensiona los componentes hidráulicos, mecánicos y eléctricos de la PCH.

### 4.2.3. Recolección de datos

#### 4.2.3.1. Datos hidrológicos

Se realizó una inspección en campo para identificar donde se dispone del recurso esencial para la generación de energía, que es el agua. Una vez localizado el caudal, se procedió a realizar mediciones para determinar la cantidad de litros por segundo que proporciona dicho caudal.

Para lo cual se realizó cinco mediciones como se muestra en la tabla 4, en tiempos diferentes en un recipiente de 20 litros tomando en cuenta el tiempo de llenado del recipiente.

Tabla 4: Datos del caudal.

N.º medición	Tiempo
1	10 s
2	8 s
3	9 s
4	8 s
5	10 s
<b>Promedio</b>	9 s

Por lo tanto, se dividió el volumen del recipiente por el tiempo de llenado y se obtuvo un caudal de  $2,2 \text{ L/s} \approx 0,0022 \text{ m}^3/\text{s}$

#### 4.2.3.2. Datos geográficos

Para un mejor desarrollo de proyecto se realizarán estudios topográficos y geológicos en los puntos donde se instalará cada componente de la pico central hidroeléctrica.

Mediante Google Earth se puede aproximar las coordenadas de las partes de la PCH, como se observa en la Figura 16:

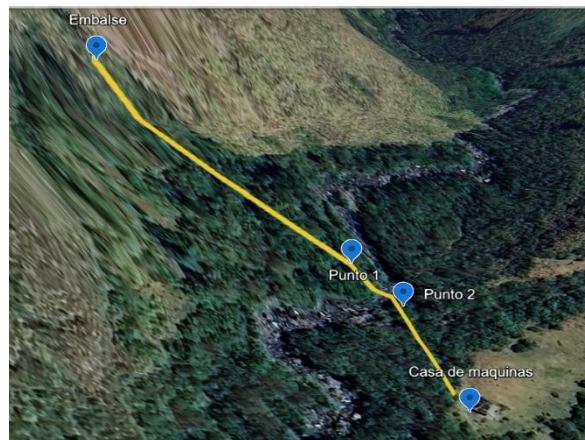


Figura 16. Aproximación de la altimetría y ubicación de la tubería para la turbina [19].

#### 4.2.3.3. Método de la estación meteorológica portátil.

El análisis topográfico se llevó a cabo utilizando un equipo de medición digital, específicamente una estación meteorológica portátil modelo Kestrel 5500. Este instrumento, reconocido por su capacidad para realizar mediciones rápidas y precisas, facilitó la determinación del salto de agua entre la toma de agua y la ubicación de la casa de máquinas, como se detalla en la Figura 17 y se resume en la tabla 5.



Figura 17. Medición de la altimetría.

Tabla 5: Datos geográficos.

Puntos	Ubicación		Altura (msnm)
	S	W	
Embalse	0°55'58"	78°31'55"	2946
Punto 1	0°56'01"	78°31'55"	2908
Punto 2	0°56'02"	78°31'55"	2908
Casa de maquinas	0°56'03"	78°31'57"	2915

Entonces según los datos obtenidos se dispone de una altura final de 31 m.

#### 4.3. Diseño del sistema

##### 4.3.1. Cálculo de parámetros requeridos

###### 4.3.1.1. Altura bruta

Para determinar la altura bruta tomamos los datos geográficos en donde se va a ubicar la PCH en la cual se utilizó la ecuación 4.1.

$$h_b = h_{embalse} - h_{casa\ de\ maquinas} \quad (4.1)$$

**Donde:**

$h_b$  = Altura Bruta. (m)

$h_{embalse}$  = Altura del embalse. (m)

$h_{casa\ de\ maquinas}$  = Altura de la casa de máquinas. (m)

###### 4.3.1.2. Diámetro de tubería de presión

La tubería de presión es el conducto principal en sistemas de derivación, encargado de transportar el agua desde la cámara de carga hasta la turbina. Esta tubería aprovecha la energía potencial del agua debido a su altura para impulsar la turbina y generar energía. El cálculo del diámetro interno de la tubería se realiza mediante una ecuación 4.2.

$$D = \sqrt[7]{0,0052 \cdot Q^3} \quad (4.2)$$

**Donde:**

$D$  = Diámetro de la tubería. (m)

$Q$  = Caudal. ( $m^3/s$ )

#### 4.3.1.3. Área de la sección transversal de una tubería

El área de la sección transversal ( $A$ ) de una tubería circular se calcula mediante la ecuación 4.3

$$A = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \frac{\pi D^2}{4} \quad (4.3)$$

**Donde:**

$A$  = Área ( $m^2$ )

$D$  = Diámetro de la tubería. (m)

#### 4.3.1.4. Velocidad del agua

La velocidad del agua se calcula usando la ecuación 4.4

$$Q = A \cdot v \quad (4.4)$$

**Donde:**

$Q$  = Caudal. ( $m^3/s$ )

$A$  = Área de la sección transversal de la tubería. (m)

$v$  = Velocidad del agua. (m/s)

Ahora calculamos la velocidad del agua:

#### 4.3.1.5. Pérdidas de carga en accesorios hidráulicos

Las pérdidas de carga están relacionadas con un coeficiente de pérdida de cargas (véase Anexo 12)

##### 4.3.1.5.1. Tubería forzada de 1,5''

Para calcular las pérdidas en la carga se utilizará la ecuación 4.5 de Darcy-Weisbach

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (4.5)$$

**Donde:**

$h_f$  = Pérdidas por fricción. (m)

$f$  = Factor de fricción del material.

$L$  = Longitud de la tubería. (m)

$D$  = Diámetro de la tubería. (in)

$v$  = Velocidad del agua. (m/s)

$g$  = Gravedad. ( $m/s^2$ )

#### 4.3.1.5.2. Pérdida de cargas en accesorios

Para determinar la pérdida del codo se utilizó la ecuación 4.6.

$$hf = k \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (4.6)$$

**Donde:**

$h_f$  = Pérdidas por fricción. (m)

$k$  = Coeficiente de fricción del material.

$v$  = Velocidad del agua. (m/s)

$g$  = Gravedad. ( $m/s^2$ )

#### 4.3.1.5.3. Total, de perdidas

Mediante la ecuación 4.7 se determino la perdida de cargas total.

$$hf = hf_{tuberia} + hf_{codo} + hf_{válvula} \quad (4.7)$$

#### 4.3.1.6. Altura neta

En el contexto de una central hidroeléctrica la altura neta tiene un gran impacto directamente en la eficiencia y la capacidad de generación de energía. Donde para calcular dicha altura utilizaremos la ecuación 4.8.

$$h_n = h_b - h_f \quad (4.8)$$

**Donde:**

$h_n$  = Altura neta. (m)

$h_b$  = Altura bruta. (m)

$h_f$  = Pérdidas por fricción. (m)

#### 4.3.1.7. Potencia

Para este cálculo se utilizó la fórmula de la potencia, aplicando la ecuación 4.9.

$$P = g \cdot Q \cdot H_n \quad (4.9)$$

**Donde:**

**P** = Potencia. (kW)

**g** = Gravedad. ( $m/s^2$ )

**Q** = Caudal. ( $m^3/s$ )

**$h_n$**  = Altura neta. (m)

#### 4.3.1.8. Presión

Para el cálculo de la presión se determinará por la fórmula de presión por altura, la cual ayuda a la determinación del diámetro de la tubería hacer implementada, aplicando la ecuación 4.10.

$$P = \rho \cdot g \cdot h_b \quad (4.10)$$

**Donde:**

**P** = Presión. (PSI)

**$\rho$**  = Densidad del agua. ( $kg/m^3$ )

**g** = Gravedad. ( $m/s^2$ )

**$h_b$**  = Altura bruta. (m)

#### 4.3.1.9. Almacenamiento

El almacenamiento de agua está influenciado por el volumen disponible y la frecuencia de generación de electricidad. Para una instalación de pequeña escala, se puede emplear un tanque de almacenamiento. La capacidad de este tanque se determina en función del tiempo que se espera que la central opere sin un flujo adicional de agua.

Por ejemplo, si se desea que la pico central funcione durante 1 hora sin suministro de agua externo se utilizara la ecuación 4.11:

$$V = Q \cdot t \quad (4.11)$$

**Donde:**

**V** = Volumen de almacenamiento. ( $m^3$ )

**Q** = Caudal. ( $m^3/s$ )

$t$  = tiempo. (s)

### 4.3.2. Componentes de generación

#### 4.3.2.1. Microhidráulica de 500 W

Se refiere a sistemas hidroelectricos de pequeña escala que genera en este caso 500 W, suficientes para abastecer necesidades basicas de electricidad en los hogares.

Esta microhidráulica esta conformado por una turbina Turgo y un generador sincrónico de imanes permanentes, como se muestra en la Figura 18.



Figura 18. Microhidráulica de 500 W.

Esta turbina Turgo, equipada con un único inyector, es especialmente adecuada para ubicaciones que disponen de un desnivel de al menos 12 metros y un caudal a partir de 0.002 litros por segundo y por lo tanto es óptimo para el sistema a implementar. Su diseño compacto integra todos los componentes principales, lo que facilita su instalación y operación. Además, ofrece una alta eficiencia energética y un mantenimiento sencillo. [20]

Las características principales de esta Microhidráulica de 500 W (veas Anexo 1).

### 4.3.3. Selección de componentes hidráulicos para la PCH

#### 4.3.3.1. Tubería de presión

La selección de la tubería de presión es crucial para el rendimiento de un sistema de generación de energía a pequeña escala. Esta tubería conduce el agua desde el embalse hacia la turbina, se

eligió considerando factores como el material (acero, PVC, polietileno), el tipo de unión, el peso, la facilidad de instalación, el costo y el transporte.

Las características de los materiales utilizados en tubería se detallan en la tabla 7, según rangos en donde 1 = malo y 5 = bueno.

Tabla 6. Comparación de las tuberías de presión.[21]

Material	Perdidas por fricción	Peso	Corrosión	Costo	Presión de trabajo
Acero comercial	3	3	3	2	5
PVC	5	5	4	4	4
Polietileno	5	5	5	3	4

Una vez realizado las comparaciones se seleccionó una tubería de polietileno (vease Anexo 2) para el proyecto, la cual cumple las características adecuadas. Para la tubería de polietileno de 1,5 pulgadas de diámetro se tiene características detalladas en la tabla 8.

Tabla 7. Parámetros de la tubería forzada.

Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Presión de trabajo	Presión de rotura
46	40	50 PSI	170 PSI

#### 4.3.3.2. Válvula

En base a la tubería de 1 ½ pulgada se debe optar por una válvula de la misma dimensión para el cual existen diferentes tipos entre ellos esta:

- válvula de compuerta
- válvula de bola
- válvula de mariposa
- válvula de globo
- válvula de retención
- válvula de aguja

Para proteger la turbina y la tubería de sobrepresiones, se instalará una válvula de compuerta de 1,5 pulgadas. Esta válvula permite un control gradual del flujo de agua, evitando cierres bruscos que podrían dañar el sistema. A diferencia de las válvulas globo, que cierran rápidamente y pueden generar picos de presión, la válvula de compuerta ofrece un cierre más suave y seguro. Las características de la válvula de compuerta (véase Anexo 3).

#### **4.3.4. Selección de los componentes eléctricos**

##### **4.3.4.1. Sistema de control**

El sistema de control o medidor de parámetros eléctricos se incorporará de diversos elementos destinados a la protección, el control y la supervisión del sistema (véase Anexo 4).

##### **4.3.4.2. Sentron PAC 3220 Multímetro 7KM**

El centro de protección y control es un componente esencial en cualquier instalación eléctrica, diseñado para asegurar la seguridad, la eficiencia y el monitoreo continuo del sistema. En el caso de una pico central hidroeléctrica que genera 500 W.

