



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



**TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO**

Tecnológico Nacional de México

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE GUASAVE

T E S I S

MANUFACTURA E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO “TURBINA PELTON” PARA EL TECNOLÓGICO CAMPUS GUASAVE

presentada por

Xiomara Joseline Téllez Heredia

como requisito para la obtención del grado de

Ingeniero Mecánico

Director(a) de tesis

M.I. Malcom Irving Villanueva Portugal

Codirector de tesis

Dr. Juan Héctor Alzate Espinoza

Guasave, Sinaloa, México. Febrero de 2026



CARTA DE LIBERACIÓN O APROBACIÓN DE TESIS.

	LIBERACIÓN DE PROYECTO PARA TITULACIÓN INTEGRAL PLAN 2015	Responsable: Jefatura de División de Ciencias
	Referencia a la Norma: ISO 9001:2015 8.1;8.2.1;8.2.2;8.2.3;8.5.1;8.5.2;8.6;8.7.2	Código: ITS-G-SIG-AO-PO-19-03
	Referencia a la Norma: ISO 21001:2018 8.1;8.1.1;8.1.2;8.2.1;8.2.2;8.2.3;8.3.3;8.3.4;8.6;8.7;9.1.2	Revisión: 5
		Fecha de Emisión: Julio 2025
		Página 1 de 2

Guasave, Sinaloa, Fecha: 01 DE FEBRERO DE 2026
ASUNTO: Liberación de proyecto para titulación integral

ING. LAURA BEATRIZ INZUNZA RAMÍREZ

COORDINACIÓN DE TITULACIÓN PRESENTE

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral:

Nombre del estudiante y/o egresado(a):	Xiomara Joseline Tellez Heredia
Carrera:	Ingeniería Mecánica
Número de control:	2125010254
Nombre del proyecto:	Manufactura e implementación de un módulo didáctico "Turbina Pelton" para el TECnM campus Guasave
Producto:	Tesis

Solo para la Opción de tesis:

Estudiante y/o egresado(a):

CURP	TEHX030624MBCLRA1
------	-------------------

Asesor(a):

Nombre completo	M.I. Malcom Irving Villanueva Portugal
CVU	868766

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros(as) egresados(as).

ATENTAMENTE

Dr. Jesús Guadalupe Delgado Félix

Nombre y firma del (de la) Jefe(a) de División de Ciencias Mecánicas

M.I. Malcom Irving Villanueva Portugal

Nombre y firma del Asesor(a)

Dr. Juan Héctor Alzate Espinoza

Nombre y firma del Revisor(a)

Ing. Jesús Alberto Machado Coronado

Nombre y firma del Revisor(a)

* solo aplica para el caso de tesis y tesina

C. c. p. Expediente

Departamento de Centro de Recurso para el Aprendizaje e Innovación.

AGRADECIMIENTOS O DEDICATORIA

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de este proyecto.

En primer lugar, agradezco a mi asesor, el profesor M.I. Malcom Irving Villanueva Portugal, por su orientación, paciencia y valiosos consejos. Asimismo, agradezco al Dr. Juan Héctor Alzate Espinoza por su disposición para siempre ayudar a quien lo necesite, su compañerismo y su amistad incondicional.

De igual manera, extendo mi gratitud a mis profesores, quienes me compartieron sus conocimientos y experiencias, brindándome las herramientas necesarias para llevar a cabo este trabajo con compromiso y dedicación.

A mi mejor amiga, Sharon Guadalupe Aguilar Aviles, gracias por acompañarme desde el primer momento, por tus palabras de ánimo y por estar presente en los momentos más importantes de este proceso.

A mi mejor amigo y pareja, José Manuel López Alvarado, por su constante apoyo, comprensión, compañía y motivación cuando más lo necesitaba. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba.

De manera muy especial, agradezco a mis abuelos. A mi abuela Guadalupe Favela, quien ha sido como una segunda madre para mí, por su amor, cuidado y apoyo. Y a mi abuelo Armando Heredia, aunque hoy no esté físicamente conmigo, su recuerdo y últimas palabras fueron mi fuente de motivación para no rendirme.

Y, especialmente, a mi madre Azucena Heredia, la mujer que no pudo cumplir sus sueños, pero hizo hasta lo imposible por cumplir los míos; soy quien soy gracias a su esfuerzo, por su amor incondicional, su ejemplo de fortaleza y por ser mi mayor inspiración para seguir adelante. Mamá, este logro también es tuyo.

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el diseño, manufactura e implementación de un módulo didáctico experimental basado en una turbina Pelton, desarrollado para el área de hidráulica del Instituto Tecnológico Superior de Guasave. El módulo integra un sistema hidráulico conformado por una turbina tipo Pelton, un generador eléctrico y un inversor de corriente directa a alterna, lo que permite el análisis de variables fundamentales como caudal, potencia y eficiencia hidráulica.

El desarrollo del prototipo surge ante la necesidad de fortalecer el proceso de aprendizaje mediante herramientas didácticas experimentales que faciliten la comprensión de los principios teóricos de la mecánica de fluidos, particularmente en el estudio de máquinas hidráulicas. Para su elaboración se realizaron cálculos hidráulicos del sistema, el diseño del rodete, la selección de materiales, así como el proceso de fabricación y ensamblaje. Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas experimentales para evaluar su desempeño.

Los resultados obtenidos indican que el módulo cumple satisfactoriamente con su función formativa, permitiendo a los estudiantes interactuar con el sistema y relacionar la teoría con la práctica, contribuyendo así al fortalecimiento de la enseñanza de la hidráulica y al fomento del uso de tecnologías asociadas a la energía renovable.

Palabras clave: Turbina Pelton, Módulo de prácticas, Hidráulica, Energías renovables, Aprendizaje.

ABSTRACT

This project consists of the design, manufacture, and implementation of an experimental teaching module based on a Pelton turbine, developed for the hydraulics department of the Guasave Higher Technological Institute. The module integrates a hydraulic system consisting of a Pelton turbine, an electric generator, and a direct-to-alternating current inverter, which allows for the analysis of fundamental variables such as flow, power, and hydraulic efficiency.

The prototype was developed in response to the need to strengthen the learning process through experimental teaching tools that facilitate the understanding of the theoretical principles of fluid mechanics, particularly in the study of hydraulic machines. To develop the module, hydraulic calculations of the system were performed, the impeller was designed, materials were selected, and the manufacturing and assembly process was carried out. Subsequently, experimental tests were carried out to evaluate its performance.

The results obtained indicate that the module satisfactorily fulfills its educational function, allowing students to interact with the system and relate theory to practice, thus contributing to the strengthening of the teaching of hydraulics and the promotion of the use of technologies associated with renewable energy.

Keywords: Pelton turbine, Practice module, Hydraulics, Renewable energies, Learning.

ÍNDICE.

I. INTRODUCCIÓN	13
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	14
1.2 JUSTIFICACIÓN.	15
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
II. MARCO TEÓRICO	17
2.1 ANTECEDENTES	17
2.2 ENERGIA HIDRÁULICA	22
2.2.1 CONCEPTO Y PRINCIPIOS DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA	22
2.2.2 CONVERSIÓN DE ENERGÍA POTENCIAL EN ENERGÍA MECÁNICA 24	
2.2.3 TIPOS DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.....	24
2.3 TURBINAS HIDRÁULICAS	27
2.3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS	27
2.3.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	28
2.3.3 PARÁMETROS DE DISEÑO: CAUDAL, ALTURA Y POTENCIA.....	30
2.3.4 EFICIENCIA DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS	30
2.4 TURBINA PELTON	30
2.4.1 ORIGEN Y DESARROLLO HISTÓRICO	30
2.4.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	32
2.4.3 COMPONENTES PRINCIPALES DE LA TURBINA PELTON	32
2.4.4 PARÁMETROS DE DISEÑO	34
2.4.5 FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA	34

2.4.6	APLICACIONES DIDÁCTICAS Y EXPERIMENTALES	35
2.5	DISEÑO Y MANUFACTURA DEL MÓDULO DIDÁCTICO	36
2.5.1	SELECCIÓN DE MATERIALES	36
2.5.2	PROCESO DE FABRICACIÓN Y ENSAMBLAJE	37
2.5.3	COMPONENTES DEL MODULO	37
2.5.4	CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO	39
2.6	MARCO CONCEPTUAL (DEFINICIONES FUNDAMENTALES)	39
2.6.1	CONCEPTOS TÉCNICOS CLAVE	39
III.	METODOS Y MATERIALES	43
3.1	TIPO DE ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	43
3.2	MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS	43
3.2.1	MATERIALES MECÁNICOS	44
3.2.2	EQUIPOS HIDRÁULICOS Y ELÉCTRICOS	44
3.3	METODOLOGÍA DE DISEÑO DEL MÓDULO DIDÁCTICO	45
3.3.1	CALCULO HIDRÁULICO DEL SISTEMA	45
3.3.2	DISEÑO DEL RODETE Y TURBINA PELTON	46
3.3.3	CALCULO DE POTENCIA HIDRÁULICA	47
3.4	PROCESO DE FABRICACIÓN Y ENSAMBLAJE DEL MODULO	48
3.4.1	DISEÑO Y PLANEACIÓN	48
3.4.2	FABRICACIÓN DE LA ESTRUCTURA	49
3.4.3	ENSAMBLAJE MECÁNICO E HIDRÁULICO	50
3.4.4	PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL MODULO	51
3.5	CONSIDERACIONES DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN	53
3.5.1	CONSIDERACIONES DE OPERACIÓN	53
3.5.2	CONSIDERACIONES DE MANTENIMIENTO	54

3.6	MANUAL DE PRÁCTICAS DIDÁCTICAS	54
3.7	ANÁLISIS GENERAL DE COSTOS	55
IV.	ANÁLISIS Y RESULTADOS	59
4.1	RESULTADOS DEL DISEÑO HIDRÁULICO DEL MÓDULO.....	59
4.2	RESULTADOS DEL DISEÑO DEL RODETE Y TURBINA PELTON	61
4.3	RESULTADOS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN Y ENSAMBLAJE...	64
4.4	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	67
4.5	RESULTADOS DE LA ENCUESTA APLICADA	70
4.6	DISCUSIÓN GENERAL DE RESULTADOS	72
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
5.1	CONCLUSIONES.....	74
5.2	RECOMENDACIONES	74
VI.	BIBLIOGRAFÍAS.....	76
VII.	ANEXOS	81
7.1	CÁLCULOS HIDRÁULICOS	81
7.2	PLANOS Y DISEÑOS DEL MÓDULO.....	87
7.3	PROCESO DE FABRICACIÓN Y ENSAMBLAJE	90
7.4	MANUAL DE PRÁCTICAS	95
7.5	MANUAL DE MANTENIMIENTO	108
7.6	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	122
7.7	EVIDENCIA DE PRUEBAS	126
7.8	ANÁLISIS DE COSTOS	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Como funciona un sistema hidráulico.....	23
Figura 2 Componentes principales de una central hidroeléctrica.....	25
Figura 3 Central hidroeléctrica de pasada.....	26
Figura 4 Esquema general de una micro central hidroeléctrica operando a partir de un sistema de cosecha de lluvia.....	27
Figura 5 Esquema básico de una turbina de acción tipo Pelton.....	28
Figura 6 Análisis interno de turbinas de acción y reacción.....	29
Figura 7 Turbina Pelton.....	31
Figura 8 Esquema de funcionamiento de la turbina Pelton.....	33
Figura 9 Sistema didáctico para estudio y entrenamiento en turbina Pelton con generador DC.....	35
Figura 10 Rodete de turbina tipo Pelton.....	41
Figura 11 Cuchara o alabe de una turbina tipo Pelton.....	42
Figura 12 Planos en 2D de las piezas del rodete Pelton.....	46
Figura 13 Planos en 2D del rodete Pelton ensamblado.....	47
Figura 14 Boceto final del modelo general del módulo didáctico con turbina Pelton.....	49
Figura 15 Proceso de fabricación y estructura final del módulo didáctico.....	50
Figura 16 Ensamblaje mecánico e hidráulico de elementos del módulo.....	51
Figura 17 Pruebas experimentales del módulo didáctico en operación.....	52
Figura 18 Diagrama esquemático del sistema hidráulico del módulo didáctico, utilizado para el cálculo de pérdidas.....	60
Figura 19 Modelo tridimensional del rodete de la turbina Pelton diseñado para el módulo didáctico.....	62
Figura 20 Representación del triángulo de velocidades en los álabes de la turbina Pelton.....	63
Figura 21 Turbina Pelton integrada al diseño del módulo didáctico.....	64
Figura 22 Estructura metálica del módulo.....	65
Figura 23 Elementos mecánicos instalados.....	66
Figura 24 Modulo didáctico terminado.....	67

Figura 25 Módulo didáctico durante las pruebas experimentales.....	68
Figura 26 Módulo didáctico en funcionamiento.	69
Figura 27 Presentación de resultados.....	70
Figura 28 Encuesta de interés.....	71
Figura 29 Encuesta de interés.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Componentes principales del módulo didáctico con turbina Pelton.	38
Tabla 2 Resumen de materiales y equipos.	44
Tabla 3 Control de variables e incertidumbre de medición.	52
Tabla 4 Análisis general de costos del módulo didáctico.	55
Tabla 5 Componentes principales del módulo didáctico.	100
Tabla 6 Datos del sistema hidráulico.	103
Tabla 7 Cálculo de pérdidas en el sistema.	103
Tabla 8 Cálculo de potencia hidráulica.	103
Tabla 9 Datos para el triángulo de velocidades.	106
Tabla 10 Resultados del triángulo de velocidades.	106
Tabla 11 Cálculo de eficiencia hidráulica.	106

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Triángulo de velocidades.	81
Anexo 2 Construcción de los triángulos de velocidades.	82
Anexo 3 Esquema del diseño del sistema de suministro de agua.....	85
Anexo 4 Primer boceto de diseño del "módulo didáctico".	87
Anexo 5 Segundo boceto de diseño del "módulo didáctico".....	87
Anexo 6 Tercer boceto de diseño del "modulo didáctico".	88
Anexo 7 Cuarto boceto de diseño del "módulo didáctico".	88
Anexo 8 Boceto de diseño final del "módulo didáctico".....	89
Anexo 9 Proceso de montaje de la carcasa de protección.....	90
Anexo 10 Proceso de corte y soldadura de la estructura.	90
Anexo 11 Corte y unión de las láminas de acero a la estructura.....	91
Anexo 12 Proceso de corte y ensamble de la caída de agua.	91
Anexo 13 Proceso de ensamblado de la turbina Pelton.	92
Anexo 14 Unión de la carcasa con la estructura del módulo.....	92
Anexo 15 Nivelación del eje con el generador.	93
Anexo 16 Instalación del sistema hidráulico.....	93
Anexo 17 Módulo terminado.....	94
Anexo 18 Manual de prácticas.	95
Anexo 19 Manual de mantenimiento.	108
Anexo 20 Instrumentos de recolección de datos.....	122
Anexo 21 Demostración de funcionamiento a alumnos del área de ciencias mecánicas.	126
Anexo 22 Pruebas de funcionamiento con alumnos.	126
Anexo 23 Análisis de costos.....	127

I. INTRODUCCIÓN

En la formación de ingenieros, la comprensión de los principios teóricos constituye un elemento esencial; sin embargo, dicha comprensión se ve fortalecida cuando estos principios pueden ser observados y analizados mediante experiencias prácticas. En el área de la hidráulica, particularmente en el estudio de las máquinas hidráulicas, la ausencia de equipos didácticos experimentales limita la correcta interpretación de conceptos como el comportamiento del flujo, la conversión de energía y el desempeño de las turbomáquinas.

Ante esta necesidad, el presente trabajo aborda el diseño, manufactura e implementación de un módulo didáctico basado en una turbina Pelton, orientado a apoyar la enseñanza de la mecánica de fluidos en el Instituto Tecnológico Superior de Guasave. Este tipo de turbina resulta especialmente relevante por su aplicación en sistemas hidráulicos de alta carga y bajo caudal, así como su relación directa con la generación de energía.

El propósito de esta investigación es desarrollar una herramienta didáctica funcional que permita a los estudiantes analizar de manera experimental variables como caudal, potencia y eficiencia, reforzando los conocimientos adquiridos en el aula. Para ello, se realizaron actividades que incluyeron el cálculo hidráulico del sistema, el diseño del rodete, la selección de materiales, la fabricación y ensamblaje del prototipo, así como la realización de pruebas experimentales y el análisis del impacto de su implementación mediante encuestas aplicadas a los estudiantes.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En el área de mecánica de fluidos, particularmente en el estudio de las máquinas hidráulicas, se ha identificado una limitación significativa en la comprensión de conceptos fundamentales como la conversión de energía hidráulica en energía mecánica, el análisis del triángulo de velocidades, la estimación de pérdidas hidráulicas y la evaluación de la eficiencia real de una turbina.

Esta situación se ve acentuada por la falta de herramientas experimentales que permitan a los estudiantes contrastar los modelos teóricos con datos reales de operación, lo que provoca que el proceso de aprendizaje se desarrolle de manera predominantemente teórica. Como consecuencia, los estudiantes presentan dificultades para interpretar el comportamiento real de las turbinas hidráulicas y para comprender la diferencia entre los valores ideales calculados y los resultados obtenidos en condiciones reales.

Ante esta problemática, surge la necesidad de desarrollar un módulo didáctico experimental que permita analizar, evaluar y validar el desempeño hidráulico de una turbina Pelton, facilitando la integración de la teoría con la práctica y fortaleciendo la formación académica en el área de máquinas hidráulicas. Si bien existen ya módulos didácticos, la propuesta es hacer un módulo que cumpla las mismas funciones, pero que sea accesible o de menor costo, sustentable, que no requiera de mucho mantenimiento y que se pueda movilizar más fácilmente.

1.2 JUSTIFICACIÓN.

La implementación de un módulo didáctico experimental basado en una turbina Pelton responde a la necesidad de fortalecer la enseñanza de la hidráulica y las máquinas hidráulicas mediante el uso de herramientas prácticas que permitan a los estudiantes relacionar conceptos teóricos con aplicaciones reales. En el contexto del Instituto Tecnológico Superior de Guasave, la ausencia de equipos experimentales específicos limita la comprensión integral de fenómenos como la conversión de energía hidráulica en energía mecánica y eléctrica.