##### **4.3.4.3. Interruptor termo-magnético**

El interruptor termomagnético servirá para proteger el sistema de sobrecorrientes o sobrevoltajes. Aquí detallamos el cálculo mediante la Ecuación 4.12 y la selección del interruptor termo-magnético adecuado para una pico central hidroeléctrica que genera 500 W.

$$I = \frac{P}{V} \quad (4.12)$$

**Donde:**

**I** = Corriente. (A)

**P** = Potencia. (W)

**V** = Voltaje (V)

##### **4.3.4.4. Calibre del conductor**

Como ya se calculó anteriormente la corriente nominal (I) es aproximadamente 4,17 A para una potencia de 500 W y un voltaje de 120 V. Es crucial aplicar un factor de seguridad como se indica en la Ecuación 4.13 para asegurar que el cable pueda manejar las condiciones reales de operación sin riesgo de sobrecalentamiento o daños. En aplicaciones estándar, es común utilizar un factor de 1,25 para este propósito.

$$I_{ajustada} = 1,25 \cdot I \quad (4.13)$$

#### 4.3.4.5. Luz piloto

Funciona como un indicador el cual señala si un dispositivo o equipo este encendido o apagado.

#### 4.3.4.6. Selector Switch

Permitirá el control del circuito del medidor de parámetros eléctricos. Funciona como un interruptor el cual determinara el encendido o apagado del medidor.

#### 4.3.4.7. Caída de tensión

Se determina mediante la siguiente formula:

$$V_d = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot R}{A} \quad (4.14)$$

**Donde:**

**V<sub>d</sub>:** Caída de tensión

**L:** Distancia del conductor (m)

**I:** La corriente de alimentación (A)

**R:** Resistencia del conductor ( $\Omega \cdot m$ )

**A:** Área del cable ( $m^2$ )

### 4.4. Implementación

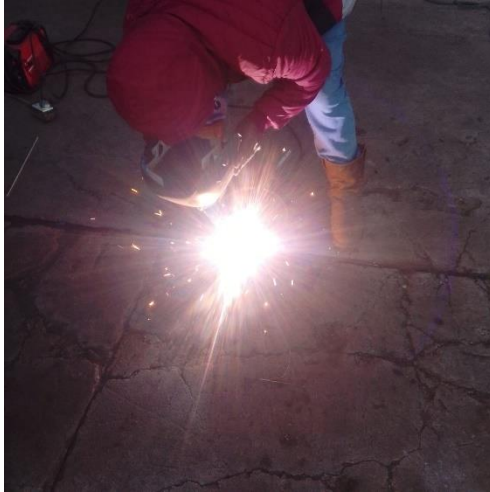
Aquí se procederá a verificar los resultados obtenidos para asegurar el correcto funcionamiento de cada uno de los componentes que integran el sistema de generación. Es fundamental que los materiales empleados en esta investigación sean aquellos que tienen la mayor influencia en el rendimiento y la eficiencia del sistema.

#### 4.4.1. Construcción de componentes mecánicos

##### 4.4.1.1. Base de acero para montar la Microhidráulica

Para el montaje y sujeción de la Microhidráulica, se diseñó una base de acero (véase Anexo 5). El diseño fue modelado en un software de diseño asistido por computadora (Fusion 360), donde una placa de 28 x 28 cm y 3 mm de espesor, se recortó la circunferencia correspondiente a la salida del agua desde la cámara de distribución de la turbina. Posteriormente, se soldaron los pernos en la base, debido a que se usó acero al carbono se optó por utilizar un electrodo 7014

ya que este produce ondulaciones finas las características (véase Anexo 14), como se muestra en la Figura 19 los cuales permiten ajustar la Microhidráulica, y se añadieron las patas de soporte antes de instalarla en la casa de máquinas.



(a) Soldadura de los pernos y patas.



(b) Corte del círculo para el desagüe.

Figura 19. Construcción de la base de acero.

#### 4.4.2. Obra civil

##### 4.4.2.1. Embalse

Para la generación hidroeléctrica, se construyó un pequeño embalse (véase Anexo 6) con el propósito de retener una cierta cantidad de agua, como se muestra en la Figura 20. Este embalse permitirá generar electricidad aprovechando la energía potencial contenida en el agua. En su construcción, se utilizaron materiales propios de la zona, tales como arena, grava, piedra y cemento.



Figura 20. Embalse de la PCH.

#### **4.4.2.2. Tubería forzada**

Se utilizó una manguera de polietileno, como se muestra en la figura 22 debido a su gran flexibilidad, lo que la hace ideal para terrenos irregulares. Además, este material es altamente resistente a los cambios climáticos, lo que lo convierte en una opción perfecta para el proyecto. Se utilizó dos rollos de manguera para lo cual en la unión para un acople seguro se utilizó, un acople Camlock Tipo E macho con espiga para manguera de 1,5” y un acople Camlock Tipo C hembra con espiga para manguera de 1,5” (véase Anexo 7).



Figura 21. Manguera conductora.

#### **4.4.2.3. Preparación del área para la casa de maquinas**

Se llevó a cabo la limpieza del área destinada a la construcción de la casa de máquinas. Posteriormente, se procedió a excavar un cuadro de 1 metro por 1 metro con una profundidad de 50 centímetros, como se muestra en la Figura 22 el cual se consideró necesario para colocar la base sobre la cual se montará la carcasa de la turbina y el generador.



Figura 22. Preparación del suelo para la base de la casa de máquinas.

#### 4.4.2.4. Construcción de la salida de agua del generador

Para la salida de agua de la turbina, se decidió construir un canal de desagüe en la base de la casa de máquinas, como se muestra en la Figura 23. Este canal tendrá una base de acero sobre la cual se montará la carcasa de la turbina. Se realizó un orificio de 23 cm de diámetro en una placa de acero de 28 cm x 28 cm.



Figura 23. Construcción de la base de la CM.

#### 4.4.2.5. Construcción de la casa de maquinas

La construcción de la casa de máquinas es una etapa crucial en la implementación de una pico central hidroeléctrica. Ya que en esta estructura se alberga los equipos esenciales para la generación de energía, como las turbinas, generadores y sistemas de control. El diseño

respectivo de la casa de máquinas se realizó utilizando el software AutoCAD (véase Anexo 8), y una vez diseñado se implementó como se puede ver en la Figura 24.



(a) Paredes de la casa de máquinas.



(b) Losa o recubrimiento superior

Figura 24. Construcción de la casa de máquinas.

#### **4.4.2.6. Instalación de la tubería para el ingreso de agua a la turbina**

Para la instalación del ducto de agua que conecta con la entrada de la turbina, se emplearon varios componentes: un neplo corrido de 1.5", una válvula de paso de 1.5", una manguera de agua de 1.5" y abrazaderas de acero.

En la Figura 25 se puede observar cómo se ensamblaron estos elementos para permitir la conexión del flujo de agua hacia la turbina. Para asegurar un sellado adecuado y evitar fugas de agua, todas las uniones se ajustaron utilizando teflón para tuberías. Además, se emplearon abrazaderas de acero para sujetar firmemente la manguera a los acoples y a la válvula, garantizando una conexión segura y evitando posibles fugas.



Figura 25. Conexión del flujo de caudal a la turbina.

#### 4.4.2.7. Montaje de la Microhidráulica de 500 W

Para la instalación de la Microhidráulica sobre su base se emplearon 4 pernos de 2 pulgadas distribuidos uniformemente alrededor del perímetro de la cámara de distribución de la turbina. Estos pernos fueron instalados junto con sus correspondientes rodela y arandelas de presión, asegurando así una fijación robusta y estable del generador a la base, como indica la Figura 26. Las rodela ayudan a distribuir la carga de manera uniforme, mientras que las arandelas de presión evitan que los pernos se aflojen debido a vibraciones u otros factores externos, garantizando así la seguridad y fiabilidad del montaje.



Figura 26. Montaje de la Microhidráulica.

#### 4.4.2.8. Montaje del panel de control

Para la instalación de la protección eléctrica del SENTRON PAC 3220, se realizó un diagrama eléctrico (véase Anexo 9) y se utilizó una caja metálica de un espacio considerable para los

componentes eléctricos, como se indica en la Figura 27. Se seleccionó un termomagnético de 5 amperios, ya que el valor de la protección eléctrica debe ser 1.25 veces superior al valor de la corriente del generador eléctrico. Este interruptor de 5 amperios fue escogido por ser el valor comercial más cercano que supera el valor de la corriente de salida del generador.



Figura 27. Panel de control.

Además, en la Figura 28 indica que se implementó un tomacorriente monofásico para facilitar la conexión de las cargas al sistema instalado. Este tomacorriente permite una conexión sencilla y segura de los dispositivos que se necesiten alimentar con la energía generada.



Figura 28. Tomacorriente instalado con una carga de 10 W.

#### **4.4.2.9. Conexión eléctrica del generador y el centro de control**

La instalación eléctrica se realizó partiendo desde el diagrama unifilar completo del sistema (véase Anexo 10) que empieza desde la salida del generador, utilizando un cable de calibre 14

AWG flexible de cobre hacia el SENTRON PAC 3220 el cual para este sistema monofásico de dos hilos se utilizó la configuración de 1P2W (véase Anexo 11) debido a que hay muchas configuraciones. Los empalmes de este cable se unieron y se cubrieron con material termo retráctil para asegurar una conexión segura y duradera.



Figura 29. Conexión eléctrica completa.

Como resultado de la instalación, se logró la integración eficiente entre el generador, la turbina, el embalse y el SENTRO PAC. La Figura 29 ilustra el resultado completo de la instalación del pico central hidroeléctrica, mostrando todos los elementos de generación y control utilizados en su construcción y montaje.

Este montaje asegura una protección eléctrica adecuada y confiable, garantizando la seguridad y el funcionamiento eficiente del sistema instalado en el SENTRO PAC.

## **5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

Concluido que el sitio cuenta con un caudal ( $0.0022 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y una altura de salto (31 m), se determinó que son parámetros óptimos para el correcto funcionamiento de la Microhidráulica

tipo Turgo disponible, tal como se indica en la Figura 30, seguido de esto se procedió con la selección de los demás componentes y la implementación completa del sistema.

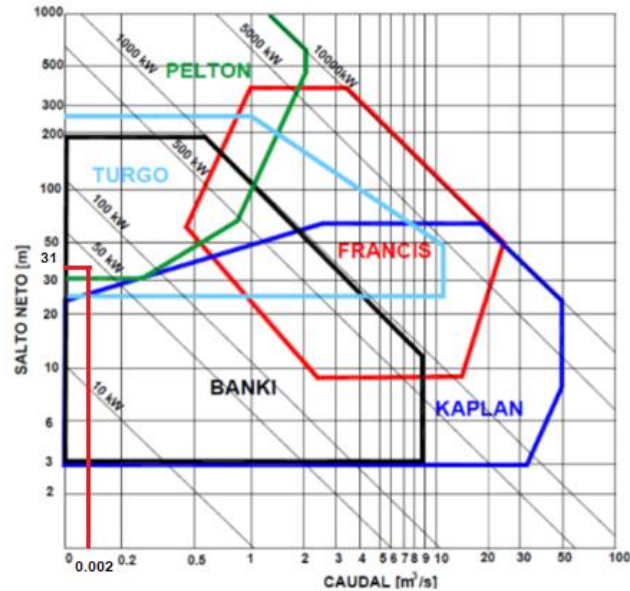


Figura 30. Datos de la Microhidráulica tipo turgo.

## 5.1. Cálculo de parámetros para el dimensionamiento del sistema hídrico

### 5.1.1. Altura bruta (m)

Aplicando la ecuación 4.1 se tiene una altura bruta de 31 m la cual es un parámetro esencial y óptimo para la implementación del sistema de micro generación eléctrica.

$$h_b = 2946 \text{ m} - 2915 \text{ m} = 31 \text{ m}$$

### 5.1.2. Diámetro de la tubería de presión

Al ejecutar la ecuación 4.2 se determinó que el diámetro necesario de la tubería de presión es de 1,18 pulgadas, sin embargo, como una tubería de este diámetro no es comercial se optó por seleccionar una tubería de 1 ½ pulgadas.

$$D = \sqrt[7]{0,0052 \cdot 0,0015^3}$$

$$D = 0,03 \text{ m} \approx 1,18 \text{ in}$$

### 5.1.3. Área de la sección transversal de una tubería

Utilizando la ecuación 4.3 se logró conocer que el área de la sección transversal de una tubería circular es de  $0,00125 \text{ m}^2$ , mismo valor que después ayudo a calcular la velocidad a la que va a desplazarse el agua.

$$A = \frac{\pi(0,04\text{m})^2}{4} = 0,00125 \text{ m}^2$$

### 5.1.4. Velocidad del agua

Aplicando la ecuacion 4.4 de velocidad se muestra que la velocidad a la que va a desplazarse el agua es de 1,83 m/s.

$$v = \frac{0,0022 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,0012 \text{ m}^2} = 1,83 \text{ m/s}$$

### 5.1.5. Pérdidas de carga en accesorios hidráulicos

#### 5.1.5.1. Tubería de presión

Se determino mediante la ecuacion 4.5 que la perdida de carga en la tubería forzada es de 4,85 m.

$$h_f = 0,013 \cdot \frac{160 \text{ m}}{0,04 \text{ m}} \cdot \frac{(1,83 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} = 4,85 \text{ m}$$

#### 5.1.5.2. Válvula

Se determino mediante la ecuacion 4.6 que la perdida de carga en la válvula de compuerta que se utilizo en el sistema es de 0,019 m.

$$h_f = 0,2 \cdot \frac{1,83 \text{ m/s}^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,019 \text{ m}$$

#### 5.1.5.3. Codo de 45°

Se determino mediante la ecuacion 4.6 que la perdida de carga en el codo de 45° que se implemento en la entrada del agua hacia el inyector es de 0,009 m.

$$h_f = 0,1 \cdot \frac{1,83 \text{ m/s}^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,009 \text{ m}$$

#### 5.1.5.4. Total de pérdidas

Mediante la ecuación 4.7 se pudo determinar que el total de pérdidas encontradas en los componentes hidráulicos es de 4,88 m. El mismo que después ayudó con el cálculo de la altura neta.

$$h_f = 4,85 + 0,019 + 0,009 \text{ m}$$

$$h_f = 4,88 \text{ m}$$

#### 5.1.6. Altura neta

Una vez calculado las pérdidas de carga, se procedió con el cálculo de la altura neta mediante la ecuación 4.8, la cual dio un resultado de 26,12 m.

$$h_{neta} = 31\text{m} - 4,88 \text{ m} = 26,12 \text{ m}$$

#### 5.1.7. Potencia

Utilizando la ecuación 4.9 se logró determinar que la potencia hidráulica es de 0.5 Kw.

$$P = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,0022 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 31\text{m}$$

$$P = 0.5 \text{ kW}$$

#### 5.1.8. Presión

La presión necesaria para la tubería es de 44,1 PSI, esto se determinó mediante la ecuación 4.10.

$$1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 31\text{m}$$

$$P = 304,1 \text{ kPa} \approx 44,1 \text{ Psi}$$

#### 5.1.9. Almacenamiento

Según la ecuación 4.11 utilizada para calcular el volumen del embalse se determinó que se necesita  $7,92 \text{ m}^3$  de agua para 1 h de operación continua de la pila central hidroeléctrica.

$$V = 0,0022 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 3600\text{s} = 7,92 \text{ m}^3$$

A continuación, se presenta la tabla 6 con los datos topográficos e hídricos calculados:

Tabla 8. Parámetros obtenidos para el diseño.

Parámetros	Valor
Altura bruta (Hb)	31 m
Altura neta (Hn)	26,12 m
Caudal (Q)	0,0022 m <sup>3</sup> /s
Área de la sección (A)	0.00125 m <sup>2</sup>
Presión (P)	44,1 Psi
Velocidad del agua (v)	1,83 m/s
Almacenamiento (V)	7,92 m <sup>3</sup>
Diámetro de la tubería (D)	1,5 in
Pedidas de carga ( $h_{perdidas}$ )	4,88 m

- En base a estos resultados se utilizó una tubería de presión de polietileno de alta densidad con un diámetro de 1,5” y una longitud de 160 metros. El diseño permitió alcanzar una presión de 44,1 PSI en la tubería, que está bien dentro del límite de resistencia de la tubería, que es de 50 PSI. Esto garantiza que la tubería puede soportar el flujo de agua sin problemas de presión, asegurando una operación estable y confiable del sistema.
- Es esencial regular el flujo del recurso hídrico hacia el inyector de la turbina para mantener los límites operativos de la Microhidráulica y evitar que se excedan. Para este propósito, se seleccionó una válvula de compuerta, la cual es ideal para controlar el caudal de agua. Esta regulación precisa no solo asegura que el sistema opere dentro de sus parámetros seguros, sino que también contribuye significativamente a prolongar la vida útil del sistema de micro generación.
- El embalse tendrá la capacidad de almacenar la cantidad necesaria de recurso hídrico para el funcionamiento continuo del sistema, lo que permitirá la generación constante de energía eléctrica.

## 5.2. Obra civil

Los resultados observados en el diseño de una central eléctrica de 80·80·80 cm demuestran que los sistemas eficientes a pequeña escala pueden ser rentables y fiables. El diseño no solo cumple con los requisitos técnicos, sino que también proporciona beneficios prácticos, como costos reducidos y mantenimiento simplificado, que son cruciales para operaciones sostenibles, especialmente en áreas remotas o con recursos limitados. En general, los resultados respaldan la idea de que una potencia compacta y bien diseñada puede lograr el rendimiento deseado al tiempo que ofrece beneficios prácticos y económicos adicionales.

## 5.3. Cálculo de parámetros para el diseño eléctrico

### 5.3.1. Interruptor termomagnético

Utilizando la ecuación 4.12 se determinó que la Microhidráulica podrá generar hasta 4,2 A.

$$I = \frac{500 \text{ W}}{120 \text{ V}}$$
$$I = 4,2 \text{ A}$$

Con el resultado obtenido se seleccionó un interruptor con una corriente nominal de 5 A, ya que está cerca del valor calculado y proporciona un margen de seguridad. Este debe ser ligeramente superior a la corriente nominal del sistema para evitar disparos innecesarios.

### 5.3.2. Calibre del conductor

Utilizando la ecuación 4.13 se determinó la corriente que tiene que soportar el conductor.

$$I_{ajustada} = 1,25 \cdot 4,2 \text{ A}$$
$$I_{ajustada} = 5,25 \text{ A}$$

Sección AWG	Sección mm <sup>2</sup>	Corriente (Amperios)
20	0,5	3
18	1	7
16	1,5	10
14	2,5	15
12	4	20
10	6	30
8	10	40
6	16	55
4	25	70

Figura 31. Calibres de conductores.[9]

Basado en la Figura 31 y considerando una corriente ajustada de aproximadamente 5,25 A, el calibre adecuado del cable sería el calibre 14 AWG. Este calibre tiene una capacidad máxima de corriente de 15 A, lo cual es seguro y adecuado para manejar la corriente nominal ajustada del sistema.

### 5.3.3. Caída de tensión

Mediante la ecuación 4.14 se pudo determinar la caída de tensión en el sistema.

$$V_d = \frac{2 \cdot 5 \text{ m} \cdot 5,21 \text{ A} \cdot 1,68 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}}{2,08 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$V_d = 0,42 \approx 0,35\%$$

Un valor de caída de tensión del 0,35% es muy bajo y totalmente aceptable, ya que las recomendaciones usuales son mantener la caída de tensión por debajo del 5% para instalaciones residenciales y comerciales. Por lo tanto, el sistema funciona dentro de los parámetros adecuados, garantizando una operación eficiente y segura para la PCH.

- En base a estos resultados se ha seleccionado un sistema de control SENTRON PAC 3220 sus características (véase Anexo 13), el cual facilitará la medición precisa de los parámetros asociados a la generación de energía. Este sistema permitirá un monitoreo más detallado y eficiente de la energía y la potencia que el generador suministra a la vivienda, asegurando un seguimiento óptimo y un control riguroso del rendimiento del sistema.

#### 5.4. Pruebas y Resultados

Una vez finalizada la construcción de la obra civil y completado el montaje de la microhidráulica, se procedió con la instalación del centro de control o medidor de parámetros de generación. Esto permitió medir la energía producida y asegurar que todos los componentes estuvieran debidamente protegidos contra posibles fallos. Posteriormente, se llevaron a cabo las pruebas del sistema para verificar su correcto funcionamiento.

Las cargas que se utilizaron para las pruebas correspondientes fueron 3 focos y un cargador de celular, como se muestra en la Figura 32 y Figura 33.



Figura 32. Tres puntos de iluminación.



Figura 33. Cargador de celular.



Figura 34. Funcionamiento de la Microhidráulica en vacío.

Como indica la Figura 34 la microhidraulica esta funcionando.

El instrumento que se uso para el registro de datos generados por la microhidraulica, feu un multímetro de la marca ACOUSTIC modelo BT 382.

Como se ve en la Figura 35 se midio en la salida del interruptor termomagnetico en el mismo que fue conectado un tomacorriente.



Figura 35. El multímetro permitió medir la corriente y voltaje generados.

#### 5.4.1. Primera prueba (en vacío)

Consistió solamente en medir los parámetros generados sin conectar ninguna carga. En el cual con un 25% de apertura de la válvula ya genero los 124,9 V y 2,69 A.

#### 5.4.2. Segunda prueba (con cargas)

Esta prueba ya consistió en agregarle cargas al sistema en donde se colocaron tres puntos de iluminación cada uno de 10 W y un cargador de celular 10 W.

Entonces en la tabla 9 se muestran los resultados con cargas.

Tabla 9. Resultados de la segunda prueba.

ELEMENTO	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia del fabricante (W)	Potencia real (W)
1 foco	124,9	0,1	10	12,10
2 focos	124,9	0,2	20	24,00
3 focos	124,9	0,3	30	35,5
1 cargador de celular	5	2	40	48.20

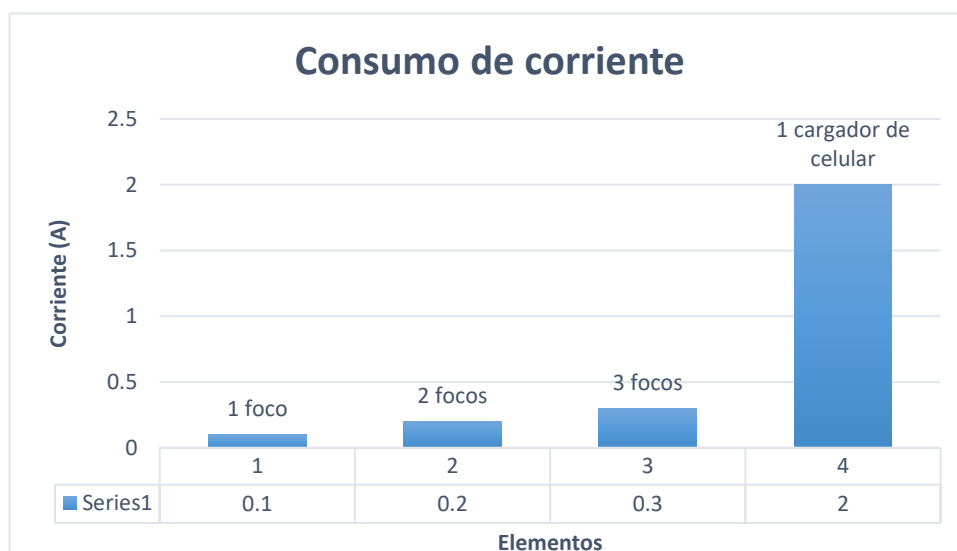


Figura 36. Gráfica de consumos de corriente por elemento.