El presente proyecto se justifica por su contribución directa al proceso de enseñanza y aprendizaje, al proporcionar una herramienta didáctica que facilita la adquisición de habilidades técnicas en el diseño, construcción y operación de sistemas hidráulicos. Su uso permite a los estudiantes analizar variables relevantes del sistema, evaluar su desempeño y comprender el comportamiento real de una turbomáquina, complementando la formación teórica impartida en el aula.

Asimismo, el módulo favorece el desarrollo de competencias profesionales al fomentar el trabajo experimental, el seguimiento de procedimientos operativos y la aplicación de medidas de seguridad, aspectos esenciales en el ejercicio de la ingeniería. Estas experiencias prácticas contribuyen a una mejor preparación de los estudiantes para su futura inserción en el ámbito laboral y fortalecer su criterio técnico.

Desde el punto de vista institucional, el proyecto resulta pertinente y factible, ya que aprovecha recursos disponibles y genera material didáctico complementario, como manuales de prácticas y guías de operación, que podrán ser utilizados en cursos posteriores. De esta manera, el prototipo se consolida como una herramienta de apoyo permanente para la formación académica en el área de hidráulica y energía.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Manufacturar e implementar un módulo didáctico de “Turbina Pelton” para el TECNM campus Guasave, con fines de apoyo en la enseñanza de la mecánica de fluidos.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar y justificar los materiales para la fabricación del módulo didáctico.
- Estimar y analizar el costo de los materiales utilizados en la construcción del módulo.
- Manufacturar y ensamblar el módulo didáctico conforme al diseño establecido.
- Elaborar un manual de prácticas didácticas para el uso académico del módulo.
- Desarrollar un manual de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo del módulo.
- Evaluar el desempeño hidráulico del módulo mediante pruebas experimentales y el análisis de variables como caudal y potencia.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

(Alomar O. R., Maher Abd, Mohamed Salih, & Firas, 2022) En su artículo se lleva a cabo un trabajo experimental para examinar el funcionamiento del rendimiento de una turbina Pelton bajo diferentes condiciones. Los experimentos se realizan bajo condiciones como diferentes diámetros, boquillas, caudal y altura. Los resultados muestran que un aumento de diámetro reduce la potencia de entrada debido a la disminución de la altura. Se observó que el mejor rendimiento se obtiene utilizando boquillas con diámetros de 9.5 mm y caudal de 85 litros por minuto, ya que produce mayor eficiencia. Por lo tanto, los datos indican que el diámetro y caudal influyen sustancialmente en la potencia generada por la turbina.

(Canaza & Chara Surco, 2018) En su tesis se plantea el diseño de un módulo de turbina Pelton con las siguientes características: altura neta de 6 m, potencia mecánica de 20 W, velocidad de 1200 RPM. En el proceso de funcionamiento y evaluación del módulo, se visualizó con éxito la transformación de energía, resultando con una eficiencia de entre el 55% a 60%; su velocidad óptima de rotación varía entre las 950 y 1170 RPM. Por ende, dando como resultado un módulo con funcionamiento exitoso, incluyendo pruebas de funcionamiento y planos del diseño.

(Nuñez, 2025) En su artículo de carácter de investigación se aborda el diseño y ejecución de un banco de pruebas para la generación de energía; su propósito es el ofrecer a los estudiantes una herramienta que les permita aprender y experimentar con energías limpias. Su sistema se basa en la conversión del movimiento mecánico a electricidad, mecanismo que se caracteriza por ser un recurso sostenible y respetuoso con el medio ambiente. A través de este proyecto se buscó mejorar la calidad educativa y concientizar en el uso de energías renovables, aportando soluciones que sean amigables con el entorno.

(López, Guzmán Pascual, & Maldonado Nogales, 2022) En su artículo se enfocan en el desarrollo de ejercicios didácticos para ayudar a los estudiantes a entender el funcionamiento de una turbina Pelton. En el presente estudio se desarrolla una metodología de cálculo apropiada para el pico de una turbina de forma precisa; con dicha metodología, el cálculo establecido desarrolla un programa de cálculo en “Excel” denominado “Calculadora de Turbina Pelton”. El programa realiza los cálculos de forma inmediata y determina la potencia a aprovechar. Para un cálculo de pico, la turbina Pelton también verifica las fuerzas del chorro con el fin de validar diseños de turbinas con otros softwares.

(Rojas, 2020) en su trabajo de investigación desarrolla una metodología que permite obtener un diseño para los rodets y alabes de las turbinas Pelton todo esto basándose en distintos datos de operación de las turbinas tipo Pelton, realizando un análisis de sensibilidad de distintos parámetros geométricos todo esto bajo las condiciones que generen mayor eficiencia, mediante el análisis se hace una recomendación de las ecuaciones a utilizar para el cálculo de los parámetros determinados de cada modelo obteniendo los ángulos para la mayor eficiencia hidráulica finalizando con los resultados obtenidos y la elaboración de una turbina tipo Pelton.

(Oo, 2019) En su artículo el objetivo es diseñar un rodete Pelton y su tobera de aguja, esto tomando como bases diversas fórmulas tomadas de distintas fuentes con el objetivo de dimensionar una turbina de manera detallada, remarcando que el recurso hídrico es relativamente más barato comparado con otros recursos y las turbinas hidráulicas son una de las partes más importantes para la generación de electricidad, como resultado en el diseño de una turbina Pelton con una potencia de salida de 220 kW, una altura de 213 m, un caudal de $0.135 \text{ m}^3/\text{s}$, una velocidad de rotación de 1000 RPM, un diámetro de chorro de 0.053 m y un número de cangilones basado en la relación del chorro.

(Parra & Viedma, 2016) Es un libro orientado a la formación universitaria en el área de máquinas hidráulicas para programas de ingeniería, cuyo objetivo es establecer los contenidos fundamentales para el análisis y aplicación de estas máquinas. El texto adopta un enfoque teórico y práctico, integrando los principios físicos con ejercicios de cálculo y diseño de turbomáquinas y sus instalaciones. La obra aborda temas como energía hidráulica, pérdidas, cavitación y centrales hidroeléctricas, fortaleciendo las competencias técnicas necesarias para la aplicación profesional. Los autores concluyen que la resolución de problemas es clave para la comprensión y uso adecuado de las máquinas hidráulicas en contextos reales.

(Karn, 2023) en su artículo analiza la aplicación de técnicas computacionales en la enseñanza del análisis de turbomáquinas en estudiantes de ingeniería mecánica, con el objetivo de mejorar la comprensión de conceptos que suelen resultar complejos mediante métodos tradicionales. El enfoque del trabajo es didáctico aplicado, proponiendo el uso de herramientas computacionales basadas en Excel/VBA para el desarrollo de ejercicios y análisis de parámetros. Los resultados indican que el uso de estas herramientas reduce la carga de cálculos extensos. Como conclusión, los autores señalan que la integración de aplicaciones computacionales incrementa el interés del estudiante y facilita tanto la enseñanza como el diseño y análisis de turbomáquinas.

(Lautaro, 2024) En este proyecto integrador profesional se desarrolló el diseño de un alabe para una microturbina Pelton, con el objetivo de optimizar su desempeño hidráulico y estructural. El estudio adoptó un enfoque teórico computacional, en el cual se propusieron dos modelos de alabe basados en bibliografía especializada y se seleccionó el de mejor rendimiento mediante simulaciones de fluidos por elementos finitos. Asimismo, se realizó la selección de material considerando propiedades mecánicas como dureza y resistencia a la oxidación, así como el método de fabricación más adecuado. Los resultados permitieron verificar el alabe bajo distintas condiciones de operación y evaluar su resistencia a la fatiga,

concluyendo que la simulación numérica es una herramienta eficaz para el diseño y validación de componentes de turbinas Pelton.

(Chihuailao, 2025) El informe describe el reacondicionamiento de una turbina hidráulica con fines educativos con el objetivo de ofrecer a los estudiantes una herramienta práctica para estudiar fenómenos fluidodinámicos y conceptos clave. El proyecto adoptó un enfoque teórico-práctico, incluyendo diagnóstico de piezas originales, diseño y fabricación de componentes mediante ingeniería inversa. Se resolvieron desafíos técnicos relacionados con la adaptación de piezas antiguas y la mejora de la regulación de los álabes. Como resultado, el laboratorio cuenta con turbinas de acción y de reacción, ampliando las posibilidades de experimentación y fortaleciendo la formación académica de los estudiantes.

(Pasquel & Vásquez Tobar, 2019) La investigación se centra en el diseño y simulación de una turbina Pelton para generación eléctrica, con el objetivo de analizar el comportamiento del fluido en los álabes, así como la velocidad y presión bajo condiciones climáticas locales y caudal nominal. El estudio adoptó un enfoque teórico computacional, realizando el diseño de los componentes principales y el cálculo de la máxima potencia generada, la cual resultó en 0.75 kW, verificando elementos como el eje mediante criterios de fatiga y validando los resultados con simulaciones en AutoCAD Mechanical e Inventor. Además, se definió el sistema de transmisión mediante poleas y correas para adaptar la turbina a las condiciones de instalación. Los resultados indican que el diseño cumple con las condiciones necesarias para un funcionamiento eficiente en procesos de generación hidroeléctrica.

(Neto & Oto Toaquiza, 2023) El trabajo de titulación se enfocó en analizar el rendimiento mecánico de una turbina Pelton, considerada ampliamente en microgeneración hidroeléctrica, mediante la implementación de un módulo didáctico. La turbina fue diseñada en un software CAD y equipada con sensores que monitorearon variables como presión, caudal, torque y velocidad. Los datos

fueron adquiridos mediante un microcontrolador Arduino y visualizados en un HMI Nextion, lo que permitió graficar curvas de rendimiento vs. revoluciones por minuto y determinar el rendimiento máximo y mínimo de la turbina. Los resultados mostraron un rendimiento mínimo del 49% y un máximo del 62%, evidenciando que la integración de herramientas prácticas y teóricas permite evaluar de manera precisa el comportamiento de la turbina bajo distintas condiciones de operación.

(Guevara, y otros, 2025) Este trabajo se llevó a cabo el diseño, construcción y puesta en marcha de una turbina Pelton con fines didácticos, orientada a facilitar la medición y el control del caudal para comprender su influencia en el rendimiento energético. El estudio adoptó un enfoque teórico práctico, logrando implementar un sistema funcional capaz de generar energía eléctrica a pequeña escala, suficiente para alimentar cargas básicas bajo distintas condiciones de operación. El prototipo permitió analizar de manera experimental la relación entre el caudal, altura de caída y velocidad angular, favoreciendo la comprensión de la conversión de energía mecánica a eléctrica. Como resultado, la turbina se consolidó como una herramienta de apoyo para prácticas de laboratorio en áreas como mecánica de fluidos, termodinámica, circuitos eléctricos e instrumentación y control, contribuyendo al desarrollo de competencias técnicas requeridas en la industria metalmecánica.

(Serrano, 2018) En su tesis se aborda el diseño de un sistema regulador de velocidad para una turbina Pelton en una minicentral hidroeléctrica, con el objetivo de mejorar la eficiencia del sistema y la calidad de la energía suministrada ante el incremento de la demanda eléctrica. El estudio presenta un enfoque teórico computacional utilizando un controlador PI digital desarrollado y simulado en Matlab, a partir de información técnica de la central. La metodología incluyó el modelado en cascada de la turbina, el servomotor y el generador, así como la obtención de sus funciones de transferencia y el cálculo de los parámetros del controlador mediante hojas de cálculo y simulación. Los resultados permitieron validar el comportamiento del sistema de control, concluyendo que el diseño

propuesto es adecuado para la regulación de velocidad en centrales hidroeléctricas de pequeña escala.

(Mansilla & Díaz Cuba, 2023) El proyecto se orienta a mostrar el funcionamiento de las turbinas Pelton y Francis utilizadas en centrales hidroeléctricas, mediante el rediseño y automatización de un módulo didáctico existente en la universidad. El estudio adopta un enfoque teórico-práctico, incorporando sensores, actuadores y un controlador lógico programable (PLC) junto con sistemas de SCADA, con el fin de fortalecer el aprendizaje aplicado de estudiantes de ingeniería mecánica, mecánica eléctrica y mecatrónica. La metodología incluyó la selección e integración de componentes, la programación del PLC y la evaluación del desempeño del módulo mediante pruebas experimentales. Los resultados muestran que la automatización del sistema mejora la comprensión de los principios de operación de las turbinas hidráulicas y refuerza los conocimientos teóricos y prácticos del ámbito académico.

2.2 ENERGIA HIDRÁULICA

2.2.1 CONCEPTO Y PRINCIPIOS DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA

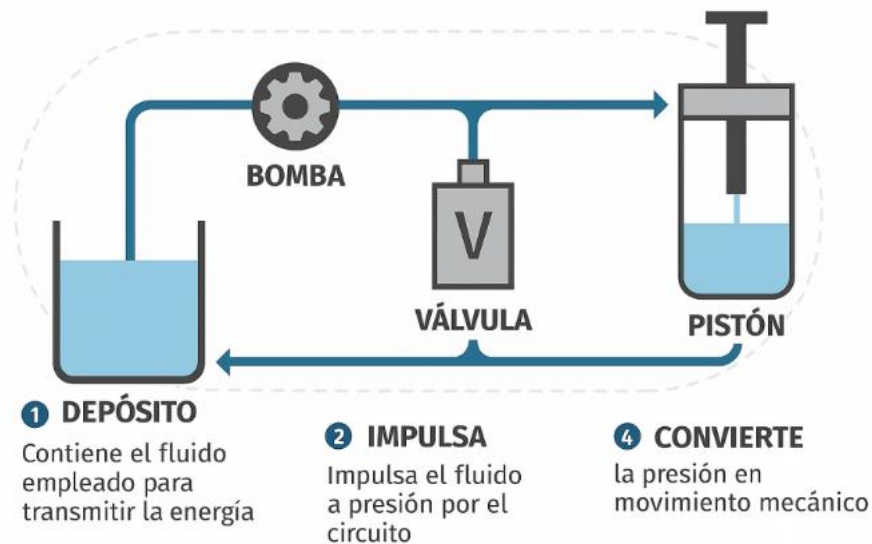
Relativo o perteneciente al agua: la energía hidráulica es económica. Parte de la mecánica de los fluidos que trata de las leyes que rigen los movimientos de los líquidos y de las técnicas destinadas al aprovechamiento de las aguas o a la defensa y protección contra las mismas.

Las reglas de la hidráulica se funden en las leyes de la hidrodinámica y de hidrostática y también en las siguientes suposiciones: los líquidos son isótropos, incomprensibles y perfectamente fluidos, circulan en régimen permanente (o sea, todas sus moléculas atraviesan una sección de la vena a igual velocidad) y continuo (pues, por hallarse en contacto las moléculas, las presiones se transmiten íntegramente de una a otra) (Álvarez, y otros, 2018).

Figura 1

Como funciona un sistema hidráulico.

Cómo funciona un sistema hidráulico



Nota. Imagina una jeringa empujando un émbolo con agua. Este principio es la base de cualquier sistema hidráulico. Tomado de Montes (2025), <https://seremacarretillas.com/que-es-la-hidraulica-significado-funcionamiento-y-aplicaciones/>.

Según (Parra B. Z., 2025) La energía hidráulica convencional se ha relacionado tradicionalmente con la energía potencial disponible en un salto o desnivel entre masas de agua. La denominación energía hidroeléctrica se asocia entonces a la obtención de energía mecánica en un sistema rodete-eje, aprovechada en un generador eléctrico. Existen dos formas básicas de aprovechamiento de la energía hidráulica convencional:

- Interceptación de la corriente a través de una presa, lo que da lugar a las clásicas centrales a pie de presa.
- Desviación de la corriente fluida, lo que origina las llamadas centrales en derivación o, en ocasiones, centrales fluyentes.

2.2.2 CONVERSIÓN DE ENERGÍA POTENCIAL EN ENERGÍA MECÁNICA

En las centrales hidroeléctricas con turbinas Pelton, la energía hidráulica disponible existe como energía potencial, que se mide en forma de diferencia de altura geodésica entre el nivel superior del agua en el embalse y las turbinas en la sala de máquinas a una altitud inferior. Esta diferencia de altura se denomina altura hidráulica en la terminología de la energía hidroeléctrica. La conversión de la energía potencial en energía mecánica utilizable se completa convirtiendo primero la energía potencial en energía cinética en forma de chorros de alta velocidad a la altura de la rueda de la turbina. Para la conversión de energía, se pueden utilizar uno o varios inyectores. Si se descuidan las pérdidas por fricción en el inyector, la velocidad del chorro se calcula según la ecuación de Bernoulli mediante

$$C_0 = \sqrt{2gH}$$

siendo H la altura de presión neta en la entrada del inyector. Esta ecuación se conoce generalmente como la fórmula de Torricelli.

Como segundo paso, la conversión de la energía cinética del chorro en energía mecánica se logra mediante la interacción entre el chorro y los cubos giratorios de la turbina Pelton (Zhang, 2016).

2.2.3 TIPOS DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

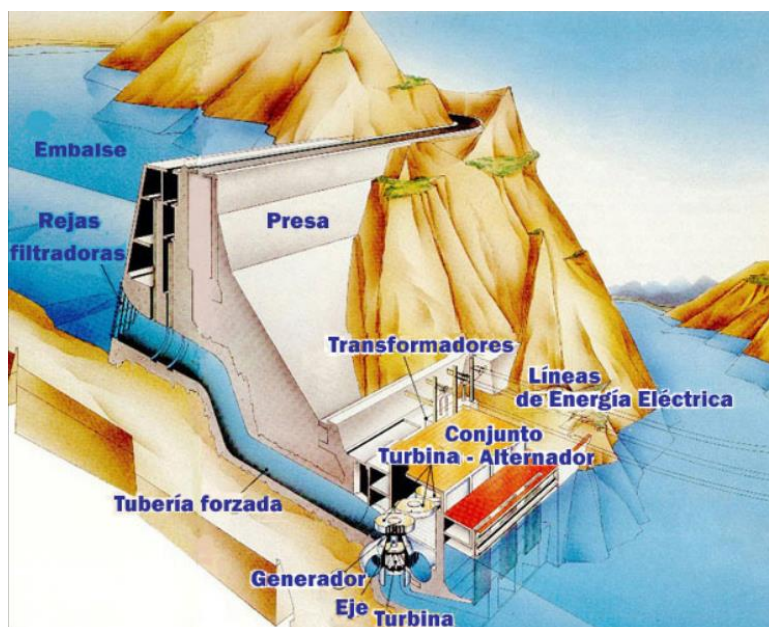
Según (Lorca, 2024), la energía hidráulica es una fuente renovable que aprovecha el movimiento del agua para generar energía mecánica o eléctrica mediante centrales hidroeléctricas. Entre sus tipos destacan:

- Central de embalse: Este tipo utiliza una presa para acumular agua en un embalse y liberarla de forma controlada a través de conductos hacia las turbinas situadas en la base. Aunque permite regular el flujo y la producción de energía, la construcción de estas centrales suelen inundar grandes áreas,

lo que puede provocar la pérdida de hábitats, reubicación de comunidades y alteraciones del flujo natural del río aguas abajo.