En la Figura 36, se puede observar los consumos de corriente de cada una de las cargas instaladas para la segunda prueba. La gráfica presentada ilustra el consumo de corriente (en amperios) por distintos elementos conectados al sistema. Se observa un incremento progresivo en el consumo de corriente a medida que se conectan más focos: un foco consume 0,1 A, dos

focos consumen 0,2 A, y tres focos consumen 0,3 A. Sin embargo, el elemento que más corriente consume es un cargador de celular, alcanzando 2 A.

Este análisis revela que, aunque los focos consumen relativamente poca corriente, la adición de dispositivos con mayores requerimientos de energía, como el cargador de celular, genera un aumento significativo en el consumo de corriente. Esto es crucial para el dimensionamiento y la gestión del sistema eléctrico, ya que la capacidad de generación y distribución debe ser adecuada para soportar las cargas más demandantes sin comprometer la estabilidad y eficiencia del sistema. Además, el análisis sugiere que se debe tener especial cuidado al conectar dispositivos de alta demanda para no exceder la capacidad del sistema y evitar posibles sobrecargas.

### 5.4.3. Verificación del proyecto implementado

Para establecer los valores de prueba, se procedió a abrir la válvula que regula el caudal de agua hacia el inyector. Durante el funcionamiento del sistema, se obtuvieron los resultados que se presentan en la tabla 9.

Tabla 10: Valores de comportamiento del sistema.

Apertura de la válvula (%)	N.º vueltas de la válvula	Caudal (L/s)	Generador (RPM)	Voltaje (V)	Potencia (W)
5	0,25	2	150	24,5	25
10	0,5	2,5	300	35	50
20	1	4,5	600	80	150
30	1,5	7,5	1000	110	300
40	2	11	1178	115	425
50	2,5	12,5	1766	124,9	450
60	3	15	1766	124,9	490
70	3,5	17	1800	124,9	500
80	4	21	1800	124,9	500
90	4,5	23	1800	124,9	500
100	5	25	1800	124,9	500

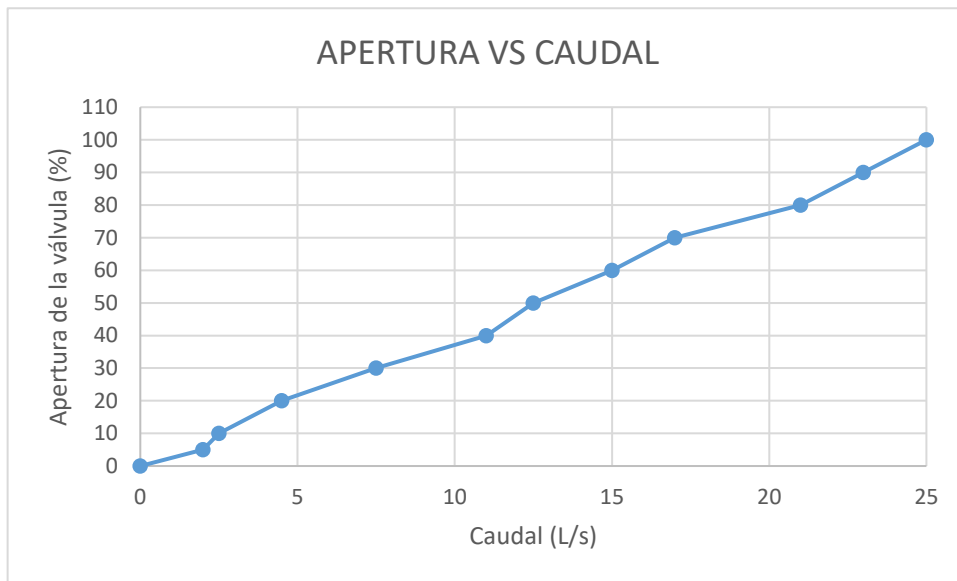


Figura 37. Gráfica de caudal en función de la apertura de la válvula.

En la Figura 37 se presenta la relación entre el porcentaje de apertura de la válvula y el caudal (L/s) que ingresa al inyector de la turbina, mostrando un incremento no lineal. A un caudal de aproximadamente 5 L/s, la válvula está abierta en torno al 20%. Al incrementar el caudal a 10 L/s, la válvula se abre alrededor de un 40-50%. Para alcanzar un caudal de 20 L/s, la apertura de la válvula se incrementa al 80% y a 25 L/s, la válvula está completamente abierta.

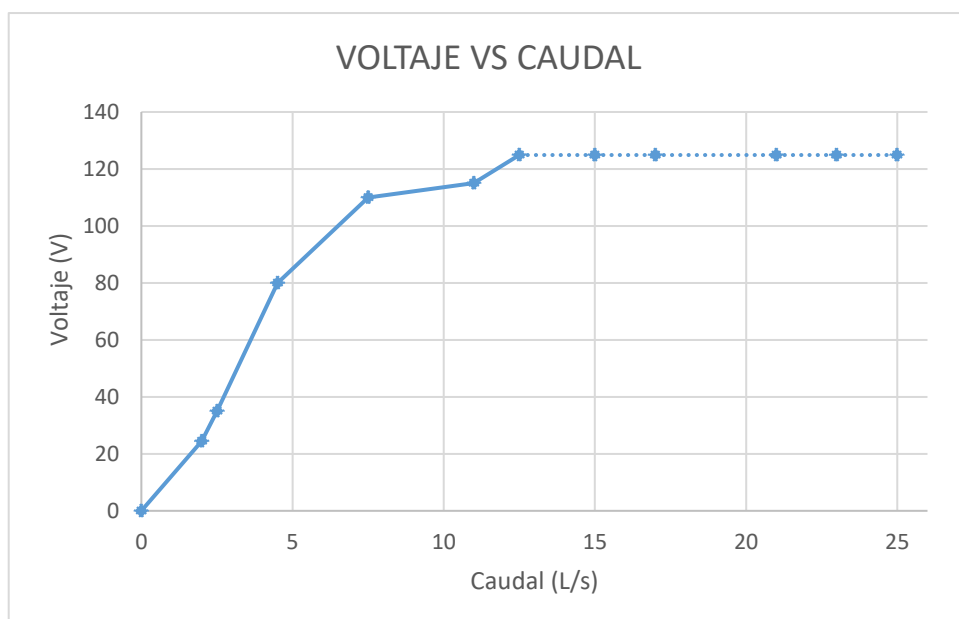


Figura 38. Caudal vs Voltaje medido.

La Figura 38 indica que el sistema Microhidráulica está diseñado para operar de manera óptima entre 5 y 10 L/s, donde el voltaje oscila entre los 24,5 y 35 V, los cuales ya iluminaron tres puntos de iluminación y un cargador de celular. A partir de los 10 L/s, el voltaje se estabiliza en torno a 120-124,9 V, a pesar de que el caudal sigue aumentando hasta 25 L/s.

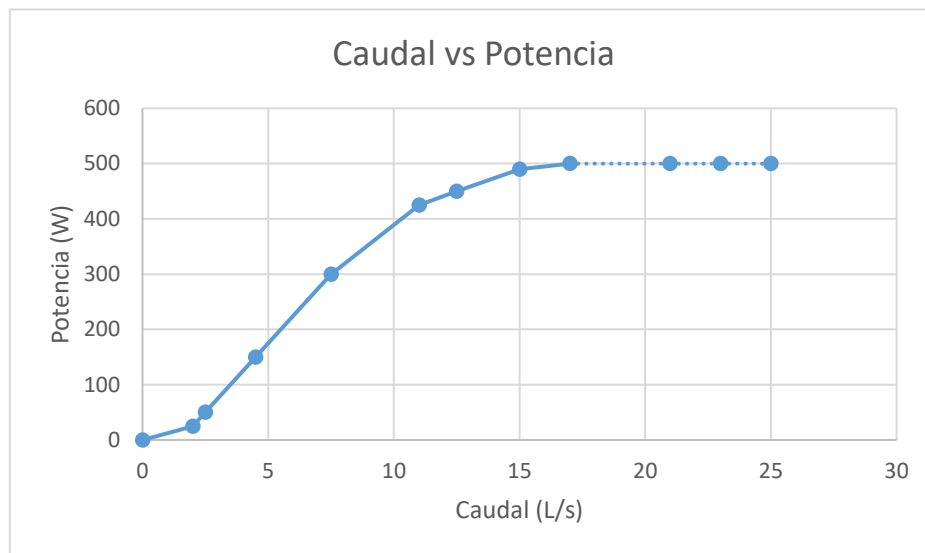


Figura 39. Caudal vs Potencia.

La Figura 39 muestra que el sistema Microhidráulica alcanza su máxima eficiencia en la generación de potencia en el rango de caudal de 0 a 5 L/s, donde se logra producir hasta 50 W, necesarios para iluminar tres puntos de luz y cargar un celular. Más allá de este rango, el sistema alcanza su límite de generación, y aumentar el caudal no resulta en un aumento de la potencia, lo que sugiere que solo se llegue a aperturar la válvula hasta el 30 % para incrementar la vida útil del sistema.

Concluyendo que el sistema opera en condiciones óptimas al abrir la válvula hasta el 30%, lo que equivale a 1,5 vueltas, se puede considerar la opción de abrir aún más la válvula en caso de que se añadan cargas adicionales al sistema. Este ajuste permitiría incrementar el flujo de agua hacia la turbina, lo que podría ser necesario para satisfacer la demanda de energía adicional, asegurando así que el sistema mantenga un rendimiento eficiente y continuo bajo una mayor carga de consumo.

## 5.5. Análisis Económico

### 5.5.1. Costos de Implementación

El análisis económico incluye la evaluación de los costos de implementación, operación y mantenimiento del sistema. Los costos iniciales de instalación se detallan en la Tabla 10.

Tabla 11. Costos de implementación

ELEMENTO	COSTO (\$)
Panel de control	500
Infraestructura	500
Mano de obra	200
Ingeniería	70
Manguera y accesorios	300
Total	1570

### 5.5.2. Análisis de Retorno de Inversión (ROI)

El retorno de inversión se calcula mediante la ecuación 5.1, considerando los ingresos generados por la venta de energía y los costos de operación y mantenimiento. Los ingresos anuales se estiman en base a una tarifa de 0.12 USD/kWh.

$$ROI = \frac{\text{Ingresos anuales} - \text{costos de operación anual}}{\text{costos de la inversión}} \cdot 100 \quad (5.1)$$

$$ROI = \frac{525,6 \text{ USD} - 100 \text{ USD}}{1570} \cdot 100$$

$$ROI = 27,18 \%$$

El ROI refleja el 27,18% de retorno sobre la inversión inicial que se puede esperar anualmente.

Tabla 12. Ingresos y ROI

CONCEPTO	VALOR (USD)
Producción anual (kWh)	4380 kWh
Ingresos anuales	525,6 USD/año
Costos de operación anual	100
ROI	19,34

Los resultados obtenidos confirman la viabilidad técnica y económica de la pico central hidroeléctrica de 500 W con turbinas Turgo. La eficiencia óptima y la producción estable de energía demuestran que el sistema es capaz de generar la potencia requerida bajo condiciones operativas variadas. El análisis económico revela un retorno de inversión positivo, haciendo del proyecto una opción atractiva para comunidades rurales con acceso limitado a la red eléctrica.

Los hallazgos respaldan el objetivo de proporcionar una solución sostenible y eficiente para la generación de energía a pequeña escala, contribuyendo a mejorar la calidad de vida de las comunidades beneficiadas. Estos resultados son consistentes con las metas y expectativas planteadas al inicio del proyecto, validando así la propuesta tecnológica y su implementación en contextos similares.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- Las picos centrales hidroeléctricas son una solución viable y sostenible para lugares donde no llega la red de la empresa eléctrica. Específicamente, se encontró que las turbinas Turgo se implementan en aplicaciones de baja potencia, con caudales que oscilan entre 0,02 y 0,05 m<sup>3</sup>/s.
- El diseño del sistema de generación eléctrica para la pico central hidroeléctrica de 500 W fue exitoso. Utilizando materiales adecuados como tubería de polietileno de alta densidad y componentes como la turbina Turgo y un generador de 1800 RPM, se logró un sistema eficiente y compatible con las condiciones del entorno. La tubería seleccionada, con una resistencia de hasta 50 PSI y un diámetro de 1 1/2", permitió mantener una presión de 44,1 PSI, asegurando una operación segura y eficiente sin riesgos de fallos por sobrepresión.
- La implementación del sistema diseñado fue exitoso, cumpliendo con el objetivo de generar energía eléctrica a partir de una turbina Turgo con un caudal de 2 L/s y un salto de 31 m. Durante las pruebas, la turbina alcanzó una potencia eléctrica de 0,5 kW, cumpliendo así con el objetivo de obtener 500 W de energía eléctrica.
- El sistema operó de manera estable y eficiente, manteniendo la frecuencia de 60 Hz y el voltaje de 124,9 V bajo diversas condiciones de carga. El sistema capaz de ajustarse eficientemente a diferentes condiciones de flujo validó la viabilidad técnica y económica del proyecto.

## Recomendaciones

- Se recomienda considerar la ampliación del proyecto a otras comunidades rurales con características similares. La replicación del proyecto puede contribuir significativamente a mejorar el acceso a energía eléctrica en áreas remotas.
- Es esencial continuar con el monitoreo del sistema para garantizar su eficiencia a largo plazo. Se deben realizar ajustes y optimizaciones periódicas basadas en los datos recolectados para mantener el rendimiento óptimo del sistema.
- Implementar programas de capacitación y educación para los miembros de la comunidad sobre el mantenimiento y uso eficiente del sistema. Esto asegurará la sostenibilidad del proyecto y la participación activa de la comunidad en su gestión.
- Fomentar la investigación y el desarrollo continuo en tecnologías de pico centrales hidroeléctricas. La innovación en este campo puede llevar a mejoras en la eficiencia.

## 7. REFERENCIAS

- [1] J. Wu y T. Wu, «Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos», *Organización de las Naciones Unidas (ONU)*. Accedido: 15 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/es/chronicle/article/objetivo-7-garantizar-el-acceso-una-energia-asequible-fiable-sostenible-y-moderna-para-todos>
- [2] L. Guerra, «Estudio de factibilidad técnico/económica de un sistema híbrido de generación eléctrica para escuelas de Quinchao», UNIVERSIDAD DE CHILE, Santiago de Chile, 2013. Accedido: 15 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/115291/cf-guerra\\_lb.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/115291/cf-guerra_lb.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [3] W. Castillo y M. Rodríguez Gamez, *Factibilidad económica de la extensión de la red eléctrica. (Comunidades rurales de Chones)*. 2015. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/320564856\\_Factibilidad\\_economica\\_de\\_la\\_extension\\_de\\_la\\_red\\_electrica\\_comunidades\\_rurales\\_de\\_Chones](https://www.researchgate.net/publication/320564856_Factibilidad_economica_de_la_extension_de_la_red_electrica_comunidades_rurales_de_Chones).
- [4] L. de J. Ramos-Gutiérrez y M. Montenegro-Fragoso, «Las centrales hidroeléctricas en México: pasado, presente y futuro», *Tecnol. Cienc. Agua*, vol. 3, n.º 2, pp. 103-121, jun. 2012.
- [5] C. R. J. Pierre y M. S. A. Danilo, «FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA», n.º 2013.
- [6] C. Gómez y M. Geovanny, «Estudio de factibilidad para la implementación de una pico central hidroeléctrica a la cascada Santa Susana de Chiviaza - Provincia de Morona Santiago - Ecuador».
- [7] M. Chalan y E. Geovanny, «Diseño y análisis para la implementación de un sistema de pico- aprovechamiento en generación hidroeléctrica».
- [8] «centrales-hidroelc3a9ctricas-041.pdf». Accedido: 6 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ingenierosenapuros.wordpress.com/wp->

- content/uploads/2013/06/centrales-hidroelc3a9ctricas-041.pdf
- [9] A. Tapia, «Implementación de una pico central hidroeléctrica mediante una turbina Turgo de baja potencia en el barrio Guadalupe.», UTC, Latacunga, 2022. Accedido: 6 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en:  
<https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/9803/1/MUTC-001346.pdf>
- [10] «T010\_48299993\_T.pdf». Accedido: 7 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en:  
[https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6482/T010\\_48299993\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6482/T010_48299993_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [11] C. T. B. David, «Implementación de una pico-generadora hidroeléctrica con turbina tipo Turgo en el patio de pruebas de la carrera de Electricidad», 2023, [En línea]. Disponible en:  
<https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/14781/2/04%20MEL%20218%20TRA%20BAJO%20GRADO.pdf>
- [12] «PS MARTIN MOHADED.pdf». Accedido: 13 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en:  
<https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/11414/PS%20MARTIN%20MOHADED.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [13] L. Pérez, «Evaluación de la producción eléctrica de una turbina Turgo», UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA, 2019. Accedido: 13 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en:  
<https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/8653/39504.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [14] R. R. R. Córdova y A. G. V. Valle, «Repotenciación del banco de la turbina Turgo y el generador en el laboratorio de turbo maquinaria hidráulica de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.», 2022.
- [15] C. T. B. David, «Implementación de una pico-generadora hidroeléctrica con tubina tipo Turgo en el patio de pruebas de la carrera de Electricidad.»
- [16] J. Rodríguez, «Simulador del Generador Síncrono», Universidad de Sevilla, 2022. [En línea]. Disponible en:  
[https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/140589/TFG0386\\_rodriguez-seco\\_2022\\_simulador.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/140589/TFG0386_rodriguez-seco_2022_simulador.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [17] A. Vivas, «Diseño de pico-turbinas hidráulicas axiales para la recuperación de energía en redes de distribución de agua», UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CARTAGENA, Cartagena, 2022. [En línea]. Disponible en: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/ajvb.pdf>
- [18] «Google Maps», Google Maps. Accedido: 12 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.google.com/maps/@-0.9322847,-78.5320113,419m/data=!3m1!1e3?entry=ttu>
- [19] «Google Earth». Accedido: 12 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en:  
<https://earth.google.com/web/@-0.93333488,-78.53328506,3180.70250905a,952.3123023d,30y,0h,0t,0r/data=MikKJwolCiExMmtVZzBodF9EQ180dU1zclBvcnU2VnVLajhuNIMyQ2wgAToDCgEw>
- [20] «Microhidráulica 500W», PROVIENTO STORE. Accedido: 16 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://proviento.com.ec/microhidraulicas/71-microhidraulica-500w.html>
- [21] W. Llango y E. Gallegos, «Diseño e implementación de una pico-central hidroeléctrica aprovechando el movimiento del agua para la generación de energía eléctrica en la hacienda ecológica Baños de la parroquia Alaquez-provincia de Cotopaxi.», Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga.

## 8. ANEXOS

**Anexo 1.** Características de la Microhidráulica de 500 W.

Elemento	Descripción
Turbina	Turgo
Generador	Síncrono de imanes permanentes
N.º Polos	4 polos
Voltaje	110 VAC
Potencia	500 W
Material	Acero fundido
Caudal requerido	0,002 – 7 l/s
Caída requerida	12 – 18 m
OnGrid	No

**Anexo 2.** Tubería de polietileno de 1.5 pulgadas de 50 PSI de presión de trabajo utilizada en el proyecto



Información adicional

Descripción del producto	AGROFLEX 1 1/2" 50 PSI
Diámetro nominal interior	40 milímetros
Presión nominal de trabajo	50 PSI
Presión de rotura	170 PSI
Longitud	Rollo de 100 m
Color	Negro
Uso y aplicaciones	Riego, Uso general

**ANEXO 3.** Características de la válvula de compuerta de 1 ½ pulgadas.

**TRUPER**

Ficha Técnica



CÓDIGO: 49021 CLAVE: CORO-1-1/2

**Válvula de compuerta de latón roscable de 1 1/2", Foset**

- Cuerpo de latón para máxima duración
- Volante de acero y empaques de PTFE
- Para agua, aceite y gas WOG (Water, Oil, Gas)
- Apertura y cierre hermético de vuelta completa
- Para temperaturas altas
- Baja frecuencia de operación



Roscable

**Certificaciones y garantías**

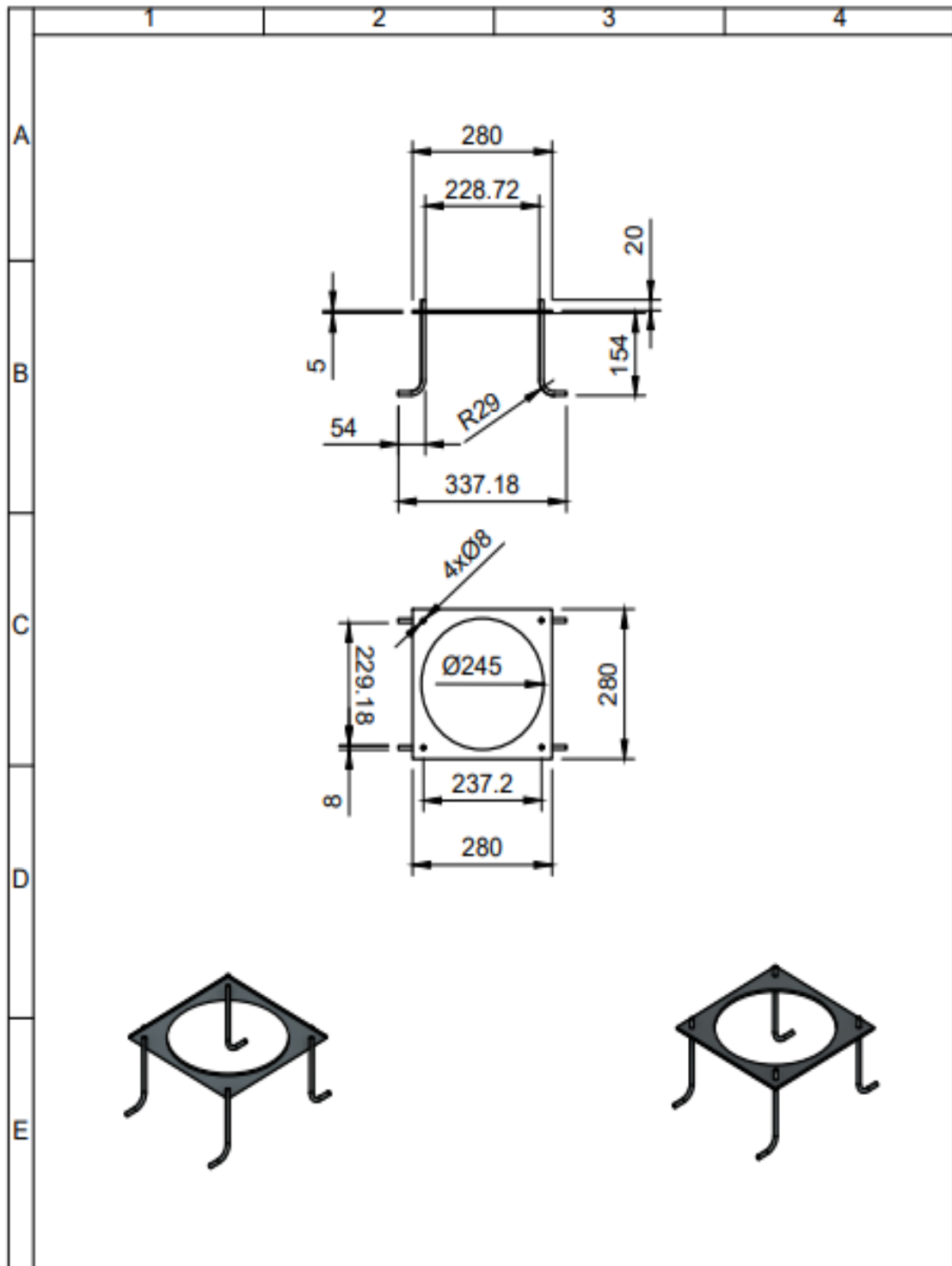
- Garantizado contra defectos de fabricación o mano de obra. La garantía se puede hacer válida con cualquier distribuidor de TRUPER