Figura 2

Componentes principales de una central hidroeléctrica.



Nota. La presa se encarga de contener el agua de un río y almacenarla en un embalse. Tomado de Blogspot (2021), <https://hidroelectricasmiguelmeza.blogspot.com/p/componentesprincipales-de-una-central.html>.

- Central hidroeléctrica de pasada: aprovecha directamente el caudal del río sin necesidad de embalses. Su principal ventaja es el menor impacto ambiental, aunque la cantidad de energía generada depende del caudal del río, lo que hace su operación más sensible a las variaciones del flujo.

Figura 3

Central hidroeléctrica de pasada.

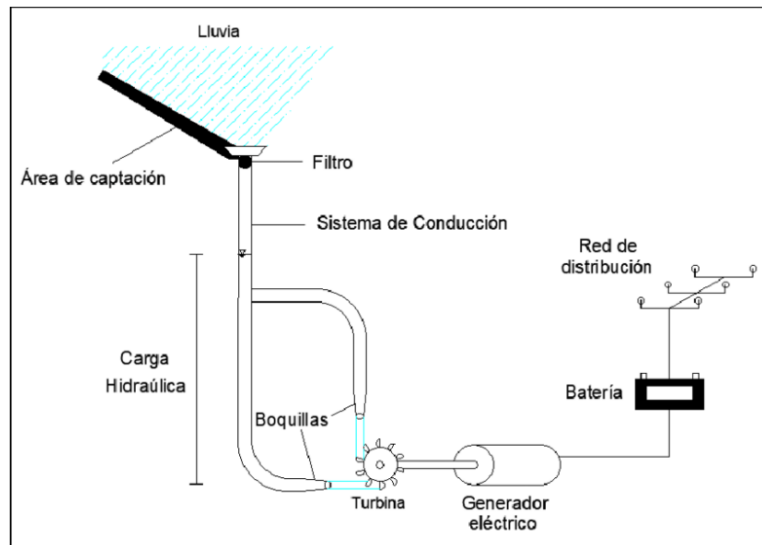


Nota. Una central hidroeléctrica de pasada es un sistema que captura la energía del agua que fluye para producir electricidad. Tomado de Clark (2023), <https://energytheory.com/es/%C2%BFQu%C3%A9-es-una-central-hidroel%C3%A9ctrica-de-pasada/>.

- Microcentrales hidroeléctricas: Son instalaciones con una capacidad de generación inferior a 100 kW. Pueden funcionar como embalses de pasada o con sistemas de bombeo, utilizando tanto fuentes de agua naturales (ríos, arroyos y manantiales) como artificiales (canales de riego, embalses o estanques).

Figura 4

Esquema general de una micro central hidroeléctrica operando a partir de un sistema de cosecha de lluvia.



Nota. La energía hidroeléctrica es considerada una fuente de energía limpia y sustentable; abarca desde grandes centrales hasta microescalas en ríos y cauces naturales pequeños. Tomado de Juárez (2019), https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Esquema-general-de-una-micro-central-hidroelectrica-operando-a-partir-de-un_fig3_361040442.

2.3 TURBINAS HIDRÁULICAS

2.3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS

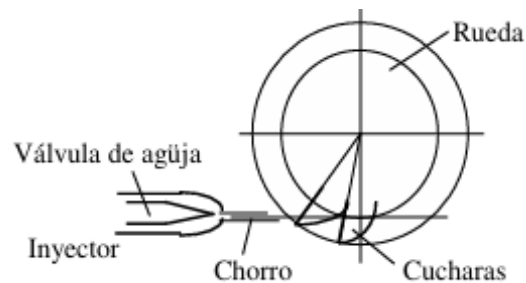
Las turbinas hidráulicas se clasifican en turbinas de acción y turbinas de reacción, según la forma en que el agua intercambia energía en el rodete.

En las turbinas de acción, la presión del fluido no varía a través del rotor, ya que la caída de presión ocurre completamente en la tobera del inyector. El agua incide sobre los álabes en forma de chorros con alta energía cinética. El ejemplo más

representativo es la turbina Pelton, utilizada principalmente en centrales con grandes alturas de caída, la cual descarga el fluido directamente del ambiente.

Figura 5

Esquema básico de una turbina de acción tipo Pelton.



Nota. La turbina Pelton es un tipo de turbina hidráulica de impulso altamente eficiente utilizada principalmente en centrales hidroeléctricas para aprovechar grandes saltos de agua. Tomado de Máquinas hidráulicas (p.8), por Parra & Viedma (2016), CRAI UPCT.

Por su parte, las turbinas de reacción presentan una disminución de presión a lo largo del rotor, por lo que el fluido llega completamente a los canales entre los álabes. Dentro de este grupo se encuentran las turbinas Francis, empleadas en saltos medios, y las turbinas Kaplan, utilizadas en saltos bajos y caracterizadas por su flujo axial y capacidad de regulación (Parra & Viedma, 2016).

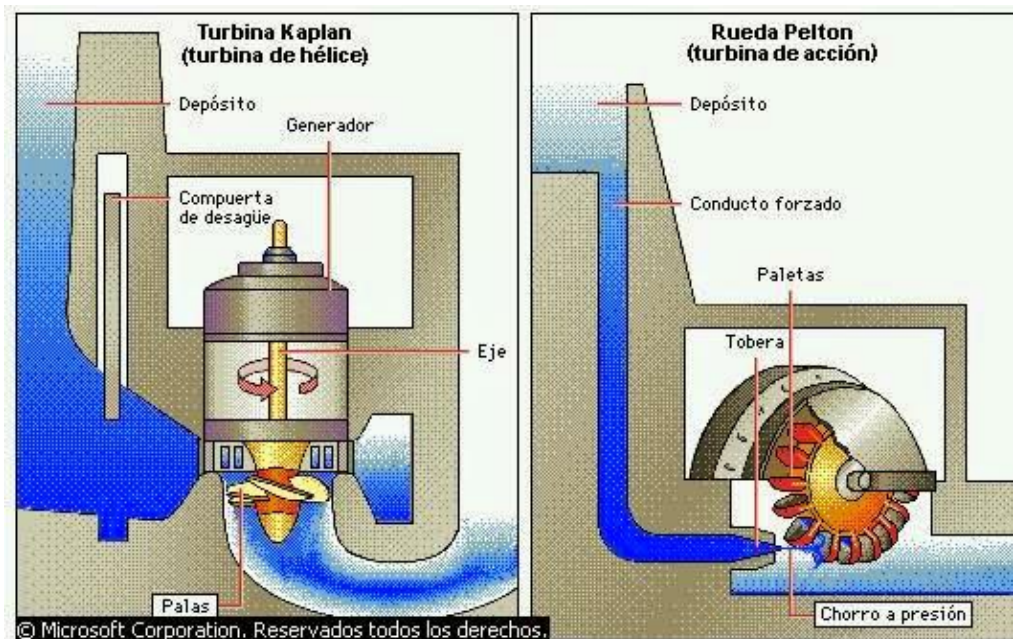
2.3.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Las turbinas hidráulicas convierten la energía del agua en movimiento rotacional de un rotor, transformando primero la energía potencial asociada a la altura del agua en energía cinética mediante su aceleración a través de toberas o conductos y, posteriormente, esa energía cinética se transfiere a los álabes del rodete generando trabajo mecánico sobre el eje.

El principio de funcionamiento básico de todas las turbinas hidráulicas es la conversión de energía hidráulica en energía mecánica, esto se logra gracias a dos fuerzas principales, el impulso y la reacción, un ejemplo claro de esto son las turbinas Pelton catalogadas como turbinas de impulso ya que a través de chorro que impactan directamente en sus llamados alabes la energía cinética del agua se convierte en energía mecánica, por otro lado turbinas como la Francis o Kaplan utilizan la presión del agua como energía cinética para generar movimiento lo que impulsa las palas y hace girar el roto es por esto que se les llama turbinas de reacción (Connor, 2024).

Figura 6

Análisis interno de turbinas de acción y reacción.



Nota. Una turbina hidráulica es una turbomáquina motora hidráulica, que aprovecha la energía del fluido que pasa a través de ella para producir un movimiento que, transmitido mediante un eje, mueve directamente una máquina o generador, el cual transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Tomado de Nuñez (2015), <https://luifernunez.blogspot.com/2015/03/turbinashidraulicas-una-turbina.html>.

2.3.3 PARÁMETROS DE DISEÑO: CAUDAL, ALTURA Y POTENCIA

En el diseño de turbinas hidráulicas, tres parámetros fundamentales son el caudal, altura de salto y la potencia disponible. El caudal representa el volumen de agua que fluye por unidad de tiempo y determina la cantidad de energía que puede ser capturada por máquina. Por su parte, la altura de salto corresponde a la diferencia de elevación del agua entre el punto de captación y la turbina, constituyéndose en la principal fuente de energía potencial. La potencia hidráulica disponible resulta de la combinación de ambos y se calcula multiplicando la energía potencial por el caudal y las constantes físicas de la densidad del agua y la gravedad, ajustadas por la eficiencia de la turbina (Connor, 2024).

2.3.4 EFICIENCIA DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS

Según (Alcántara, 2018), la eficiencia de una turbina se define como la relación entre la potencia útil obtenida y la potencia suministrada al sistema. La potencia de entrada corresponde a la energía hidráulica disponible, la cual puede expresarse en términos de la energía específica del agua que atraviesa la turbina. Por otro lado, la potencia de salida está representada por la energía mecánica transmitida al eje del equipo. De acuerdo con el principio de conservación de energía, dicha energía mecánica puede determinarse a partir de la diferencia entre la energía mecánica específica del fluido a la entrada y a la salida del rodete. Con base en esta relación, es posible establecer la eficiencia de la turbina.

2.4 TURBINA PELTON

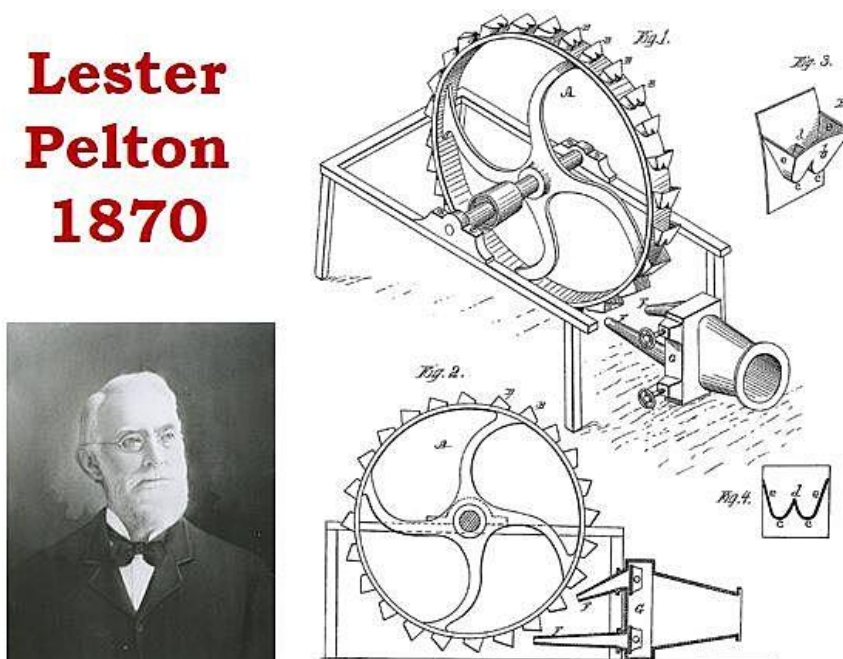
2.4.1 ORIGEN Y DESARROLLO HISTÓRICO

Según (Zhang, 2016), la turbina que lleva el nombre de Lester Allan Pelton representa uno de los desarrollos más importantes en la historia de las máquinas hidráulicas, al permitir aprovechar de manera más eficiente grandes caídas de agua en aplicaciones de generación eléctrica.

En 1800, el inventor norteamericano Lester Pelton inventó una turbina que trabajaba a partir de la acción de un chorro de agua que incidía sobre unas cucharas o “cazoletas” montadas en la periferia de la rueda. Las cucharas con una arista interior que las dividía en dos hemisferios simétricos, de tal forma que el chorro, que incidía se dividía en dos y salía de la cuchara en dirección opuesta a la dirección de entrada. Esta turbina funcionaba por la acción de un chorro por ende denominada turbina de acción; actualmente, la turbina Pelton se utiliza en muchas centrales hidroeléctricas debido a su alto rendimiento incluso en caudales parcialmente pequeños, lo cual la hace adecuada para el aprovechamiento de caídas altas y caudales reducidos (Cuellar, 2024).

Figura 7

Turbina Pelton.



Nota. Se observa la turbina Pelton original con una serie de cucharas en su periferia; el agua entra por un tubo que se divide en dos inyectores cuyos chorros inciden en

las cucharas; se aprecia el corte de una cuchara dividida en dos partes. Tomado de Timetoast (2021), <https://www.timetoast.com/timelines/turbinas-hidraulicas>.

2.4.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

La turbina Pelton opera bajo el principio de impulso, mediante el cual la energía del agua se aprovecha principalmente en forma de energía cinética. En este tipo de turbina, la energía disponible inicialmente es energía potencial hidráulica, determinada por la diferencia de altura entre la toma de agua y la casa de máquinas. Esta energía potencial se transforma en energía cinética al pasar el agua por una tobera, generando uno o varios chorros de alta velocidad que inciden directamente sobre el rodete.

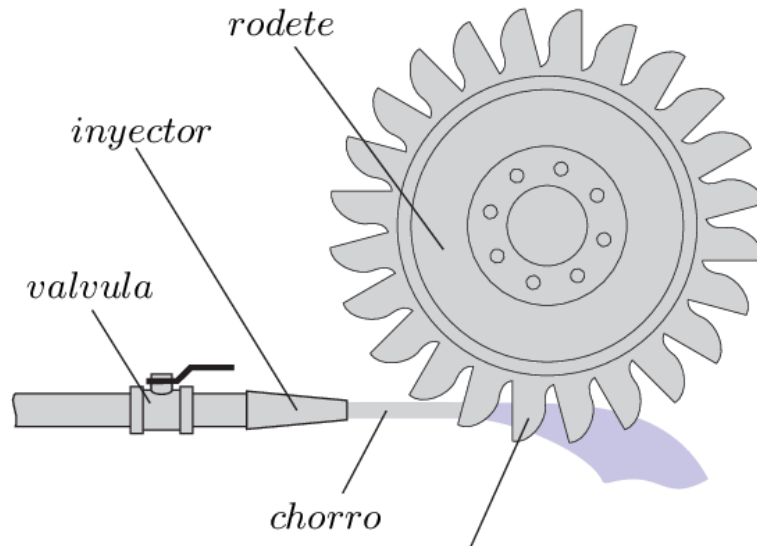
Cuando el chorro impacta los cangilones, se produce un cambio brusco en la dirección del flujo, lo que genera variación del momento en el agua. De acuerdo con la segunda ley de Newton, este cambio de momento produce una fuerza de impulso que provoca la rotación del rodete, transformando así la energía cinética del chorro en energía mecánica en el eje de la turbina. Este principio de funcionamiento hace que la turbina Pelton sea especialmente adecuada para aplicaciones con grandes alturas de caída (Montalvo, 2022); (Use.O., 2025).

2.4.3 COMPONENTES PRINCIPALES DE LA TURBINA PELTON

La turbina Pelton posee una estructura sencilla compuesta por un rodete circular montado sobre un eje, en cuyo perímetro se distribuyen cangilones de doble cuenco encargados de recibir el impacto del chorro de agua. El agua es dirigida hacia el rodete mediante una o varias toberas, las cuales generan chorros a alta velocidad de forma tangencial, provocando la rotación del rodete por efecto del impulso (Energyeducation.ca, 2025).

Figura 8

Esquema de funcionamiento de la turbina Pelton.



Nota. El inyector es el órgano regular del caudal del chorro. Tomado de Córdoba, (2017), https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Eschema-de-funcionamiento-de-la-turbina-Pelton_fig3_323907454.

Según (Beltrán, 2017), la turbina Pelton se utiliza principalmente en instalaciones con grandes caídas de altura y caudales reducidos. Su estructura está compuesta por un rodete móvil de forma circular, provisto de cangilones que reciben directamente el impacto del chorro. El ingreso del agua se realiza mediante uno o varios inyectores, los cuales permiten regular y dirigir el chorro hacia los cangilones, generando movimientos de rotación hacia el rodete. Este tipo de turbina se caracteriza por su elevada confiabilidad operativa y por requerir bajos costos de mantenimiento, además de presentar un alto rendimiento energético que puede superar el 90% en condiciones de diseño, manteniendo valores superiores al 80% incluso cuando opera con caudales inferiores al nominal.

2.4.4 PARÁMETROS DE DISEÑO

En el diseño de una turbina Pelton, los parámetros fundamentales que determinan su funcionamiento son el caudal, la altura de caída y la potencia disponible. El caudal representa la cantidad de agua que incide sobre el rodete por unidad de tiempo, mientras que la altura neta corresponde a la diferencia de nivel efectiva entre la fuente de agua y la turbina, considerando las pérdidas del sistema. A partir de estos dos parámetros se determina la potencia hidráulica disponible, la cual puede expresarse como función de la densidad de agua, la gravedad, el caudal y la altura. Esta energía hidráulica se transforma en energía mecánica mediante el impacto del chorro de agua sobre cangilones del rodete, y su aprovechamiento se evalúa a través del rendimiento de la turbina. Estas relaciones constituyen las bases para el análisis y dimensionamiento de turbinas Pelton, especialmente en aplicaciones de generación hidroeléctrica y sistemas didácticos (Cengel & Cimbala, 2018).