**Especificaciones**

<b>Medida</b>	1 1/2" (38 mm)
<b>Presión máxima</b>	1,034 kPa / 150 PSI
<b>Tipo de rosca</b>	1 1/2" - 11.5 NPT
<b>Empaque individual</b>	Etiqueta
<b>Inner</b>	6
<b>Master</b>	36
<b>Pallet</b>	1728

**ANEXO 4.** Componentes del medidor de parámetros eléctricos.

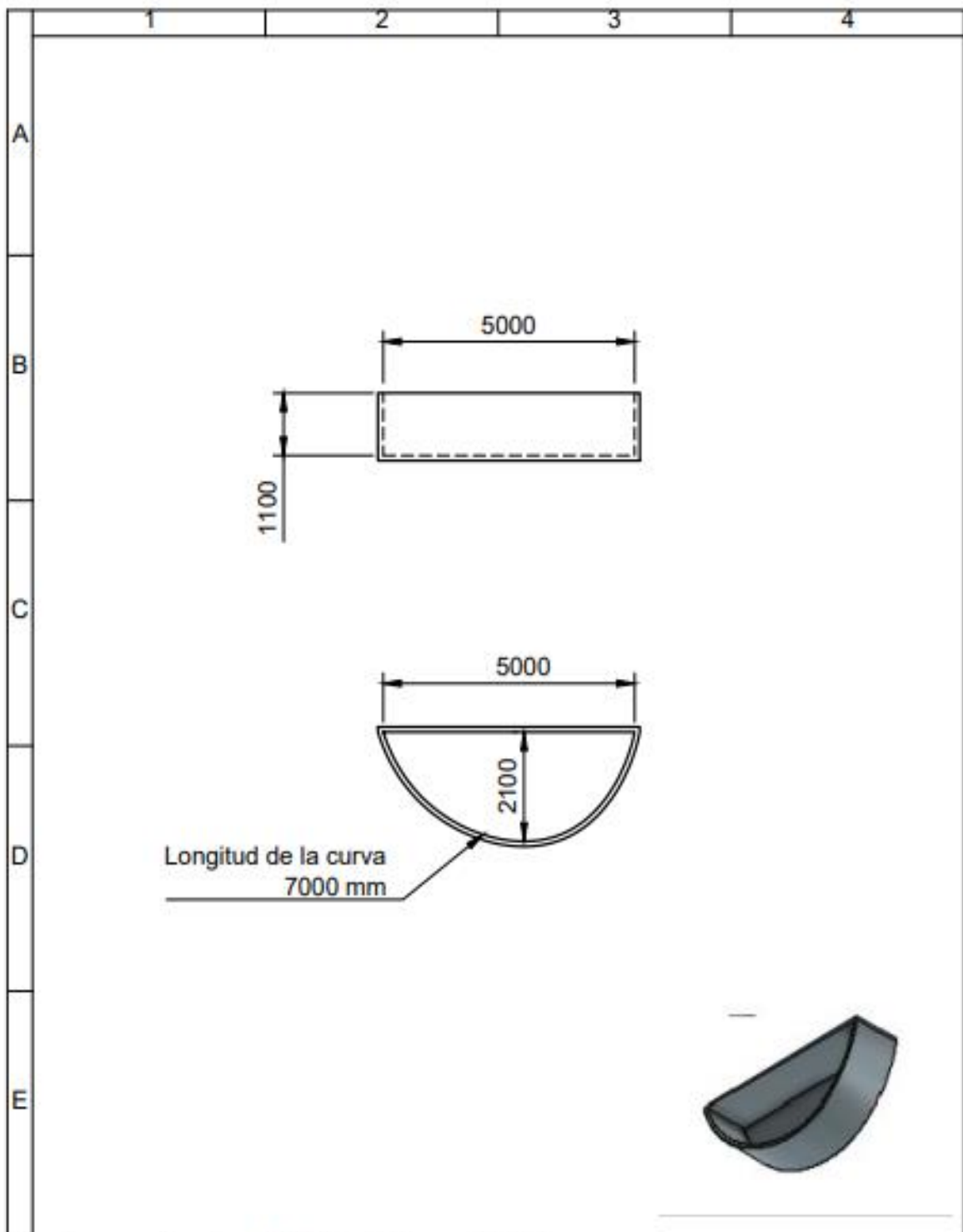
Componentes	Fotografía
Sentron PAC 3220	
Interruptor termomagnético de 5 A	
Luz piloto	
Selector de dos posiciones	



				Tolerancia	Peso	Material	
					Fecha	Nombre	Denominación
				Dib.			Base de acero
				Rev.			
				Apro.			
							Número de dibujo
							ANEXO 5
							Sustitución
							Marca de registro



Ingeniería  
Electromecánica



				Tolerancia	Peso	Material	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
				Div.		<b>Embalse</b>	<b>1:50</b>
				Rev.			
				Apr.			
						Número de dibujo	Marca de registro
						<b>Anexo 6</b>	
						Sustitución	

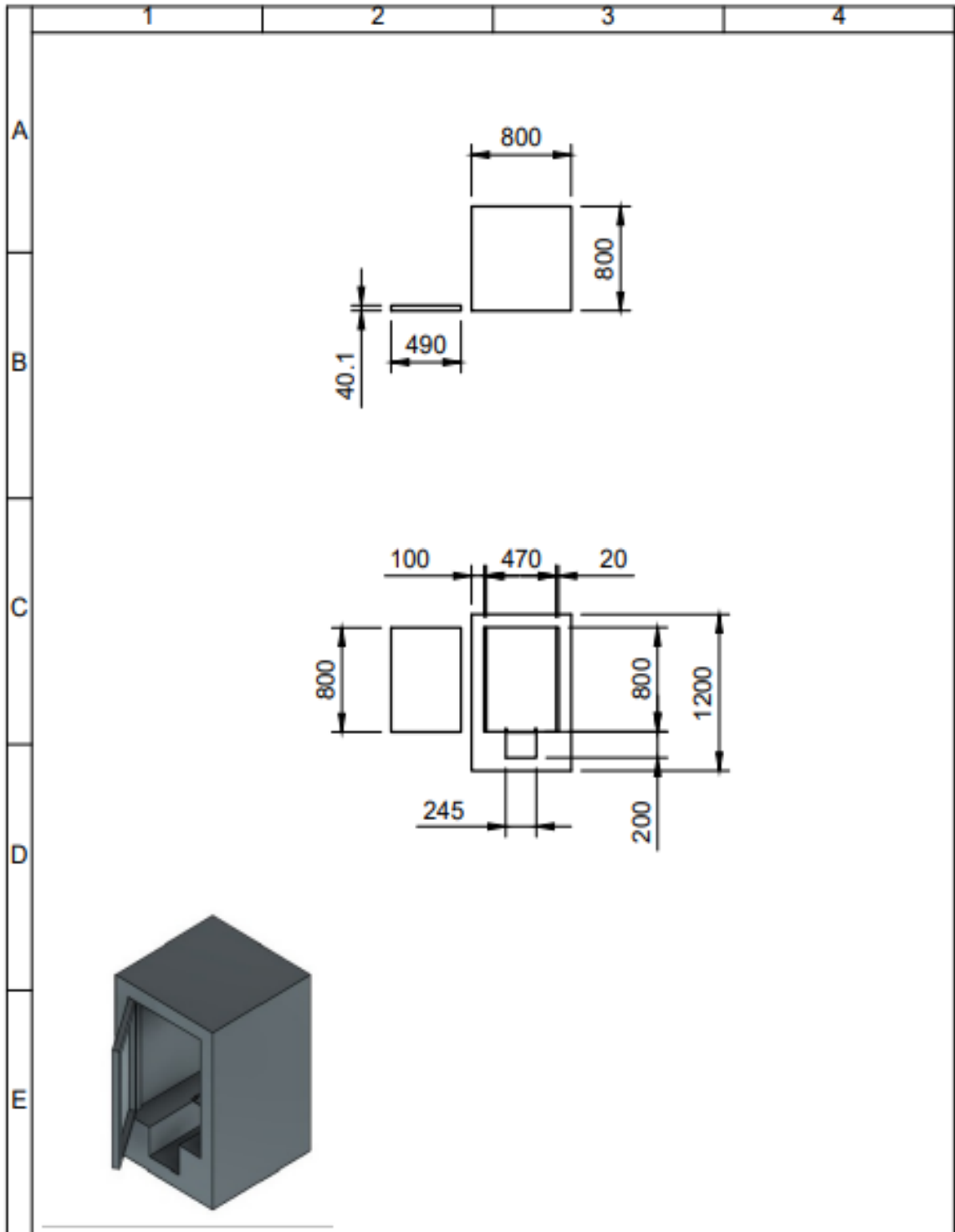

**Ingeniería  
Electromecánica**

**ANEXO 7.** Acople Camlock Tipo E macho con espiga para manguera de 2" y un acople Camlock Tipo C hembra con espiga para manguera de 2"