2.4.5 FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA

La eficiencia de una turbina Pelton está influenciada por diversos factores hidráulicos, mecánicos y operativos. Entre los más importantes se encuentran las pérdidas de energía asociadas a la fricción en la tubería forzada y en las toberas, así como una inadecuada conversión de la energía potencial en energía cinética del chorro de agua. Asimismo, el diseño y estado de los cangilones del rodete influyen directamente en el aprovechamiento del impulso del chorro, ya que una geometría deficiente o el desgaste de las superficies reduce la transferencia de energía. Otros factores relevantes son la correcta alineación del chorro con el rodete, la variación del caudal respecto al valor de diseño y las pérdidas mecánicas en el eje y rodamientos. En conjunto, estos elementos determinan el rendimiento global de la turbina, el cual puede verse afectado cuando el sistema opera fuera de sus condiciones óptimas (Cengel & Cimbala, 2018).

2.4.6 APLICACIONES DIDÁCTICAS Y EXPERIMENTALES

La turbina Pelton es ampliamente utilizada con fines didácticos y experimentales debido a la simplicidad de su diseño y a la facilidad con la que permite analizar los principios fundamentales de la conversión de energía hidráulica en energía mecánica.

Figura 9

Sistema didáctico para estudio y entrenamiento en turbina Pelton con generador DC.



Nota. Banco desarrollado para impulsar una turbina Pelton de doble chorro con el objetivo de convertir energía hidráulica en energía eléctrica a la red del concesionario. Tomado de De Lorenzo Training & Didactical Equipment (2024), <https://delorenzoglobal.com/es/producto/sistema-didactico-para-estudio-y-entrenamiento-en-turbina-pelton-con-generador-dc/>.

En entornos educativos, se emplea comúnmente en bancos de pruebas y módulos experimentales para el estudio del comportamiento del agua, el caudal, la velocidad, la potencia desarrollada y la eficiencia de la turbina bajo distintas condiciones de operación. Estas características hacen que la turbina Pelton sea adecuada para prácticas de laboratorio en cursos de mecánica de fluido, turbomáquinas y energías renovables, ya que facilita la comprensión visual y experimental del funcionamiento de las turbinas de impulso (Alomar O. R., Maher Abd, Mohamed Salih, & Aziz Ali, 2022).

2.5 DISEÑO Y MANUFACTURA DEL MÓDULO DIDÁCTICO

2.5.1 SELECCIÓN DE MATERIALES

Según (Cengel & Cimbala, 2018), la selección de materiales de un módulo de prácticas con turbinas del tipo Pelton se debe realizar considerando criterios como resistencia mecánica, resistencia a la corrosión, facilidad de manufactura, disponibilidad y costo, así como su utilidad para fines didácticos.

La estructura del módulo se fabrica con acero comercial debido a su buena resistencia estructural, facilidad de soldadura y bajo costo, características comunes en equipos didácticos y de laboratorio. El rodete y el eje se elaboran en acero o aluminio, materiales adecuados para soportar los esfuerzos mecánicos y el impacto del chorro de agua en turbinas de impulso (Harvey, 2017).

Las chumaceras con rodamientos sellados se utilizan para reducir la fricción y facilitar el mantenimiento del sistema (Budynas & Nisbett, 2020). La carcasa se construye en acrílico, ya que permite la visualización del funcionamiento interno de la turbina, lo cual es esencial en un módulo didáctico (Donald, Pritchard, & Fox, 2020). Finalmente, las tuberías y conexiones hidráulicas se fabrican en PVC por su resistencia a la corrosión y facilidad de instalación.

2.5.2 PROCESO DE FABRICACIÓN Y ENSAMBLAJE

El proceso de fabricación de un módulo didáctico se divide en varias etapas que incluyen manufactura de la estructura, fabricación de componentes mecánicos y ensamblaje del sistema hidráulico y eléctrico (Kalpakjian & Schmid, 2020).

La estructura del módulo se fabrica mediante procesos de corte, taladrado y soldadura del acero comercial, garantizando la rigidez y estabilidad del conjunto. Posteriormente, el rodete y el eje de la turbina se mecanizan en torno y fresadora para asegurar la correcta geometría y alineación, lo cual es fundamental para el buen funcionamiento de la turbina Pelton (Harvey, 2017).

El ensamblaje mecánico incluye la instalación del eje sobre chumaceras con rodamientos, verificando la alineación y minimizando pérdidas por fricción. El sistema hidráulico se integra mediante la conexión de la tubería forzada, válvulas e inyectores, asegurando un flujo de agua controlado hacia el rodete. Finalmente, se ensamblan los componentes eléctricos, como el motor-bomba, y se realizan pruebas de funcionamiento para comprobar la correcta operación y su uso con fines didácticos (Cengel & Cimbala, 2018).

2.5.3 COMPONENTES DEL MÓDULO

El módulo didáctico desarrollado para el presente proyecto está conformado por un conjunto de componentes mecánicos, hidráulicos y eléctricos que permiten reproducir a escala de laboratorio el funcionamiento de una turbina tipo Pelton para la generación de energía eléctrica. La integración de estos elementos facilita el análisis experimental de variables como el caudal, la altura hidráulica, la velocidad de rotación y la potencia generada, además de permitir la observación directa del proceso de conversión de energía.

Cada componente cumple una función específica dentro del sistema, garantizando un funcionamiento estable, seguro y adecuado para fines educativos. La disposición

del módulo fue diseñada para facilitar su operación, mantenimiento y uso en prácticas de laboratorio.

Tabla 1 *Componentes principales del módulo didáctico con turbina Pelton.*

Componente	Descripción	Función dentro del módulo
Turbina Pelton	Rodete con cazoletas de doble cuenco montado sobre un eje	Convierte la energía cinética del agua en energía mecánica
Bomba hidráulica	Bomba periférica de recirculación	Proporciona el caudal y la presión necesarios para el funcionamiento del sistema
Chiflón	Dispositivo con válvula de aguja	Dirige y regula el chorro de agua hacia la turbina
Eje y Chumaceras	Eje mecánico con soportes de rodamiento	Permite la rotación estable del rodete y reduce la fricción
Generador eléctrico	Generador acoplado al eje de la turbina	Trabaja la energía mecánica en energía eléctrica
Estructura de soporte	Bastidor metálico	Sostiene y Alinea los componentes del módulo
Carcasa de protección	Cubierta de acrílico	Permite la observación del funcionamiento y garantiza la seguridad
Sistema eléctrico	Cableado e interruptores	Permite la visualización y aprovechamiento de la energía generada

Nota. La disposición modular de estos componentes permite realizar prácticas experimentales orientadas al análisis del rendimiento de la turbina Pelton y a la comprensión del proceso de conversión de energía hidráulica en energía eléctrica. Tomado de elaboración propia.

2.5.4 CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO

El módulo didáctico fue diseñado considerando criterios básicos de seguridad para garantizar una operación adecuada durante su uso en prácticas de laboratorio y actividades académicas. Al tratarse de un sistema que involucra elementos mecánicos en rotación, flujo de agua a presión y componentes eléctricos, es indispensable aplicar medidas preventivas que reduzcan riesgos para los usuarios.

Respecto al mantenimiento del módulo, este se encuentra respaldado por un manual de mantenimiento previamente elaborado, el cual establece de manera detallada las actividades preventivas necesarias para conservar el correcto funcionamiento del sistema. Dicho manual incluye procedimientos que van desde inspecciones periódicas del rodete, lubricación de elementos móviles y limpieza. Para efectos de investigación, el manual de mantenimiento se presenta en la sección de anexos, sirviendo como guía de apoyo para la operación segura y la prolongación de la vida útil del módulo.

2.6 MARCO CONCEPTUAL (DEFINICIONES FUNDAMENTALES)

2.6.1 CONCEPTOS TÉCNICOS CLAVE

2.6.1.1 CAUDAL

El caudal se define como la cantidad de agua que atraviesa una sección determinada en un intervalo de tiempo específico. Matemáticamente, se expresa como la relación entre el volumen de fluido que circula y el tiempo empleado, representándose mediante la ecuación $Q = \frac{V}{t}$, donde Q es el caudal, V el volumen

y t el tiempo. Generalmente, el caudal se expresa en unidades de litros por segundo o metros cúbicos por segundo (Valdivieslo, 2020).

2.6.1.2 EFICIENCIA

La eficiencia hidráulica es un parámetro clave en el estudio y diseño de sistemas hidráulicos como turbinas, bombas, tuberías y canales; permite evaluar qué tan eficazmente se aprovecha la energía disponible. Este concepto expresa la relación entre la energía útil que el sistema logra convertir en trabajo y la energía total que se le suministra. La eficiencia hidráulica es una magnitud adimensional que normalmente se representa en forma de porcentaje; en la práctica, debido a la presencia de pérdidas asociadas a fenómenos como la fricción, la turbulencia y otras disipaciones de energía, el valor de la eficiencia hidráulica en sistemas reales siempre es inferior al 100% (Inturias, 2025).

2.6.1.3 POTENCIA

Según (Oo, 2019) la potencia hidráulica se interpreta como la energía disponible en el flujo de agua para ser convertida en trabajo mecánico y se emplea en los cálculos de diseño de turbinas Pelton.

La potencia hidráulica se expresa como:

$$P_h = \rho g Q H_n$$

Donde ρ es la densidad del agua (1000 kg/m^3), g la aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2), Q el caudal en m^3/s y H_n la altura neta en metros.

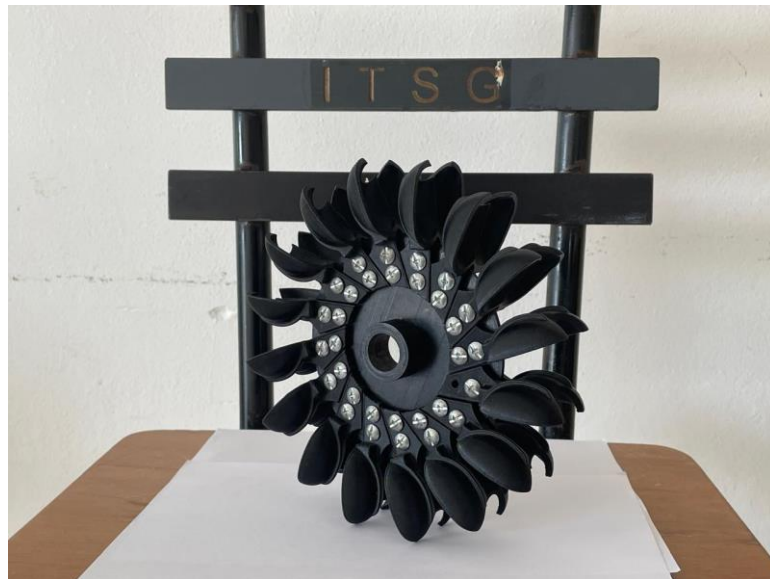
2.6.1.4 RODETE

El rodete rueda Pelton está constituido por un disco de acero con alabes, como ya se ha mencionado, de doble cuchara ubicados en la periferia de la rueda. Estos alabes pueden estar fundidos con la misma rueda o unidos individualmente por medio de bulones o pernos.

La forma de fabricación más común es por separado los álabes y rueda, ya que facilita su construcción y mantenimiento. Se funden en una sola pieza, rueda y álabes cuando la rueda tiene una gran velocidad específica; con este proceso de fabricación se logra mayor rigidez, solidez, uniformidad y montaje rápido (Canaza R. D., 2020).

Figura 10

Rodete de turbina tipo Pelton.



Nota. Es el componente principal de las turbinas Pelton. Tomado de elaboración propia.

2.6.1.5 INYECTOR

El inyector es el encargado de regular el caudal del chorro; está formado por la tobera, que es una boquilla con orificio de sección circular, instalada al final de la cámara de distribución, y que tiene como función dirigir el chorro hacia el rotor de tal forma que la prolongación de la tobera forma un ángulo de 90° con los radios de

este (Bancallan, 2017). Dirigen el flujo de agua hacia las cucharas y velocidades adecuadas; su diseño es crítico para evitar pérdidas.

2.6.1.6 ÁLABES

Los alabes, cucharas o palas están diseñadas para recibir la fuerza directa del chorro de agua, están construidas en forma de doble cuchara y justo en la arista media donde se dividen las dos cucharas es donde pega el chorro (Bancallan, 2017). Capturan la energía del chorro y transmiten el torque al rodete; su forma y tamaño determinan la eficiencia de conversión de energía.

Figura 11

Cuchara o alabe de una turbina tipo Pelton.



Nota. Los álabes tienen forma epiléptica y están divididos en dos partes simétricas, lo que ayuda a contrarrestar las fuerzas del chorro del agua. Tomado de elaboración propia.

III. MÉTODOS Y MATERIALES

3.1 TIPO DE ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación tiene un enfoque aplicado, ya que está orientada al diseño, fabricación e implementación de un módulo didáctico con turbina tipo Pelton, con el objetivo de fortalecer la comprensión de los conceptos de mecánica de fluidos en un entorno educativo. Este enfoque busca dar solución a una necesidad práctica mediante la aplicación de conocimientos teóricos y técnicos.

El estudio adopta un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo). El enfoque cuantitativo se emplea en el desarrollo del diseño hidráulico y mecánico del módulo, mediante el uso de distintos cálculos tales como caudal, pérdidas, potencia y triángulo de velocidades, así como en el análisis de los resultados obtenidos durante las pruebas experimentales.

Por otro lado, el enfoque cualitativo se incorpora a través de la aplicación de una encuesta dirigida a los estudiantes del área de ciencias mecánicas, con la finalidad de evaluar la percepción sobre la utilidad del módulo en la comprensión de los temas de mecánica de fluidos. Los resultados de dicha encuesta se presentan mediante gráficas que permiten interpretar el impacto educativo del módulo.

Así mismo, la investigación presenta un enfoque experimental, ya que el módulo fue sometido a pruebas de funcionamiento bajo condiciones controladas, permitiendo comparar los resultados teóricos con los resultados prácticos obtenidos durante su operación.

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS

Para la construcción y puesta en marcha del módulo didáctico se emplearon diversos materiales, equipos e instrumentos, seleccionados con base en criterios de resistencia mecánica, disponibilidad comercial, seguridad y adecuación para fines

didácticos. Los elementos utilizados permiten el correcto funcionamiento hidráulico, mecánico y eléctrico del sistema.

3.2.1 MATERIALES MECÁNICOS

Durante el proceso de fabricación y ensamble se emplearon herramientas como soldadora eléctrica, taladro, rehilete y distintas herramientas manuales necesarias para el montaje de distintos componentes.

Los materiales empleados en la fabricación del módulo incluyen elementos estructurales y de soporte. Entre ellos se encuentran perfiles y placas de acero comercial para la estructura, carcasa de acrílico para la visualización del funcionamiento, así como la tornillería y conexiones necesarias para el ensamblaje del sistema.

3.2.2 EQUIPOS HIDRÁULICOS Y ELÉCTRICOS

El sistema hidráulico está conformado por una bomba periférica encargada de suministrar el caudal requerido, tuberías y tanque para la recirculación del agua, válvulas de control para controlar el flujo del agua y un chiflón que dirige el chorro hacia el rodete de la turbina Pelton.

Para la conversión de energía y control de la energía generada, se emplearon un generador eléctrico, un inversor de frecuencia de 400 W, interruptores, protecciones y cableado, permitiendo un arranque, operación y paro seguro del módulo.

Tabla 2 *Resumen de materiales y equipos.*

Categoría	Material / Equipo	Función dentro del módulo
Material	Acero comercial	Soporte y estructura del módulo
Material	Acrílico	Carcasa de protección y visualización del sistema
Hidráulico	Bomba periférica	Suministro del caudal

Hidráulico	Válvulas y chiflón	Regulación y dirección del flujo
Mecánico	Rodete Pelton	Conversión de energía hidráulica a mecánica
Mecánico	Chumaceras	Soporte del eje
Eléctrico	Inversor	Control del generador
Eléctrico	Generador	Transforma la energía mecánica a eléctrica

Nota. Los costos de materiales y equipos se documentaron mediante los recibos, los cuales se presentan en los anexos. Tomado de elaboración propia.

3.3 METODOLOGÍA DE DISEÑO DEL MÓDULO DIDÁCTICO

En este apartado se describe el procedimiento seguido para el diseño del módulo didáctico, abarcado desde el análisis hidráulico del sistema hasta el diseño del rodete y el cálculo de la potencia hidráulica. La metodología se fundamenta en base a principios de la hidráulica y las maquinas hidráulicas, con el fin de garantizar un diseño funcional, seguro y adecuado para fines académicos.

3.3.1 CÁLCULO HIDRÁULICO DEL SISTEMA

El cálculo hidráulico del sistema se realizó con el objetivo de determinar de manera teórica las condiciones de operación de funcionamiento de la turbina dentro del módulo. Para ello, se analizaron los principales parámetros hidráulicos, tales como el caudal, altura neta o disponible y las pérdidas en el sistema.

Se consideraron las pérdidas por fricción en las tuberías y las pérdidas por accesorios como codos, válvulas y conexiones. A partir de estos cálculos se seleccionaron adecuadamente los componentes hidráulicos del módulo, esto para asegurar condiciones de operación estable durante las prácticas experimentales.

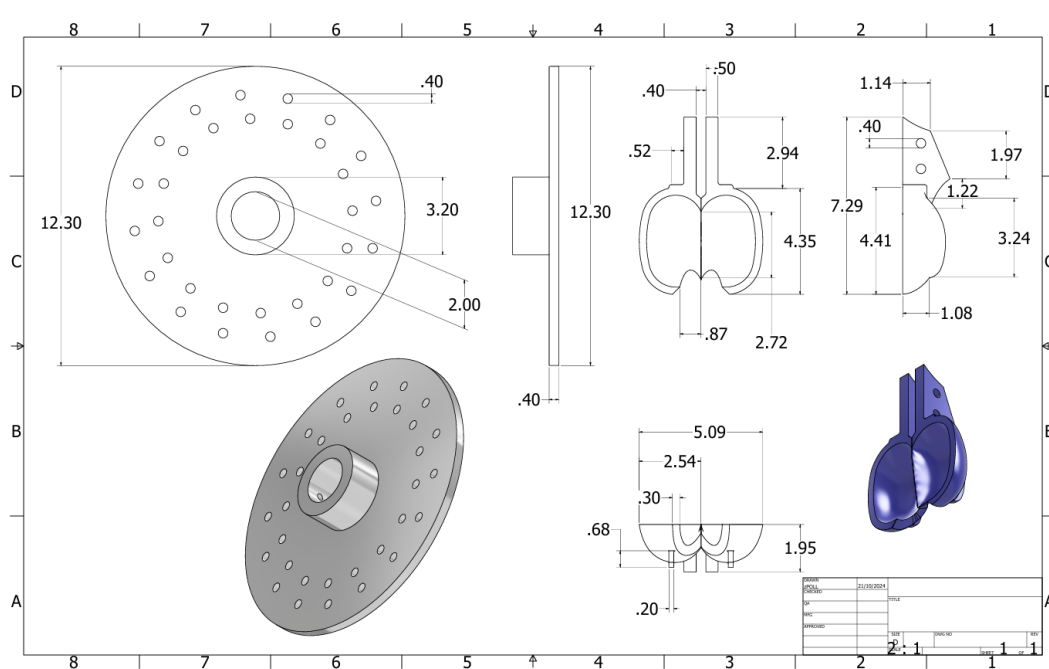
3.3.2 DISEÑO DEL RODETE Y TURBINA PELTON

El diseño del rodete se llevó a cabo considerando los resultados del cálculo previo. Se definieron parámetros como el diámetro del rodete, número de álabes y la velocidad de giro.

El diseño se desarrolló mediante software asistido por computadora, Inventor 2024 y SolidWorks, lo que permitió modelar los componentes principales de la turbina y verificar su compatibilidad con el resto del módulo didáctico. Asimismo, se tomó en cuenta la facilidad de fabricación, ensamblaje y mantenimiento, con el propósito de que el módulo pudiera ser utilizado en prácticas académicas de manera segura. En las figuras 12 y 13 se muestra el modelo CAD del rodete Pelton y sus elementos, donde se aprecian las dimensiones principales y la geometría de las cazoletas diseñadas.

Figura 12

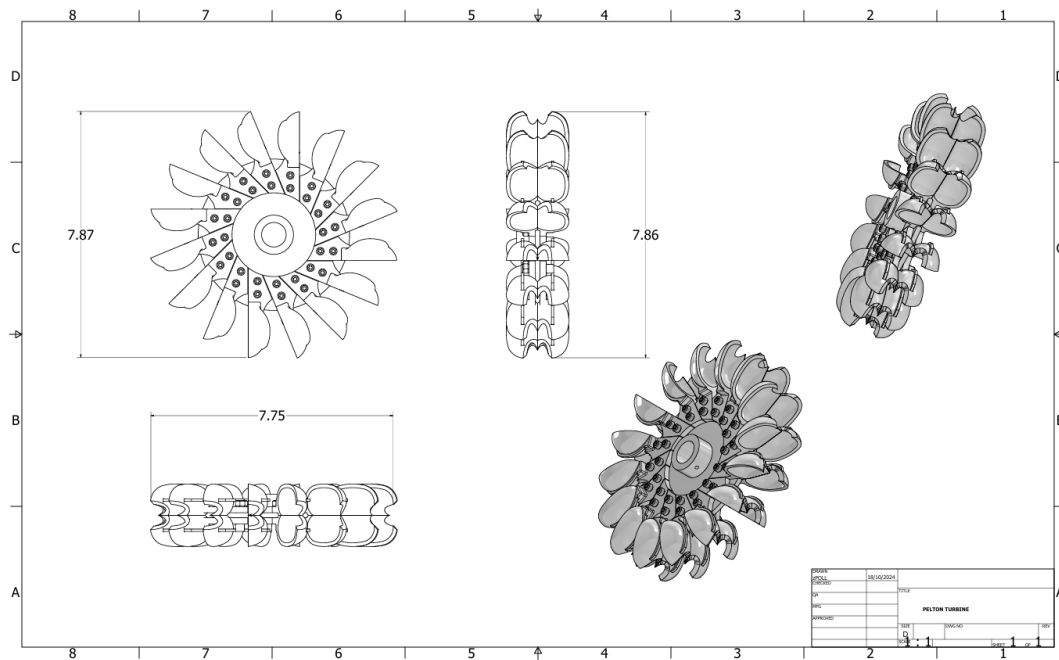
Planos en 2D de las piezas del rodete Pelton.



Nota. Planos 2D con medidas de álabes y rotor en INVENTOR 2024. Tomado de elaboración propia.

Figura 13

Planos en 2D del rodete Pelton ensamblado.



Nota. Planos en 2D con medidas de turbina tipo Pelton en INVENTOR 2024. Tomado de elaboración propia.

3.3.3 CÁLCULO DE POTENCIA HIDRÁULICA

El cálculo de la potencia hidráulica se realizó a partir del caudal y la altura neta disponible en el sistema, con el fin de estimar la energía aprovechable por la turbina. Este cálculo permitió evaluar el desempeño esperado del módulo y verificar que la potencia generada fuera la adecuada para su uso didáctico.

3.4 PROCESO DE FABRICACIÓN Y ENSAMBLAJE DEL MODULO

El proceso de fabricación y ensamblaje del módulo se desarrolló de manera sistemática, partiendo del diseño y planeación del sistema hasta la realización de pruebas experimentales, con el objetivo de obtener un módulo funcional, seguro y adecuado para su aplicación académica.

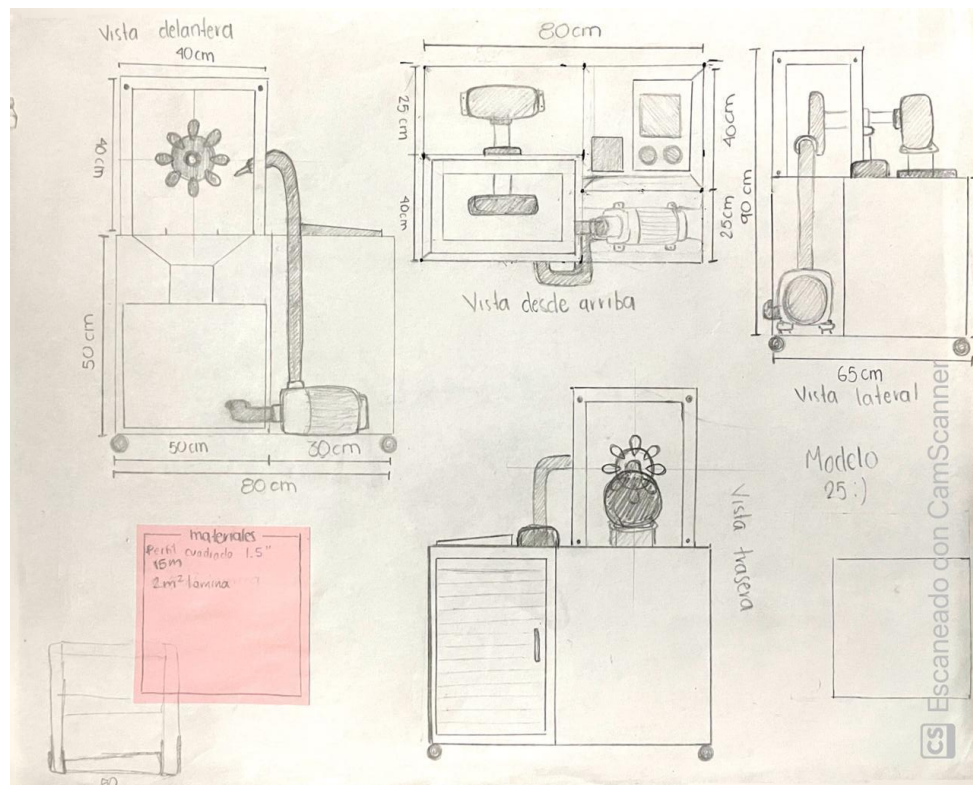
3.4.1 DISEÑO Y PLANEACIÓN

En esta etapa se realizó la planeación general del módulo didáctico, tomando como base los resultados del diseño hidráulico calculado. El proceso comenzó con el diseño general del módulo, definiendo componentes principales como la bomba periférica, la turbina Pelton, el generador y el inversor de 400 W. Se realizaron cálculos para determinar la potencia de la bomba y las dimensiones de la estructura. El diseño estructural del módulo y la turbina se modelaron en el software Inventor 2024.

Con las especificaciones del diseño y de los cálculos previos, se seleccionaron los materiales, herramientas y equipos necesarios, considerando criterios de disponibilidad, costo y resistencia mecánica. Se eligió un perfil cuadrado de 1.5 pulgadas para la estructura de soporte, láminas de acero inoxidable para la cascada de agua y protección de la estructura del sistema y una carcasa de acrílico.

Figura 14

Boceto final del modelo general del módulo didáctico con turbina Pelton.



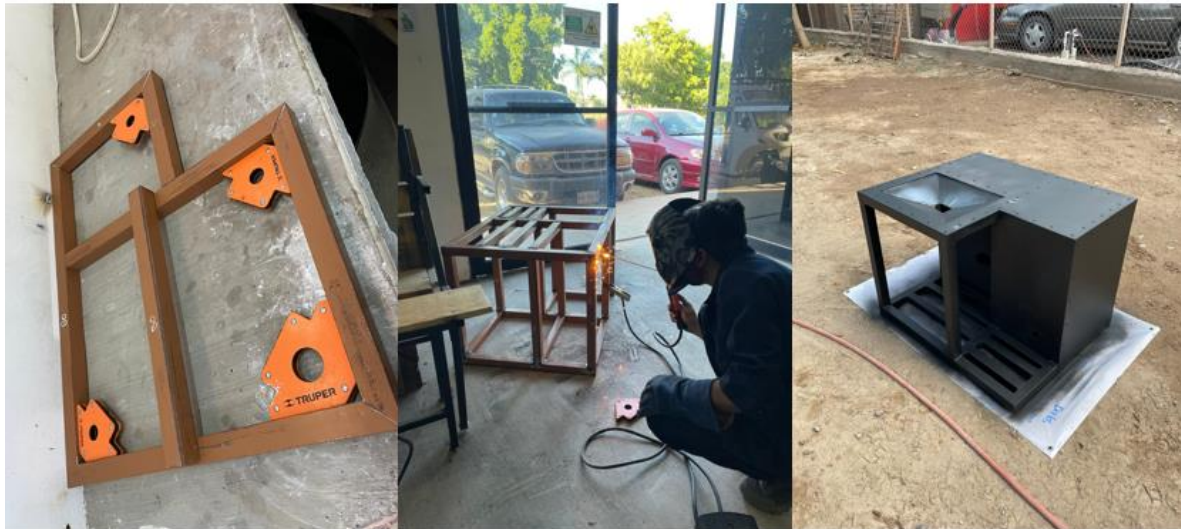
Nota. El diseño del módulo se desarrolló mediante herramientas CAD, lo que permitió visualizar la integración de distintos componentes. Tomado de elaboración propia.

3.4.2 FABRICACIÓN DE LA ESTRUCTURA

La fabricación de la estructura se llevó a cabo utilizando perfiles cuadrados de acero comercial, seleccionados por su resistencia mecánica y estabilidad. El proceso incluyó operaciones como corte, soldadura y ensamblaje, sobre el cual se montaron los componentes hidráulicos y mecánicos del módulo.

Figura 15

Proceso de fabricación y estructura final del módulo didáctico.



(a)

(b)

(c)

Nota. Proceso de fabricación de la estructura del módulo (a) corte y acomodo de perfiles metálicos, (b) proceso de soldadura y ensamblaje, (c) estructura terminada. Tomado de elaboración propia.

Durante esta etapa se verificó la correcta alineación y nivelación de la estructura, con el fin de garantizar el funcionamiento seguro y minimizar las vibraciones durante la operación del sistema. Una vez finalizada, la estructura quedó preparada para la colocación del resto de los elementos del módulo.

3.4.3 ENSAMBLAJE MECÁNICO E HIDRÁULICO

El ensamblaje mecánico e hidráulico consistió en la integración de la turbina Pelton, el sistema de tuberías, válvulas, bomba y demás componentes necesarios para el funcionamiento del módulo. Se realizó el montaje del rodete y las chumaceras, asegurando una correcta alineación para evitar pérdidas mecánicas. Posteriormente, se instaló el sistema hidráulico, incluyendo la tubería de conducción, codos, chiflón y accesorios necesarios.

Figura 16

Ensamblaje mecánico e hidráulico de elementos del módulo.



(a)

(b)

(c)

Nota. Proceso de ensamblado y colocación de elementos clave del módulo, (a) montaje de la turbina, (b) colocación de la bomba, (c) colocación de las tuberías. Tomado de elaboración propia.

3.4.4 PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL MÓDULO

Una vez finalizado el ensamblaje, se realizaron pruebas experimentales con alumnos del área de ciencias mecánicas, esto con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento del módulo y el interés de los alumnos. Inicialmente, se efectuaron pruebas en vacío para comprobar el correcto giro del rodete; posteriormente, se realizaron pruebas en diferentes condiciones de operación, variando el caudal en el sistema.

Figura 17

Pruebas experimentales del módulo didáctico en operación.



(a)

(b)

(c)

Nota. Ejecución de pruebas experimentales con alumnos pertenecientes al área de ciencias mecánicas, (a) demostración de funcionamiento, (b) pruebas de voltaje, (c) pruebas de arranque. Tomado de elaboración propia.

Durante las pruebas, se establecieron condiciones de operación controladas con el fin de garantizar la repetibilidad de los ensayos y la confiabilidad de los resultados obtenidos. Las principales variables del sistema, como el caudal, la presión y la potencia eléctrica, se mantuvieron dentro de rangos estables mediante la regulación del flujo y la verificación previa del funcionamiento de los componentes. Asimismo, se consideraron las incertidumbres asociadas a los instrumentos de medición empleados, los cuales se mantienen dentro de los márgenes aceptables para fines didácticos, permitiendo la comparación entre los valores teóricos y experimentales.

Tabla 3 *Control de variables e incertidumbre de medición.*

Variable medida	Método de control	Instrumento de medición	Margen de error
Caudal	Regulación mediante válvula de control o el	Caudalímetro	± 1 L/s

Presión	chiflón y operación de régimen estable Nivel de carga constante en el sistema	Manómetro	0.4%
Potencia eléctrica	Condiciones eléctricas constantes durante la prueba	Multímetro	±3%

Nota. La tabla resume las variables medidas, los métodos empleados para su control, así como los instrumentos empleados y su respectivo margen de error. Tomado de elaboración propia.

3.5 CONSIDERACIONES DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN

3.5.1 CONSIDERACIONES DE OPERACIÓN

El módulo didáctico de turbina Pelton fue diseñado para operar bajo condiciones controladas de laboratorio, permitiendo visualización y análisis de fenómenos hidráulicos de manera segura.

Antes de iniciar la operación del módulo, se debe verificar que todos los elementos mecánicos e hidráulicos se encuentren correctamente ensamblados, asegurando la ausencia de fugas y el correcto alineamiento de los elementos rotativos. Durante la operación, el arranque del sistema debe realizarse de manera gradual, regulando el caudal para evitar esfuerzos bruscos en la turbina. El módulo debe ser operado bajo la supervisión de un responsable, especialmente durante su uso en prácticas académicas.

Al finalizar la práctica, el sistema debe apagarse de manera ordenada, cerrando el suministro de agua y desconectando la alimentación eléctrica, con el fin de prolongar la vida útil de los componentes.

3.5.2 CONSIDERACIONES DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento del módulo es fundamental para garantizar su correcto funcionamiento, seguridad y durabilidad. Debido a que el sistema está destinado a fines académicos, se prioriza la aplicación de un mantenimiento preventivo periódico.

Entre las actividades de mantenimiento preventivo se incluye la limpieza general del módulo, la inspección de la turbina Pelton, la revisión y lubricación de las chumaceras, así como la verificación del estado de las conexiones hidráulicas y eléctricas. Estas actividades permiten detectar de manera temprana posibles fallas y evitar daños mayores al sistema. Adicionalmente, se recomienda realizar revisiones después de cada ciclo de prácticas, prestando especial atención al desgaste de los elementos rotativos y a la presencia de vibraciones o ruidos anormales durante su uso.

En caso de presentarse alguna falla, se deberá detener inmediatamente la operación del módulo y aplicar las acciones correctivas correspondientes, siguiendo las indicaciones establecidas en el manual de mantenimiento elaborado para este proyecto. Estas consideraciones permiten asegurar que el módulo opere de forma eficiente, segura y adecuada para su uso en prácticas de enseñanza de la mecánica de fluidos.

3.6 MANUAL DE PRÁCTICAS DIDÁCTICAS

Con el objetivo de complementar el módulo didáctico y facilitar su uso en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la mecánica de fluidos y sus derivados, se elaboró un manual de prácticas didácticas.

Este manual tiene como finalidad guiar a los estudiantes en la correcta operación del módulo, así como en el desarrollo de prácticas experimentales que permitan reforzar los conceptos teóricos relacionados con el flujo de agua, el cálculo de pérdidas hidráulicas, triángulos de velocidades, potencia hidráulica, entre otros. El manual de prácticas incluye la descripción del equipo, los objetivos de cada práctica,

el material necesario, el procedimiento a seguir, así como las consideraciones de seguridad y preguntas de análisis.

Dicho manual se presenta como un material de apoyo para docentes y alumnos, permitiendo un uso ordenado, seguro y eficiente del módulo. El contenido completo del manual de prácticas se encuentra incluido en los anexos del presente trabajo.

3.7 ANÁLISIS GENERAL DE COSTOS

El análisis general de costos del módulo didáctico con turbina Pelton se realizó con el objetivo de identificar y estimar los recursos económicos necesarios para su diseño, fabricación, ensamblaje y puesta en operación. Este análisis considera únicamente los insumos y procesos directamente relacionados con el desarrollo del prototipo.