TIPO C

TIPO E

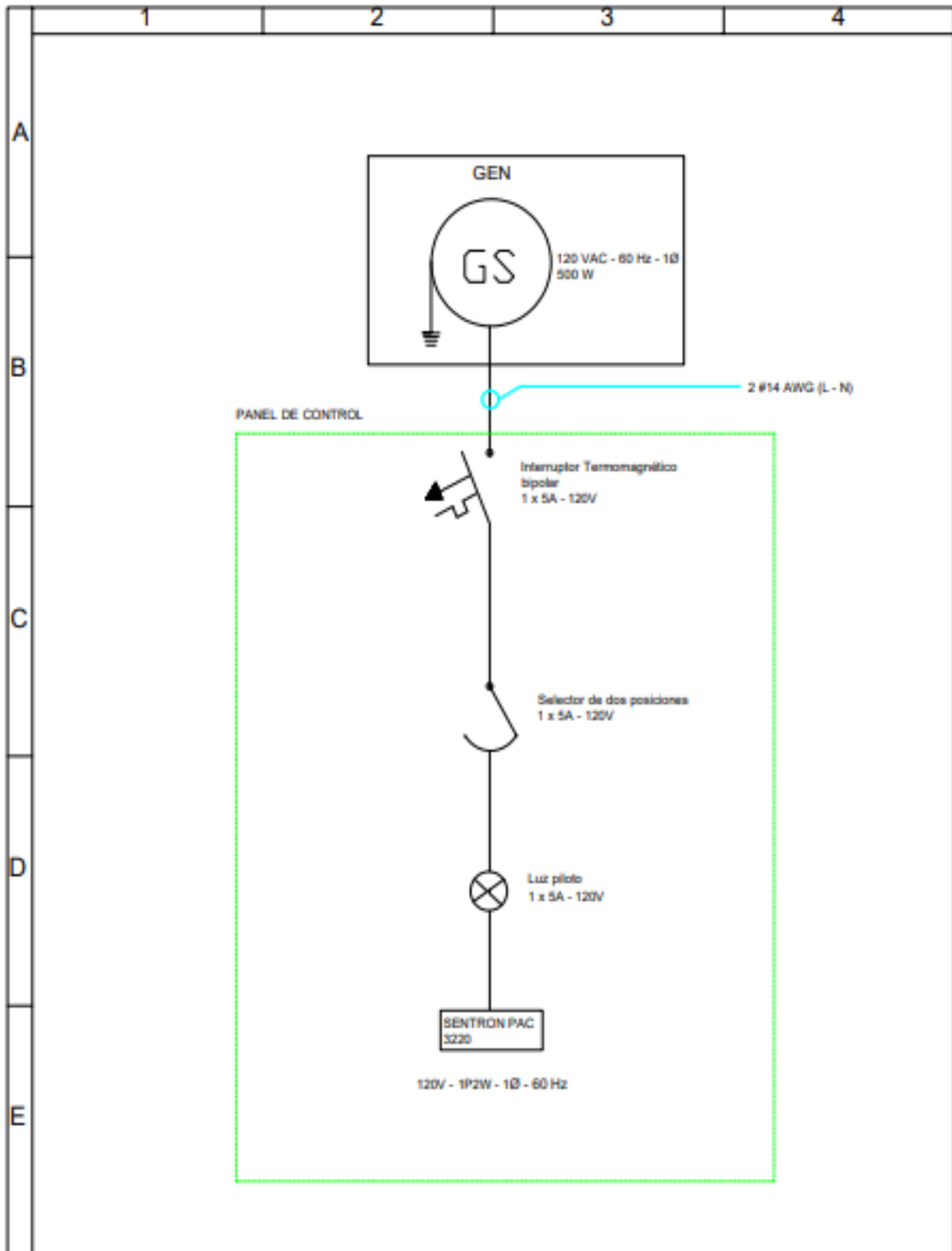


				Tolerancia	Peso	Material	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
				Div.		Casa de maquinas	1:20
				Rev.			
				Apro.			
						Número de dibujo	Marca de registro
						ANEXO 8	
						Sustitucion	

Edición Modificación Fecha Nombre

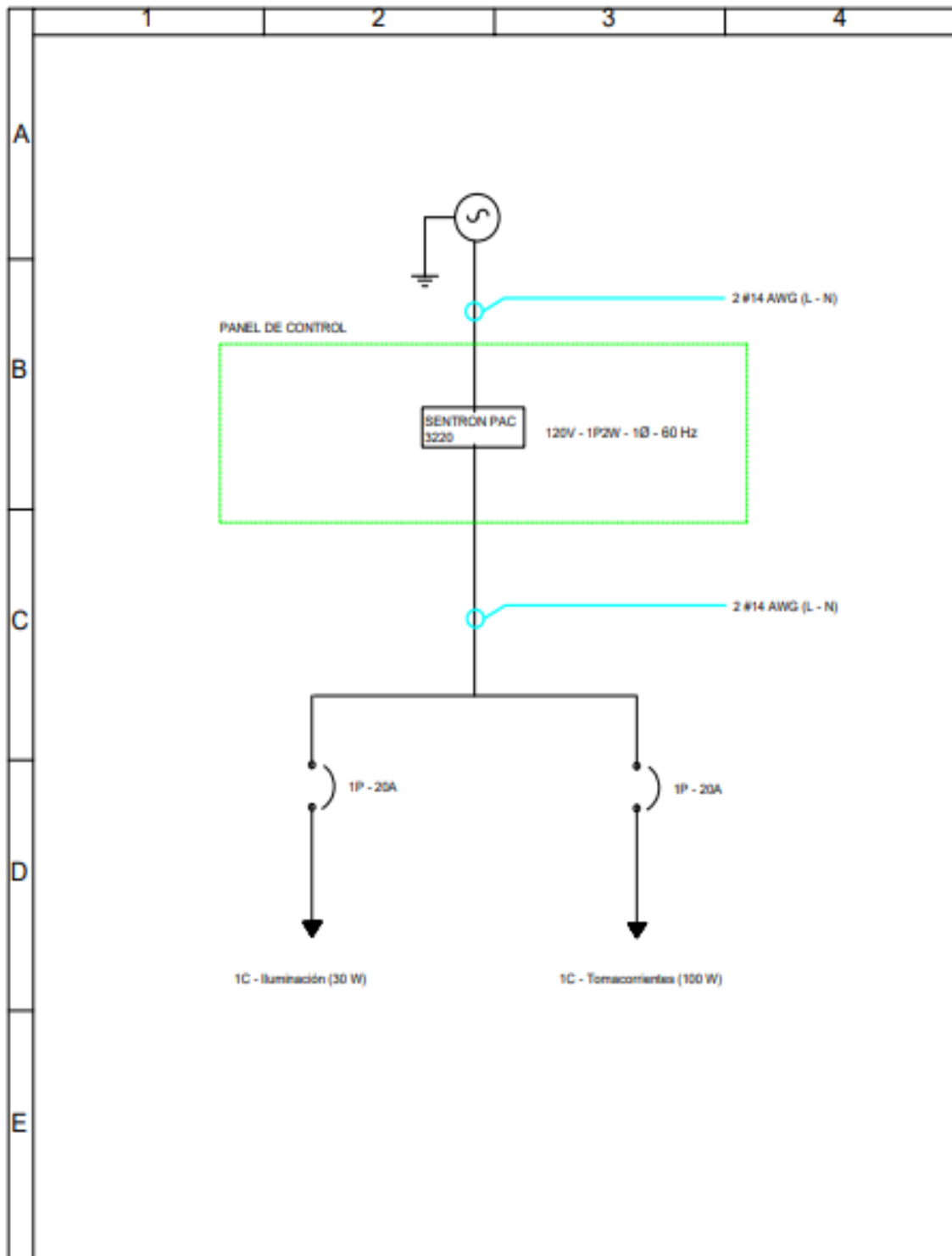


Ingeniería  
Electromecánica



				Tolerancia	Peso	Material	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
				Div.		Diagrama unifilar del panel de control	1:20
				Rev.			
				Apro.			
						Número de dibujo	Marca de registro
						<b>ANEXO 9</b>	
						Sustitución	





				Tolerancia	Peso	Material	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
				Div.		Diagrama unifilar del sistema	1:20
				Rev.			
				Apró.			
						Número de dibujo	Marca de registro
						<b>ANEXO 10</b>	
						Sustitución	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	 <b>Ingeniería Electromecánica</b>			

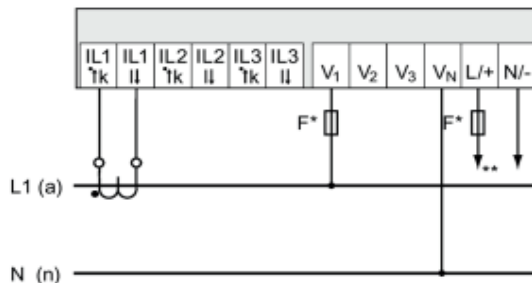
**Anexo 11.** Tipos de conexiones del SENTRON PAC 3220. Conexión con la configuración 1P2W.

Abreviatura	Tipo de conexión
3P4W	3 fases, 4 conductores
3P3W	3 fases, 3 conductores
3P4WB	3 fases, 4 conductores, carga balanceada
3P3WB	3 fases, 3 conductores, carga balanceada
1P2W	Corriente alterna monofásica

La forma de conexión en las entradas del aparato debe corresponderse con uno de los tipos de conexión anteriormente descritos. Elija el tipo de conexión que se ajuste a la finalidad de uso.

**.Medición monofásica, 2 conductores, sin transformador de tensión, con 1 transformador de corriente**

Tipo de conexión 1P2W



- \* Los fusibles sirven exclusivamente para la protección de cables. Pueden utilizarse todos los automáticos magnetotérmicos convencionales hasta 20 A (C).
- \*\* Conexión de la tensión de alimentación

**Anexo 12.** Tabla de perdidas por fricción.



**CANTIDAD EQUIVALENTE DE PIES DE TUBERÍA RECTA PARA ACCESORIOS DIFERENTES**

Tamaño de los accesorios, pulgadas	½"	¾"	1"	1¼"	1½"	2"	2½"	3"	4"	5"	6"	8"	10"
Codo en L de 90°	1.5	2.0	2.7	3.5	4.3	5.5	6.5	8.0	10.0	14.0	15	20	25
Codo en L de 45°	0.8	1.0	1.3	1.7	2.0	2.5	3.0	3.8	5.0	6.3	7.1	9.4	12
Codo en L abierto	1.0	1.4	1.7	2.3	2.7	3.5	4.2	5.2	7.0	9.0	11.0	14.0	
Curva en U estrecha	3.6	5.0	6.0	8.3	10.0	13.0	15.0	18.0	24.0	31.0	37.0	39.0	
Perfil T de paso recto	1	2	2	3	3	4	5						
Perfil T - entrada o salida lateral o adaptador sin depresión	3.3	4.5	5.7	7.6	9.0	12.0	14.0	17.0	22.0	27.0	31.0	40.0	
Válvula de bola o de globo abierta	17.0	22.0	27.0	36.0	43.0	55.0	67.0	82.0	110.0	140.0	160.0	220.0	
Válvula angular abierta	8.4	12.0	15.0	18.0	22.0	28.0	33.0	42.0	58.0	70.0	83.0	110.0	
Válvula de compuerta - completamente abierta	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7	2.3	2.9	3.5	4.5	
Válvula de retención (a bisagra)	4	5	7	9	11	13	16	20	26	33	39	52	65
Válvula de retención en línea (a resorte) o válvula de aspiración	4	6	8	12	14	19	23	32	43	58			

## Hoja de datos

7KM3220-0BA01-1DA0



SETRON PAC3220 LCD 96 x 96 mm Dispositivo de vigilancia eléctrica incorporado en panel para medir magnitudes eléctricas Protocolo: Modbus TCP con display gráfico Ue nominal: 690/400 V 45-65 Hz Ie nominal: X/1 A o bien X/5 A AC Energía auxiliar: 100...250 V +- 10 % AC/DC Conexión por borne de tornillo

La versión	
nombre comercial del producto	SETRON
tipo de producto	Basic
denominación del tipo de producto	Aparato de medida
tipo de captura de valores medidos	completo
tipo de alimentación eléctrica	fuentes de alimentación de gran alcance
Datos técnicos generales	
ancho del recorte	92 mm
altura del recorte	92 mm
tamaño del analizador de red	tamaño constructivo 96
modo de operación para captura de valores medidos	
<ul style="list-style-type: none"> <li>medida automática de la frecuencia de red</li> <li>ajuste fijo a 50 Hz</li> <li>ajuste fijo a 60 Hz</li> </ul>	<p>Sí</p> <p>No</p> <p>No</p>
forma de curva de la tensión	sinusoidal o distorsionado
frecuencia de red medible / valor inicial	45 Hz
frecuencia de red medible / valor final	65 Hz
La tensión de alimentación	
tipo de corriente / de la tensión de alimentación	AC/DC
categoría de medida / para tensión de alimentación	CATIII
<ul style="list-style-type: none"> <li>potencia aparente consumida / sin módulo de ampliación / típico</li> </ul>	8 VA
Clase de protección	
grado de protección IP	
<ul style="list-style-type: none"> <li>frontal</li> <li>por el dorso</li> </ul>	<p>IP65</p> <p>IP20</p>
Electricidad	
intensidad de empleo / con AC / valor asignado	10 A
corriente medible	
<ul style="list-style-type: none"> <li>1 / con AC / valor nominal</li> <li>2 / con AC / valor nominal</li> </ul>	<p>1 A</p> <p>5 A</p>
Idoneidad	
aptitud de uso	Montaje en cuadros/tableros fijos dentro de salas cerradas
aptitud para uso / vatímetro de reactiva	Sí
ventana de tiempo ajustable / min.	10 ms
Función del producto	
función del producto	
<ul style="list-style-type: none"> <li>medida de la potencia reactiva</li> <li>medición de la frecuencia</li> </ul>	<p>Sí</p> <p>Sí</p>

## 7014

Soldadura con electrodo (SMAW)

E7014 SMAW (Barra) es un electrodo de acero para todas las posiciones para soldar aceros suaves, incluidos bastidores, bases de máquinas, láminas de metal pesadas, estanterías, mantenimiento general y fabricación.