Los costos se clasificaron en diferentes categorías, entre las que se incluyen los materiales, componentes mecánicos e hidráulicos, equipos utilizados y procesos de manufactura.

Dentro de los materiales se contemplan los perfiles metálicos para la estructura, tuberías, accesorios hidráulicos, tornillería, material de soldadura y otros. Cabe destacar que algunos elementos empleados fueron donados o facilitados por la institución educativa o ya se encontraban disponibles, por lo que no representaron un gasto económico directo. Asimismo, ciertos procesos de fabricación y ensamblaje se realizaron dentro de las instalaciones escolares, lo cual permitió reducir significativamente los costos asociados a la mano de obra y el uso de maquinaria especializada.

El costo total del proyecto se obtiene a partir de la suma de los gastos directos realizados, con el fin de tener una referencia del costo real del módulo en caso de ser replicado.

Tabla 4 *Análisis general de costos del módulo didáctico.*

Material / Equipos	Cantidad	Costo unitario (MXN)	Costo Total (MXN)	Observaciones
-----------------------	----------	-------------------------	----------------------	---------------

Turbina Pelton	1	\$1000	\$1000	Fabricación propia
Bomba periférica	1	\$515	\$515	Compra directa
Inversor 400 W	1	\$850	\$850	Compra directa
Tanque 50L	1	\$349	\$349	Compra directa
Generador	1	---	---	Donación
Perfil de acero comercial cuadrado de 1.4 in	15 m	Tira de 6m \$369	\$1107	Compra directa
Láminas de acero inoxidable	2	\$604	\$1208	Compra directa
Láminas de acrílico transparente	1	\$350	\$350	Compra directa
Perfil 7/8 in acero inoxidable	1	\$312	\$312	Compra directa
Chumacera de piso	1	\$150	\$150	Compra directa
Chumacera de pared	1	\$135	\$135	Compra directa
Tornillos para las chumaceras	4	\$4.20	\$16.81	Compra directa
acero Al Hex. G5				

Tuercas para las chumaceras ½ Hex. G5	4	\$1.53	\$6.12	Compra directa
Arandelas de presión G5	4	\$0.51	\$2.04	Compra directa
Tornillos para la turbina 5x16	32	\$0.37	\$11.96	Compra directa
Tuercas para la turbina	32	\$0.17	\$5.46	Compra directa
Bisagras	2	\$15	\$30	Compra directa
Tornillos para las bisagras 3/16	6	\$1.73	\$10.40	Compra directa
Tuercas para las bisagras 3/16	6	\$1.08	\$6.50	Compra directa
Chiflón 3-1/2 in de latón	1	\$65	\$65	Compra directa
Tubo de CPVC ¾ in	3m	\$16.33	\$49	Compra directa
Codo de 45° CPVC de ¾ in	1	\$2.50	\$2.50	Compra directa
Cople CPVC de ¾ in	2	\$2	\$4	Compra directa
Valbula de esfera CPVC ¾ in	1	\$35	\$35	Compra directa
Codo de 90° CPVC ¾ in	2	\$9	\$18	Compra directa

Reductor CPVC ¾ in	2	\$2.50	\$5	Compra directa
Sellador traslucido	1	\$69	\$69	Compra directa
Cinta cella rosca ½ in	1	\$11	\$11	Compra directa
Remaches bolsa de 50 unidades 3/16	2	\$20	\$40	Compra directa
Electrodos e- 6013	1caja	\$359	\$359	Compra directa
Pintura en aerosol negra	2 latas	\$45	\$90	Compra directa
Pegamento	1	\$27.90	\$27.90	Compra directa
Disco tipo 41 de 4 (Para rehilete)	1	\$16	\$16	Compra directa
Broca 14x1 tipo tornillo	1	\$6.08	\$6.08	Compra directa
Broca 20mm	1	\$86	\$86	Compra directa
Broca plana de manita ½ in	1	\$30	\$30	Compra directa
Costo total estimado		\$ 6978.77		

Nota. La tabla 4 presenta el análisis general de costos del módulo didáctico, describiendo los materiales utilizados durante su fabricación. Tomado de elaboración propia.

IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS

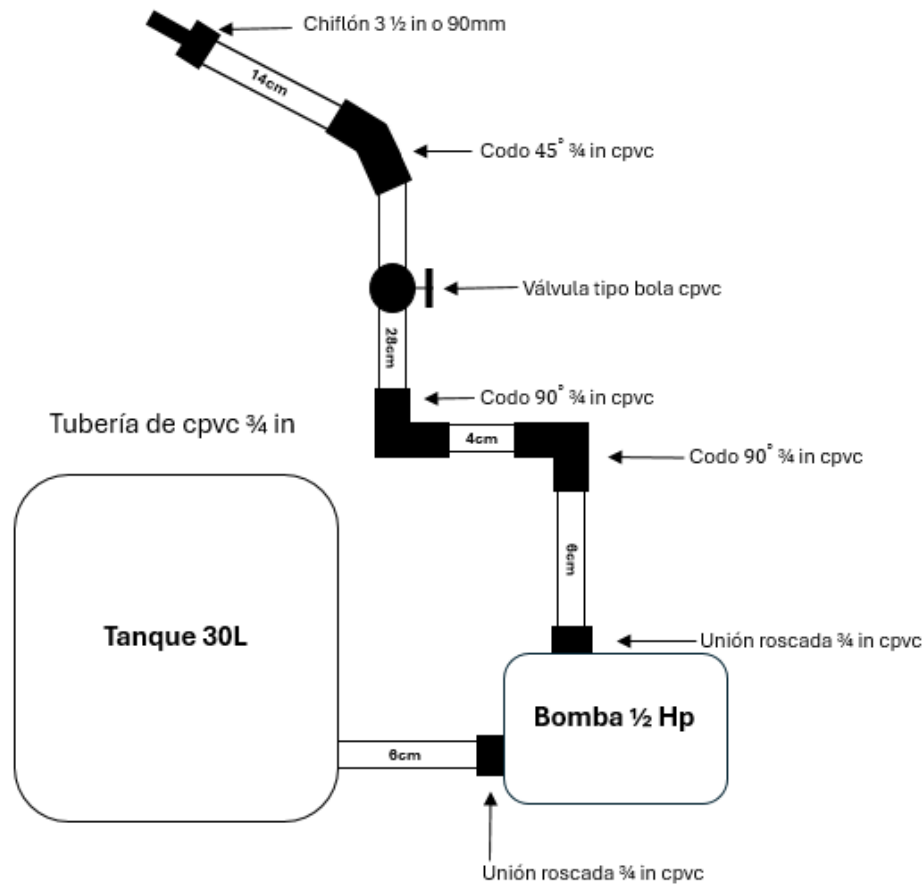
4.1 RESULTADOS DEL DISEÑO HIDRÁULICO DEL MÓDULO

El diseño hidráulico del módulo se realizó con el objetivo de garantizar el funcionamiento adecuado de la turbina Pelton bajo condiciones controladas. Para ello, se determinaron los principales parámetros hidráulicos del sistema, tales como caudal, altura neta y pérdidas de carga presentes en la conducción.

El caudal de diseño se estableció considerando las condiciones de operación de la bomba periférica, obteniéndose un valor de $Q = 0.00066 \text{ m}^3/\text{s}$. A partir de este caudal, se calcularon las pérdidas por fricción y accesorios en las tuberías, resultando en una pérdida total de 1.89499m .

Figura 18

Diagrama esquemático del sistema hidráulico del módulo didáctico, utilizado para el cálculo de pérdidas.



Nota. Para el diseño hidráulico del módulo, se elaboró un esquema del sistema hidráulico, el cual permitió identificar los elementos que influyen en las pérdidas de carga y accesorios, como se muestra en la figura 18. Tomado de elaboración propia.

Con base en la altura neta y el caudal de diseño, se procedió al cálculo de la potencia hidráulica disponible, obteniéndose un valor de $P_h = 1.7688 \text{ Kw}$. Este resultado permitió verificar que la potencia disponible es suficiente para el accionamiento de la turbina seleccionada, asegurando su operación dentro de los rangos de diseño previstos para el módulo.

Los cálculos hidráulicos completos, incluyendo el desarrollo de las pérdidas y potencia, se presentan de manera detallada en los anexos, con el fin de respaldar los resultados obtenidos y facilitar su consulta.

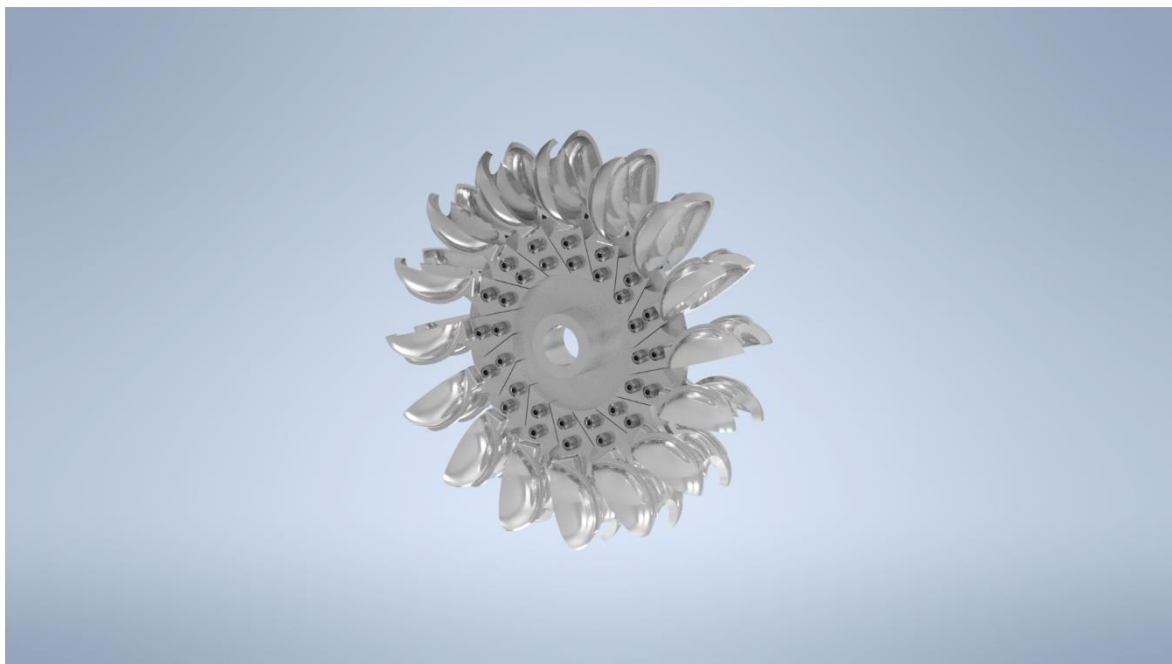
4.2 RESULTADOS DEL DISEÑO DEL RODETE Y TURBINA PELTON

El diseño de rodete y de la turbina Pelton del módulo se realizó con base en los resultados obtenidos del diseño hidráulico del sistema, considerando principalmente el caudal y la velocidad del chorro a la salida del chiflón. Estos parámetros permitieron definir las dimensiones geométricas del rodete y la configuración general de la turbina.

Para el rodete se determinó el diámetro a partir de la relación entre la velocidad periférica y la velocidad del chorro, resultando en un diámetro de $0.1143m \approx 0.12m$, un valor adecuado recomendado para turbinas Pelton de pequeña escala. A partir de este diámetro se definió el número de álabes resultado en un total de 16 polos, procurando un equilibrio entre la captación eficiente de chorro y la correcta evacuación del agua.

Figura 19

Modelo tridimensional del rodete de la turbina Pelton diseñado para el módulo didáctico.

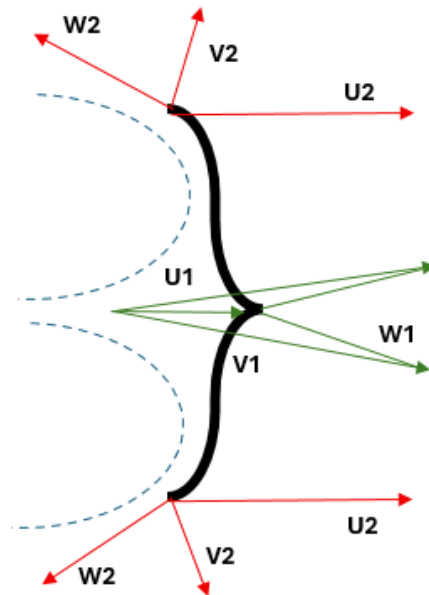


Nota. El rodete diseñado presenta un disco circular con cangilones de doble cuenco distribuidos uniformemente, configuración característica de las turbinas de impulso tipo Pelton. Tomado de elaboración propia.

El diseño de los álabes se basó en el análisis del triángulo de velocidades; la geometría adoptada favorece la desviación del chorro en el ángulo cercano a 180° , maximizando el aprovechamiento de la energía hidráulica disponible. La figura 20 muestra la representación del triángulo de velocidades empleado durante el diseño del álabe.

Figura 20

Representación del triángulo de velocidades en los álabes de la turbina Pelton.



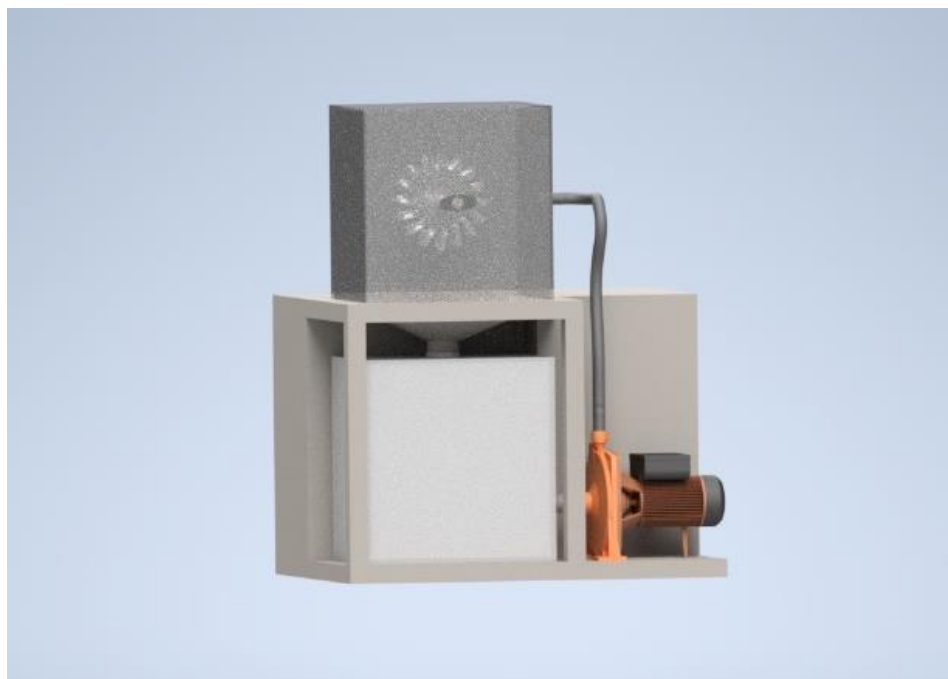
Nota. Representación del triángulo de velocidades utilizado para el diseño de los álabes del rodete, mostrando la relación entre la velocidad periférica y la velocidad absoluta. Tomado de elaboración propia.

Así mismo, se definieron las dimensiones características del alabe, tales como el ancho, profundidad y separación, tomando como referencia criterios clásicos de diseño para turbinas Pelton. Estas dimensiones fueron verificadas para garantizar la resistencia mecánica del rodete y su compatibilidad con el eje y las chumaceras del sistema.

El diseño final del rodete y la carcasa de la turbina fue representado mediante un modelo gráfico, el cual permitió verificar el ensamble general y la correcta alineación del chorro con los álabes. En la figura 19 se presenta el modelo del rodete diseñado, mientras que en la figura 21 se muestra la turbina Pelton integrada al módulo una vez ensamblada.

Figura 21

Turbina Pelton integrada al diseño del módulo didáctico.



Nota. Turbina Pelton montada en el diseño del módulo didáctico, mostrando su integración con el sistema hidráulico y mecánico. Tomado de elaboración propia.

El diseño asegura que la turbina opere dentro de condiciones seguras y controladas, permitiendo observar de manera clara el principio de funcionamiento de una turbina Pelton, así como su relación con las variables hidráulicas del sistema, lo cual resulta fundamental para su aplicación como módulo didáctico.

4.3 RESULTADOS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN Y ENSAMBLAJE

Como resultado del proceso de fabricación y ensamblaje descrito en el capítulo anterior, se obtuvo un módulo didáctico funcional para el estudio de la turbina Pelton, integrando de manera adecuada los sistemas estructural, mecánico e hidráulico. El módulo presenta rigidez y una disposición adecuada de los

componentes, lo que permite su operación segura durante las prácticas experimentales.

La estructura metálica cumple con las dimensiones y características definidas, proporcionando una base firme para el montaje del resto de los elementos del sistema. En la figura 19 se muestra el resultado final obtenido, evidenciando la correcta ejecución del corte, soldadura y ensamblaje de los perfiles y placas metálicas de cobertura.

Figura 22

Estructura metálica del módulo.



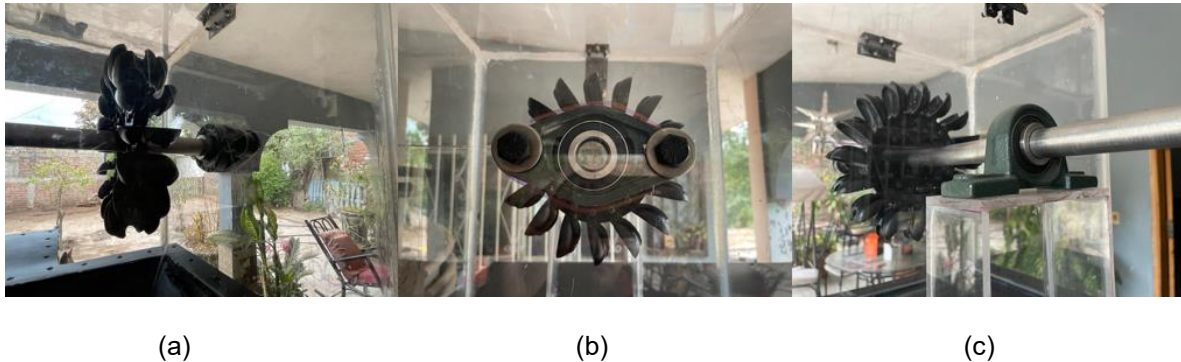
Nota. Estructura metálica del módulo didáctico, obtenida tras las etapas de corte, soldadura y ensamblaje. Tomado de elaboración propia.

Posteriormente, el ensamblaje mecánico permitió la integración de la turbina Pelton con el eje y las chumaceras, logrando un sistema alineado y estable. El rodete quedó firmemente acoplado, permitiendo la transmisión adecuada del movimiento.

En la figura 23 se presenta el conjunto mecánico del módulo ya instalado.

Figura 23

Elementos mecánicos instalados.



Nota. Elementos mecánicos principales del módulo didáctico, (a) vista hacia la chumacera de pared, (b) vista de frente de la turbina, (c) vista de la chumacera de pared. Tomado de elaboración propia.

En cuanto al sistema hidráulico, el ensamblaje realizado permitió conducir el flujo de agua de manera controlada hacia la turbina, cumpliendo con el diseño hidráulico previamente establecido. Las conexiones mostraron un comportamiento estable y adecuado durante las pruebas, garantizando la correcta formación del chorro sobre los álabes del rodete.

Finalmente, se obtuvo un módulo didáctico completamente ensamblado y operativo, capaz de reproducir las condiciones de funcionamiento de una turbina Pelton a escala de laboratorio. En la figura 24 se muestra el módulo terminado, el cual se utilizó para la realización de pruebas experimentales.

Figura 24

Modulo didáctico terminado.



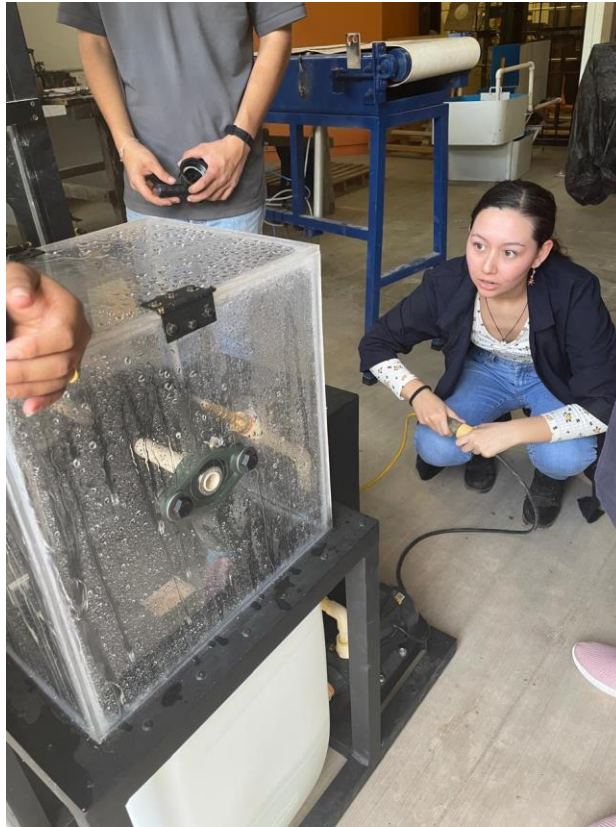
Nota. Vista general del módulo didáctico de turbina Pelton terminado, mostrando la integración de los sistemas hidráulico y mecánico. Tomado de elaboración propia.

4.4 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

Las pruebas experimentales del módulo didáctico con turbina Pelton se realizaron con el único propósito de evaluar su funcionamiento hidráulico y mecánico, así como verificar su desempeño bajo diferentes condiciones de operación. Durante las pruebas se analizaron valores de caudal, velocidad del chorro y el comportamiento de la turbina y el sistema en general.

Figura 25

Módulo didáctico durante las pruebas experimentales.



Nota. Módulo didáctico en operación durante las pruebas experimentales del sistema hidráulico. Tomado de elaboración propia.

Las pruebas se llevaron a cabo con agua como fluido de trabajo, con un caudal controlado mediante el chiflón, permitiendo simular diferentes condiciones de operación del sistema.

Durante las pruebas se observó que el caudal suministrado al sistema influyó directamente en la velocidad del chorro y el comportamiento del rodete. A mayores valores de caudal, el impacto del chorro sobre los álabes fue más pronunciado y su trabajo y revoluciones eran menos notorias, mientras que con un caudal más controlado las revoluciones y el movimiento de la turbina se pudo observar de manera más satisfactoria, notando el momento de la transformación de energía cinética a mecánica.

El rodete de la turbina presentó un movimiento estable durante las pruebas, sin vibraciones apreciables a simple vista. La potencia mecánica obtenida en el eje mostró una tendencia creciente conforme aumentó el caudal de operación, lo que coincide con el comportamiento esperado para este tipo de turbinas.

Figura 26

Módulo didáctico en funcionamiento.



Nota. Módulo didáctico en funcionamiento, utilizado para la observación y análisis del comportamiento hidráulico y mecánico. Tomado de elaboración propia.

De manera general, el módulo didáctico funcionó de forma adecuada y segura durante las pruebas experimentales. Se comprobó que el sistema permite visualizar

claramente el principio de funcionamiento de la turbina Pelton, facilitando la comprensión de conceptos como la conversión de energía, impulso del chorro y transmisión de potencia mecánica, lo que lo hace adecuado para fines didácticos.

4.5 RESULTADOS DE LA ENCUESTA APLICADA

Con el fin de evaluar el impacto didáctico del módulo, se aplicó una encuesta a estudiantes relacionados con el área de las ciencias mecánicas. La encuesta permitió recopilar información sobre la percepción de los participantes respecto a la utilidad del módulo como una herramienta de apoyo en el aprendizaje de conceptos teóricos y prácticos relacionados con el área de la mecánica de fluidos.

La encuesta estuvo compuesta por preguntas cerradas, orientadas a identificar el nivel de comprensión de conceptos antes y después de la interacción con el módulo, así como la opinión de los estudiantes sobre su utilidad como recurso didáctico.

Figura 27

Presentación de resultados.

1. ¿Considera usted que la implementación de un módulo didáctico de turbinas Pelton sería beneficioso para el entendimiento práctico de las máquinas de fluidos incompresibles?

21 respuestas



Nota. En la figura 27 se presentan los resultados correspondientes a la percepción de los estudiantes sobre la utilidad del módulo didáctico. Tomado de elaboración propia.

Los resultados indican que la mayoría de los encuestados consideran que la implementación del módulo didáctico facilita la comprensión de los principios de la mecánica de fluidos y sus derivados. Esto evidencia que el uso de herramientas experimentales contribuye positivamente al proceso de aprendizaje.

Figura 28

Encuesta de interés.

¿Crees que el módulo de prácticas es más interactivo en comparación con las clases teóricas tradicionales?

54 respuestas

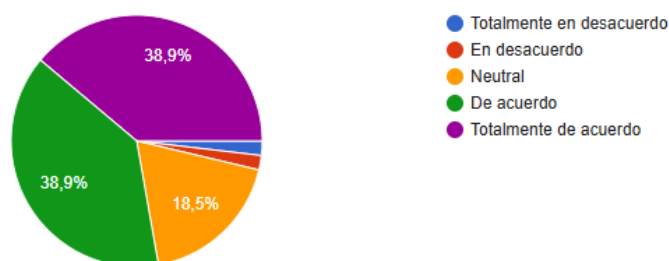
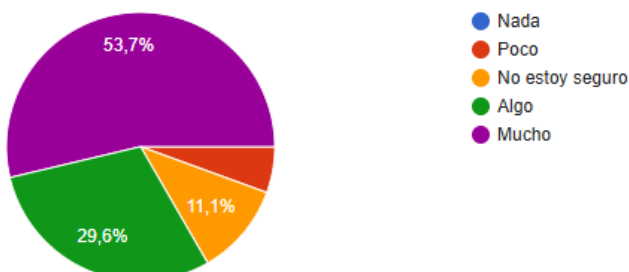


Figura 29

Encuesta de interés.

¿Crees que el módulo de prácticas aumentará tu interés por el área de la hidráulica?

54 respuestas



Nota. Tomado de elaboración propia.

Las figuras 28 y 29 muestran la percepción de los estudiantes respecto a la implementación del módulo didáctico para apoyar el aprendizaje de la mecánica de fluidos. Se observa que la mayoría de los encuestados considera que la implementación del módulo resulta beneficiosa, destacando una tendencia positiva hacia el aprendizaje práctico. Estos resultados indican que el uso e implementación del módulo puede facilitar la comprensión de los conceptos teóricos al permitir su aplicación directa en un entorno experimental.

En general, los resultados de las encuestas demuestran que el módulo cumple con su objetivo educativo, al facilitar la comprensión de conceptos fundamentales y mejorar la experiencia de aprendizaje en asignaturas relacionadas con la mecánica de fluidos. Para un análisis más profundo, las encuestas completas se encuentran anexadas en el capítulo de anexos.

4.6 DISCUSIÓN GENERAL DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el diseño hidráulico del módulo muestran que los cálculos realizados para las pérdidas de carga y la potencia hidráulica fueron adecuados para garantizar el funcionamiento del sistema. El comportamiento observado durante las pruebas experimentales concuerda con los principios teóricos de la mecánica de fluidos, lo que confirma la correcta aplicación de los modelos hidráulicos utilizados en la etapa de diseño.

En cuanto al proceso de fabricación y ensamblaje, el módulo presentó un desempeño estructural y mecánico satisfactorio, permitiendo una operación estable durante las pruebas. La correcta integración de los componentes mecánicos e hidráulicos facilitó el montaje del sistema y aseguró la alineación adecuada del rodete, lo cual es fundamental para el correcto aprovechamiento de la energía hidráulica.

Los resultados de las pruebas experimentales evidencian que el módulo opera de manera eficiente dentro de los parámetros de diseño establecidos. La eficiencia hidráulica obtenida, aunque menor al valor teórico obtenido, se mantiene dentro de rangos esperados debido a las pérdidas por fricción y accesorios del sistema. Esta diferencia puede explicarse mediante el análisis del triángulo de velocidades de la turbina Pelton, el cual describe la relación entre la velocidad del chorro, la velocidad periférica del rodete y la velocidad relativa del fluido sobre los alabes.

Finalmente, los resultados obtenidos de las encuestas aplicadas a los estudiantes reflejan una percepción positiva respecto a la implementación del módulo didáctico como herramienta de apoyo en el aprendizaje de la mecánica de fluidos. La mayoría de los participantes considera que el módulo contribuye a una mejor comprensión de conceptos como el caudal, potencia hidráulica y funcionamiento de turbinas, lo que respalda la utilidad del módulo como recurso didáctico para reforzar la enseñanza teórica mediante la experimentación práctica.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

A partir del desarrollo del presente trabajo, se concluye que fue posible diseñar, fabricar y poner en funcionamiento un módulo didáctico basado en una turbina Pelton. El módulo permitió representar de manera práctica los principios fundamentales de la mecánica de fluidos, tales como el caudal, la potencia hidráulica, las pérdidas de energía y el funcionamiento de turbinas hidráulicas.

El diseño hidráulico realizado proporcionó una base adecuada para el correcto funcionamiento del sistema, ya que los resultados obtenidos durante las pruebas experimentales mostraron un comportamiento coherente con los fundamentos teóricos analizados en el marco teórico. Esto valida la metodología empleada para el cálculo del caudal, las pérdidas por fricción y accesorios, la potencia hidráulica del módulo y los triángulos de velocidades.

Asimismo, el proceso de fabricación y ensamblaje del módulo demostró que es posible construir un equipo didáctico funcional utilizando materiales accesibles y procedimientos factibles dentro de un entorno académico, lo cual favorece su replicabilidad y uso en prácticas educativas.

Finalmente, los resultados de las encuestas aplicadas a los estudiantes indican que la implementación del módulo didáctico contribuye de manera positiva al aprendizaje de la mecánica de fluidos, al facilitar la comprensión de conceptos teóricos mediante la experimentación práctica, reforzando así el proceso de enseñanza y aprendizaje.

5.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda fortalecer la infraestructura del taller de cómputo mediante la incorporación de diversos programas de diseño asistido por computadora, con el fin de que los estudiantes puedan comparar y evaluar distintas herramientas de diseño y no limitar el aprendizaje a un solo software como SolidWorks.

Asimismo, se sugiere que, en futuras versiones del módulo didáctico, la turbina Pelton sea fabricada con materiales de mayor resistencia mecánica, como aluminio u otras aleaciones, lo que permitiría aumentar su durabilidad, mejorar su desempeño y ampliar las condiciones de operación del sistema.

De igual manera, se recomienda considerar un aumento en la escala del módulo didáctico, de modo que sus dimensiones permitan una visualización más clara de los fenómenos hidráulicos y faciliten la interacción durante las prácticas académicas.

Finalmente, se propone la integración de un mayor número de sensores e instrumentos de medición, tales como sensores de presión, velocidad o nivel, con el objetivo de evaluar más variables del sistema además del caudal, enriqueciendo así el análisis experimental y el alcance didáctico del módulo.

VI. BIBLIOGRAFÍAS

- Alcántara, J. M. (junio de 2018). *Diseño de un sistema para la obtención de la eficiencia en turbinas hidráulicas mediante el método termodinámico*. <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/504>
- Alomar, O. R., Maher Abd, H., Mohamed Salih, M. M., & Aziz Ali, F. (2022). Performance analysis of Pelton turbine under different operating conditions: An experimental study. *Ain Shams Engineering Journal*.
- Alomar, O. R., Maher Abd, H., Mohamed Salih, M. M., & Firas, A. A. (2022). Performance analysis of Pelton turbine under different operating conditions: An experimental study. *Ain Shams Engineering Journal*, 1.
- Álvarez, M. J., Parrales Parrales, E. L., Plúa Marcillo, L. A., Parrales García, C. E., Gutiérrez Sánchez, L. A., Marcillo Merino, G. L., . . . Merchan García, W. (2018). *Hidráulica aplicada para ingenieros civiles*. Editorial Área de Innovación y Desarrollo,S.L.
- Bancallan, L. O. (21 de Diciembre de 2017). *Diseño de un módulo de simulación de generación hidroeléctrico utilizando turbinas Pelton y Francis abastecidas por un sistema de resirculacion*. https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1131/1/TL_GilBancallanLuisOrlando.pdf.pdf
- Beltrán, G. J. (Enero de 2017). *"Diseño y procedimiento de construcción de una minihidráulica en culiacán, sinaloa"*.
- Bolgspot.com. (2021). *Componentes principales de una central hidroeléctrica [Fotografía]*.<https://hidroelectricasmiguelmeza.blogspot.com/p/componentes-principales-de-una-central.html>
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2020). *Shigley's Mechanical Engineering Desing*. Mc Graw Hill .
- Canaza, R. D. (2020). *Turbina Pelton Informe practico termo fluidos*. Scribd: <https://www.scribd.com/document/525292203/TURBINA-PELTON>

- Canaza, T. C., & Chara Surco, H. (2018). *"Diseño e implementacion de un modulo de turbina pelton para el laboratorio de energia de la escuela profesional de ingenieria mecanica- electrica y mecatronica"*.
- Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2018). *Mecánica de Fluidos. Fundamentos y aplicaciones*. Mc Gray Hill.
- Chihuailao, H. R. (2025). *Reacondicionamiento de una turbina kaplan para uso docente*. Santiago de chile.
- Clark.E. (8 de julio de 2023). *Central hidroeléctrica de pasada [Fotografía]*. Teoría de la energía: <https://energytheory.com/es/%C2%BFQu%C3%A9-es-una-central-hidroel%C3%A9ctrica-de-pasada/>
- Connor, N. (25 de mayo de 2024). *Turbina Hidráulica* . thermal-engineering: <https://www.thermal-engineering.org/hydraulic-turbine-water-to-mechanical-power-renewable/>
- Córdoba, A. T. (Septiembre de 2017). *Esquema de funcionamiento de la turbina Pelton [Fotografía]*. ResearchGate: https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Esquema-de-funcionamiento-de-la-turbina-Pelton_fig3_323907454
- Cuellar, J. L. (2024). *Centrales hidroeléctricas*. Studocu: <https://www.studocu.com/bo/document/universidad-mayor-de-san-andres/centrales-hidroelectricas/civ-339-introduccion-introduccion-a-centrales-hidroelectricas/67779313>
- De Lorenzo Training & Didactical Equipment. (19 de abril de 2024). *Sistema didáctico para estudio y entrenamiento de turbina Pelton con generador DC [Fotografía]*. Lorenzo Training & Didactical Equipment: <https://delorenzoglobal.com/es/producto/sistema-didactico-para-estudio-y-entrenamiento-en-turbina-pelton-con-generador-dc/>
- Donald, A. T., Pritchard, P., & Fox, R. W. (2020). *Introducción A La Mecánica De Fluidos 8Va Edición*. bookbylanguage.
- Energyeducation.ca. (2025). *Turbina Pelton*. Obtenido de Energyeducation.ca: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Pelton_turbine

- Guevara, E. G., Escárcega Romero, R., Rodríguez Muñoz, J. L., Zuno Silva, J., Muñoz Sánchez, Y., & Borja Soto, C. E. (2025). Diseño, construcción y puesta en marcha de una turbina Pleton para aplicaciones didácticas. *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 67-75.
- Harvey, A. (2017). *Micro-hydro desing manual*.
<https://doi.org/10.3362/9781780445472>
- Inturias, M. N. (2025). *Eficiencia Hldráulica: Análisis y Aplicaciones en Sistemas Hídricos*. Studocu: <https://www.studocu.com/bo/document/instituto-tecnologico-boliviano-canadiense-el-paso/elaboracion-de-productos-quimicos/eficiencia-hidraulica-analisis-y-aplicaciones-en-sistemas-hidricos/126185664>
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2020). *Manufacturing Processes For Engineering Materials*. GLOBAL EDITION.
- Karn, A. (2023). An Excel/VBA Teaching-Learning Solution of Velocity Triangle Analysis of Hidraulic Turbines. *Journal of Engineering Education Transformations*, 40.
- Lautaro, C. (2024). *Diseño de cuchara para Microturbina Pelton*.
- López, P. M., Guzmán Pascual, C. E., & Maldonado Nogales, M. (2022). Metodología Para el Cálculo de Pico Turbinas Pelton para instalar en los cauces ríos utilizados para riego en las provincias de Punata y Tiraque del Valle Alto de Cochabamba-Bolivia. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinaria*.
- Lorca, N. E. (2024). *Análisis geométrico para la conversión de energía hidráulica mediante vibraciones inducidas por vórtices*.
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/203689>
- Luis F. Nuñez. (26 de marzo de 2015). *Análisis interno de turbinas de acción y reacción [Fotografía]*. Turbinas hidráulicas:
<https://luifernunez.blogspot.com/2015/03/turbinashidraulicas-una-turbina.html>
- Mansilla, A. R., & Díaz Cuba, Y. L. (2023). *"Resideño y automatización de los módulos de turbinas pelton y francis del laboratorio de termofluidos de la*

universidad católica de santa maría para el monitoreo de flujo y presión empleando un sistema scada".