### DETALLES

E7014 es un electrodo de acero para todas las posiciones con polvo de rutilo-hierro que produce una alta tasa de deposición y permite cordones suaves y ondulaciones finas. El electrodo E7014 puede utilizarse cuando existe un ajuste deficiente y cuando se necesita mayor deposición y velocidad de desplazamiento.

#### Características

- Electrodo de acero para todas las posiciones
- Contiene polvo de rutilo-hierro para una mayor tasa de deposición
- Produce cordones suaves y ondulaciones finas
- Se utiliza donde existe un ajuste deficiente y se necesitan una mayor deposición y velocidad de desplazamiento
- La escoria se elimina fácilmente y se levanta por sí sola

#### Aplicaciones típicas

- Soldadura de acero dulce: bases de máquinas, estructuras, metal laminado pesado y estantes
- Mantenimiento general y fabricación que funcionan con CA, CCEN o CCEP.

# **ANEXO XV**

# **MANUAL DE OPERACIONES**



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**FACULTAD EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**MANUAL DE OPERACIÓN DE UNA PICOCENTRAL**

**HIDROELÉCTRICA DE 500 W**

**AUTOR:**

**Victor Marcelo Toapanta Guano**

**LATACUNGA, AGOSTO 2024**

## 1. INTRODUCCIÓN

Este manual proporciona instrucciones detalladas para la operación segura y eficiente de la pico central hidroeléctrica de 500 W, diseñada para generar electricidad a partir de un flujo de agua utilizando una turbina tipo Turgo y un generador síncrono de imanes permanentes, como se muestra en la figura 1. Este sistema es ideal para áreas rurales y comunidades sin acceso a la red eléctrica.



Figura 1. Pico central hidroeléctrica de 500 W.

## 2. DESCRIPCION DEL SISTEMA

La pico central hidroeléctrica consta de los siguientes componentes principales:

- **Turbina Turgo:** Convertidor de energía hidráulica en energía mecánica.
- **Generador síncrono:** Convierte la energía mecánica en electricidad.
- **Sistema de Control:** Gestiona la operación y protege el sistema.
- **Sentron PAC 3220:** Medidor multifuncional para monitorear parámetros eléctricos.
- **Circuitos de Iluminación y Tomacorrientes:** Distribuyen la energía generada a los usuarios finales.

### 3. REQUISITOS PREVIOS

Antes de operar el sistema, asegúrese de:

- Verificar que las conexiones eléctricas estén correctas y seguras.
- Verificar que las conexiones hidráulicas estén correctas y no tenga ninguna fuga.
- Haber revisado todos los componentes para asegurar que estén en buen estado.

### 4. PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN

#### 4.1. Arranque del Sistema

1. **Verifica las Condiciones del Agua:** Asegúrate de que el flujo de agua sea constante si es necesario y dentro del rango operativo.
2. **Verifica las Conexiones:** Revisa las conexiones eléctricas, como se muestra en la figura 2 y asegúrate de que no haya cortocircuitos ni cables sueltos.

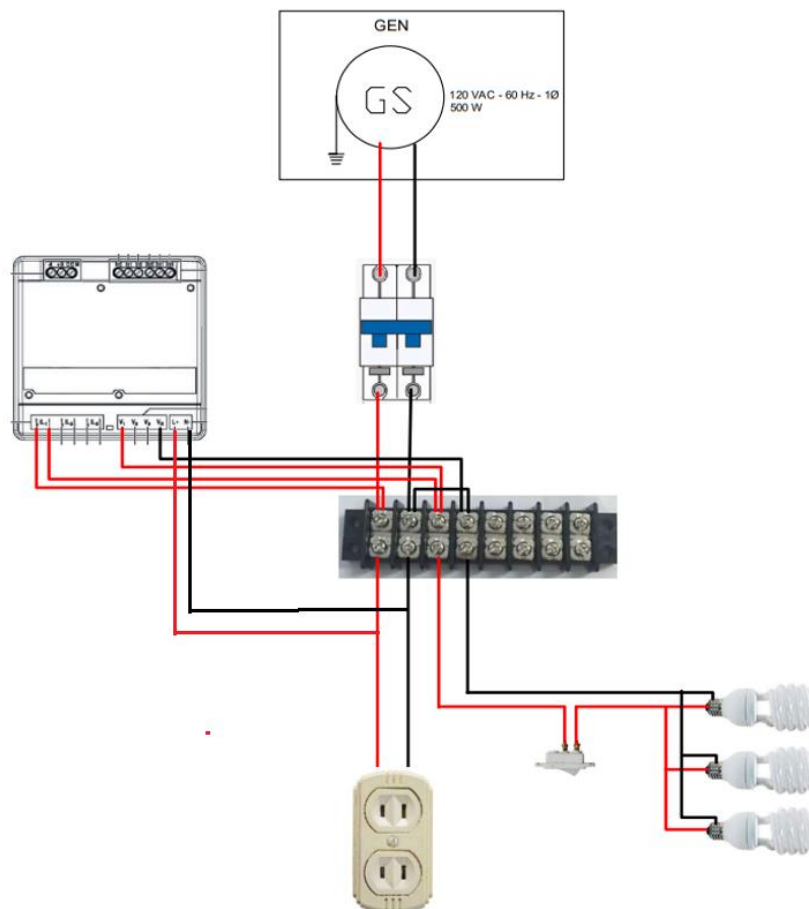


Figura 2. Diagrama de conexiones.

3. **Abrir la Válvula de Entrada:** Abre la válvula de entrada gradualmente, comenzando con un cuarto de vuelta girando en sentido antihorario, tal como se indica en la figura 3 y espera aproximadamente 10 segundos. Este tiempo permite que la presión acumulada en la tubería se libere de manera controlada, reduciendo así el riesgo de fluctuaciones y cavitación en el sistema. Posteriormente, continúa abriendo la válvula de manera gradual para permitir que el agua fluya hacia la turbina, generando el giro rotacional necesario para accionar el generador y comenzar la producción de energía.



Figura 3. Apertura de la válvula girando en sentido antihorario.

4. **Activar el interruptor termomagnético:** Levanta la palanca del interruptor termomagnético, tal como se indica en la figura 4, para habilitar el flujo de energía, lo que permitirá energizar tanto el Sentron PAC 3220 como las cargas conectadas al sistema.

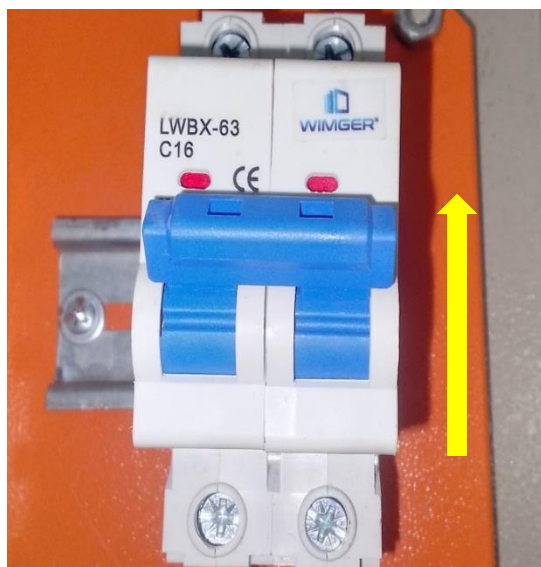


Figura 4. Activación del interruptor termomagnético.

5. **Activar el Sentron PAC 3220:** Enciende el medidor girando el selector en sentido horario, tal como se indica en la figura 5, para comenzar a monitorear los parámetros eléctricos.

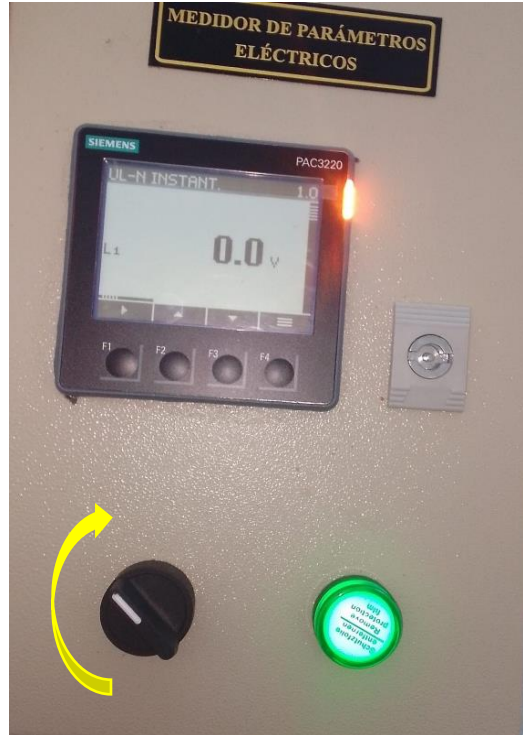


Figura 5. Activación de medidor.

#### 4.2. Monitoreo y Medición

- **Monitoreo Constante:** Usa el Sentron PAC 3220 para monitorear continuamente la corriente, voltaje, y potencia generada.

Una vez que todo el sistema esté encendido, hay dos métodos para monitorear los valores de corriente, voltaje y potencia, pero el más sencillo es utilizar el botón F3 en la pantalla del Sentron PAC 3220, como se muestra en la figura 6.



Figura 6. Botón F3.

Al presionar este botón, se desplazará hacia abajo, mostrando los valores en el orden que indica la tabla 1

Tabla 1. Orden de parámetro medidos en el Sentron PAC 3220.

Parámetros
Tensión VL-N
Corriente I
Potencia ap. S
Potencia activa P
Potencia react. Q
Potencia total S.P. Q
Factor de potencia FP
Cos $\phi$
Frecuencia Hz
TDH Corriente
TDH Tensión
Energía apar kVAh
Energía activa kWh
Energía react. kVARh

- **Ajustes Menores:** Realiza ajustes a la válvula de entrada si es necesario para mantener una operación estable.
- **Supervisión Visual:** Revisa visualmente la turbina y el generador periódicamente para detectar cualquier anomalía.
- **Revisión de Parámetros:** Revisa los parámetros en el Sentron PAC 3220 para asegurar que estén dentro de los rangos normales.
- **Registro de Datos:** Anota las lecturas de corriente, voltaje y potencia para un análisis posterior y mantenimiento preventivo.

#### 4.3.Parada del Sistema

1. **Apagar el Sentron PAC 3220:** Apaga el medidor girando el selector en sentido antihorario, tal como se indica en la figura .7



Figura 7. Desactivación del medidor.

2. **Desactivar el interruptor termomagnético:** Descender la palanca del interruptor termomagnético para interrumpir el suministro de energía, tal como se indica en la figura 8, des energizando así todo el sistema, incluyendo el Sentron PAC 3220 y todas las cargas conectadas, asegurando una parada segura y controlada del sistema eléctrico.



Figura 8. Desactivación del interruptor termomagnético.

3. **Reducir el Flujo de Agua:** Cierra la válvula gradualmente para evitar un aumento repentino de la presión, previniendo así el riesgo de daños en la tubería, girando en sentido horario tal como se indica en la figura 9. Este proceso también reducirá el flujo de agua hacia la turbina, lo que eventualmente detendrá su funcionamiento.



Figura 9. Cierre de la válvula girando en sentido horario.