Miguel Angel Zamora Juárez. (2019). *Esquema general de una micro central hidroeléctrica operando a partir de un sistema de cosecha de lluvia [Fotografía]*. https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Esquema-general-de-una-micro-central-hidroelectrica-operando-a-partir-de-un_fig3_361040442

Montalvo, G. E. (Marzo de 2022). *Optimización de la geometría de un rodete pelton mediante el uso de técnicas metaheurísticas y análisis numérico computacional*.

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/24518/1/CD%2013432.pdf>

Neto, M. E., & Oto Toaquiza, E. F. (Febrero de 2023). *Implementación de un módulo didáctico para el análisis de eficiencia mecánica en la turbina pelton en microgeneración hidráulica*.

Núñez, J. G. (2025). *Desarrollo y ejecución de un laboratorio de pruebas que incorpora una turbina pelton para la generación de electricidad*. REVISTA RIDING Revista de Investigaciones, Desarrollo e Inonovación en Ingenierías, 1.

Oo, T. Z. (2019). Design Calculation of Pelton Turbine for 220 kW. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 218.

Parra, B. Z. (2025). *Energía hidráulica*. Cartagena: ediciones UPCT.

Parra, B. Z., & Viedma Robles, A. (2016). *Máquinas Hidráulicas Teoría y Problemas*. Cartagena: Crai UPCT ediciones.

Pasquel, D. A., & Vásquez Tobar, A. D. (Febrero de 2019). *Análisis y simulación del comportamiento de una turbina pelton para generación eléctrica en la region sierra del ecuador mediante fluent ansys*.

R. Montes. (11 de abril de 2025). *como funciona un sistema hidráulico [Fotografía]*. Obtenido de ¿Qué es la hidráulica?: <https://seremacarretillas.com/que-es-la-hidraulica-significado-funcionamiento-y-aplicaciones/>

Rojas, J. A. (Marzo de 2020). *Metología de diseño para turbinas tipo pelton, mediante un estudio paramétrico*.

Serrano, E. J. (28 de Mayo de 2018). *Diseño de un sistema de control de velocidad de una turbina pelton en la central hidroeléctrica buenos aires niepos usando algoritmo pi digital*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12423/1637>

Timetoast. (2021). *Turbina Pelton [Fotografía]*.
<https://www.timetoast.com/timelines/turbinas-hidraulicas>

Use.O. (20 de noviembre de 2025). *¿Cuál es el principio de funcionamiento de la turbina Pelton?* howengineeringworks.com:
<https://www.howengineeringworks.com/questions/what-is-the-working-principle-of-pelton-turbine/>

Valdivieso, A. (21 de septiembre de 2020). *¿Qué es un caudal? Agua*. iagua.es:
<https://www.iagua.es/respuestas/que-es-caudal>

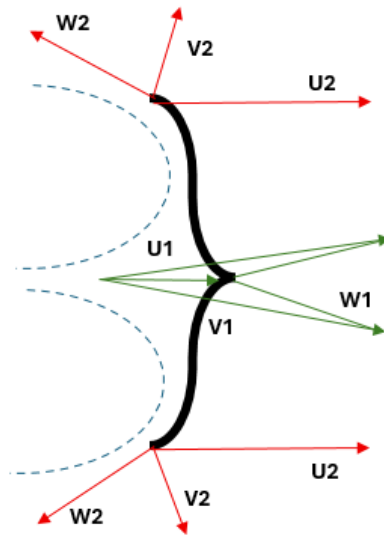
Zhang, Z. (2016). *Pelton Turbines*. Springer.

VII. ANEXOS

7.1 CÁLCULOS HIDRÁULICOS

Anexo 1

Triángulo de velocidades



Nota. Representación de los triángulos de velocidades en los alabes de una turbina Pelton. Tomada de elaboración propia.

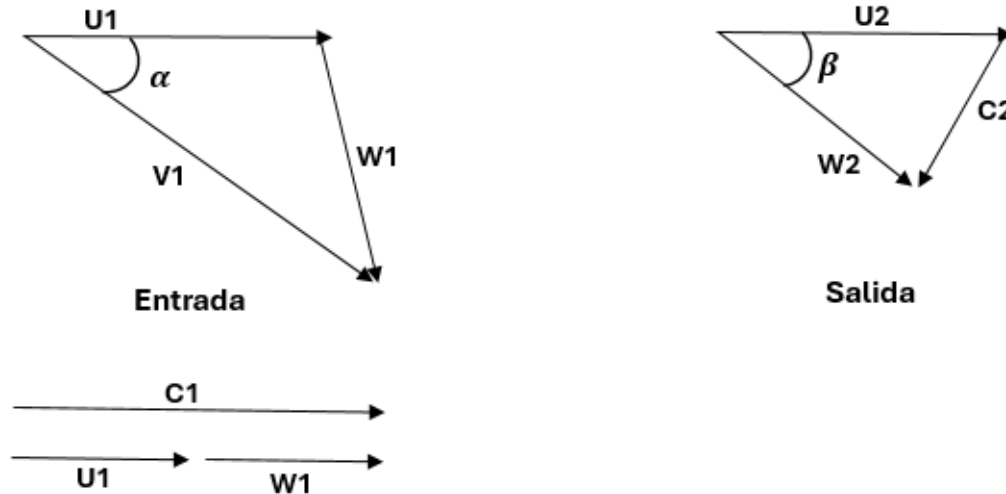
Para el desarrollo del análisis hidráulico se determinaron los parámetros principales del sistema. El caudal de operación resultó de $Q = 40 \text{ L/Min}$, obtenido a partir de las condiciones reales de la bomba, la turbina fue diseñada para trabajar a una velocidad aproximada de 450 rpm según las establecidas por el generador seleccionado.

En cuanto a los parámetros del triángulo de velocidades, se empleó un coeficiente de velocidad $k=0.46$, el cual se utilizó para ajustar la velocidad teórica del chorro considerando las pérdidas existentes en la línea de suministro. Además, se consideraron los ángulos característicos del impacto: un ángulo de entrada $\alpha = 30^\circ$ y un ángulo de salida $\beta = 10^\circ$.

En conjunto estos valores constituyen la base para el cálculo del rodete, la determinación de su diámetro y el sistema de inyección.

Anexo 2

Construcción de los triángulos de velocidades.



Nota. Esta figura permite visualizar las relaciones cinemáticas utilizadas para el cálculo del rendimiento hidráulico y parámetros de diseño del rodete. Tomada de elaboración propia.

Partiendo de esto y los datos con los que contamos se comienzan a aplicar las fórmulas correspondientes para los datos faltantes de los triángulos.

Triángulo de entrada:

$$Q = 40 \frac{L}{min} \left[\frac{1m^3}{1000 L} \right] \left[\frac{1min}{60s} \right] = 0.00066 m^3/s$$

$$C1 = \sqrt{2gH} \rightarrow H = \frac{C1^2}{2g}$$

$$C1 = V = 2.3156 m/s \rightarrow H = \frac{(2.3156 m/s)^2}{19.62 m/s^2} = 0.2732m$$

U representa la velocidad periférica $\approx k \cdot v$, K es la proporción optima entre la velocidad del chorro y la velocidad del rodete para obtener la máxima eficiencia de la turbina Pelton, por lo tanto: $k \approx 0.45$ a 0.5 tomando como valor típico 0.46 .

$$V = \sqrt{2gH} \rightarrow U = 0.46\sqrt{2gH}$$

$$U = 0.46 \sqrt{(19.62 m/s^2)(0.2732m)} = 1.06499 m/s$$

$U = U1 = U2$ esto porque las turbinas Pelton son turbinas tangenciales por lo que la velocidad periférica a la entrada y salida es la misma.

$$W1 = C1 - U1 = 2.3156 m/s - 1.06499 m/s = 1.25061 m/s$$

Triángulo de salida:

$$C2 = \sqrt{U2^2 + W2^2 - 2((U2)(W2 \cos \beta))}$$

$$W1 = W2 \text{ Por lo tanto } C2 = \sqrt{(1.06499 \text{ m/s})^2 + (1.25061 \text{ m/s})^2 - 2((1.06499 \text{ m/s})(1.25061 \text{ m/s} \cos 10^\circ))} =$$

$$C2 = \sqrt{(1.1342 \text{ m/s}) + (1.5640 \text{ m/s}) - 2((1.06499 \text{ m/s})(-1.0493 \text{ m/s}))} =$$

$$C2 = \sqrt{(2.6982 \text{ m/s}) - (-2.2349 \text{ m/s})} =$$

$$C2 = \sqrt{4.9331 \text{ m/s}} = 2.2210 \text{ m/s}$$

Fuerza de impulso del rodete

$$Fx = \rho Q(C1U - C2U) = \rho Q(W1U - W2U)$$

$$C1U = C1 \cos \alpha = (1.06499 \text{ m/s} \cos 30^\circ) = 0.1642 \text{ m/s}$$

$$C2U = C2 \cos \beta = (2.2210 \text{ m/s} \cos 10^\circ) = -1.8635 \text{ m/s}$$

Sustituyendo:

$$Fx = \left((1000 \text{ Kg/m}^3) (0.00066 \text{ m}^3/\text{s}) \right) ((0.1642 \text{ m/s}) - (-1.8635 \text{ m/s})) =$$

$$Fx = (0.66 \text{ Kg} \cdot \text{m/s})(2.0277 \text{ m/s}) = 1.3382 \text{ N}$$

Geometría del rodete

Para cumplir con el cálculo del rodete, se determinó inicialmente el diámetro del chorro a partir de la velocidad absoluta definida por el triángulo de velocidades. Con este valor se establecieron las dimensiones principales del rodete, asegurado la compatibilidad con la estructura del módulo didáctico.

Posteriormente, se calculó el número de polos o alabes mediante un criterio de diseño basado en la frecuencia y las revoluciones, el número obtenido coincidió relativamente con los valores recomendados para las turbinas de pequeña potencia y aplicaciones didácticas como la Pelton.

Para el cálculo del diámetro del chorro se tomó un despeje basado en la fórmula de la velocidad absoluta.

Por lo tanto:

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} \rightarrow D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} = \sqrt{\frac{4(0.00066 \text{ m}^3/\text{s})}{\pi(2.3156 \text{ m/s})}} = 0.01905 \text{ m}$$

Idealmente el diámetro del rodete debe ser por lo menos 6 veces mayor que el diámetro del chorro.

Por lo que:

$$D_{rodete} = (6)(0.01905 \text{ m}) = 0.1143 \text{ m} \approx 0.12 \text{ m}$$

Para el número de polos o alabes

$$NP = \frac{120 \cdot f}{N}$$

F se refiere a la frecuencia, tomado como dato que en México la frecuencia es de 60Hz y recordando que el RPM establecido por el generador es de 450.

Entonces podríamos decir que:

$$NP = \frac{(120)(60Hz)}{450rpm} = 16$$

Lo que nos da un total de 16 polos, lo cual nos asegura una geometría adecuada para garantizar la captación eficiente del chorro de agua.

Diseño y selección del sistema de inyección

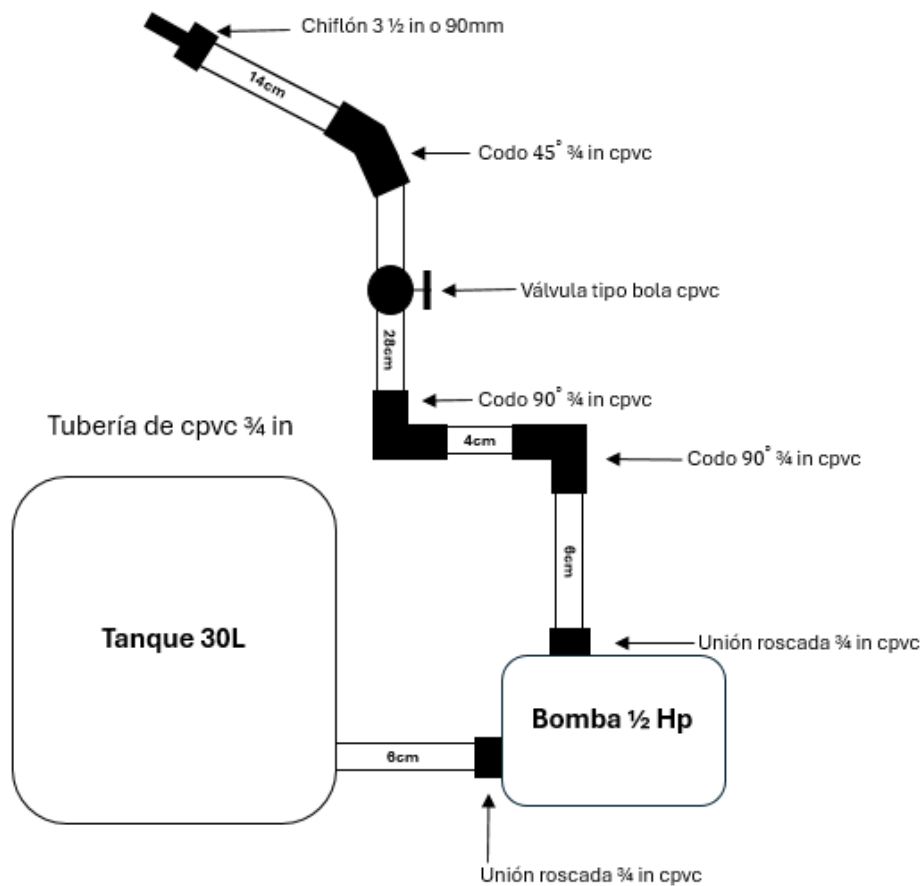
Para cumplir con el ultimo objetivo, se realizó el cálculo de las pérdidas, en donde se obtuvo un caudal de $0.00066 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual fue utilizado como base para determinar la velocidad del chorro.

Las pérdidas de cargas fueron obtenidas mediante la suma de las pérdidas por fricción en la tubería y las pérdidas por accesorios. La pérdida por fricción resulto en $0.08319m$, mientras que las perdidas por accesorios sumaron $1.8110m$, con ello la perdida total del sistema fue de $1.88419m$.

El procedimiento completo de cálculo, se presentan en el anexo siguiente.

Anexo 3

Esquema del diseño del sistema de suministro de agua.



Nota. Esquema del sistema de suministro e inyección de agua para la turbina Pelton. En el diagrama se muestran los principales componentes: bomba, tubería de conducción y accesorios. Tomada de elaboración propia.

Recordando que nuestro caudal resultó en $0.00066 \text{ m}^3/\text{s}$ y nuestro diámetro en 0.01905m podemos calcular la velocidad teórica del chorro.

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4(0.00066 \text{ m}^3/\text{s})}{\pi(0.01905)^2} = 2.3156 \text{ m/s}$$

Para determinar el tipo de flujo se utiliza el número de Reynolds (Re) es un parámetro adimensional que describe las relaciones entre las fuerzas inerciales y viscosas en un fluido en movimiento.

$$Re = \frac{DVel}{\mu} = \frac{(0.01905\text{m})(2.3156 \text{ m/s})}{1.0038 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}} = 43945.1882 \text{ Flujo turbulento.}$$

$$\varepsilon = \frac{e}{D} = \frac{0.0015 \times 10^{-3}}{0.01905\text{m}} = 0.000078$$

Según Moody $f = 0.01$, esto representa el coeficiente de fricción.

CPVC de la bomba a la carcasa

Pérdidas por fricción:

$$hf = f(L/D) \left(V^2 / 2g \right) = (0.01) \left(\frac{0.52m}{0.01905m} \right) \left(\frac{(2.3156 m/s)^2}{19.62 m/s^2} \right) = 0.07459m$$

Perdidas por accesorios:

El coeficiente k de los accesorios es de:

$$K \text{ para el codo de } 90^\circ = 0.9$$

$$K \text{ para el codo de } 45^\circ = 0.42$$

$$K \text{ para las boquillas (chiflón)} = 2.75$$

$$K \text{ para las uniones roscadas} = 0.08$$

$$k = 0.9 + 0.9 + 0.42 + 2.75 + 0.08 = 5.05$$

$$ha = k \left(V^2 / 2g \right) = (5.05) \left(\frac{(2.3156 m/s)^2}{19.62 m/s^2} \right) = 1.3801m$$

En cuanto a las pérdidas de la válvula se toma el coeficiente de la longitud equivalente en diámetro de la tubería $(L/D)_{Eq}$.

$$(L/D)_{Eq} \text{ para las valvulas tipo bola} = 150$$

Por lo tanto:

$$ha = f \Sigma (L/D)_{Eq} \left(V^2 / 2g \right) = (0.01)(150) \left(\frac{(2.3156 m/s)^2}{19.62 m/s^2} \right) = 0.4099m$$

Perdidas por fricción de la bomba al tanque:

$$hf = (0.01) \left(\frac{0.06m}{0.01905m} \right) \left(\frac{(2.3156 m/s)^2}{19.62 m/s^2} \right) = 0.0086m$$

Perdidas por accesorios:

$$ha = k \left(\frac{v^2}{2g} \right) = (0.08) \left(\frac{(2.3156 m/s)^2}{19.62 m/s^2} \right) = 0.0218m$$

Las pérdidas por fricción totales son:

$$hf \text{ total} = 0.07459m + 0.0086m = 0.08319m$$

Las pérdidas por accesorios totales sumaron:

$$ha = 1.3801m + 0.4099m + 0.0218m = 1.8110m$$

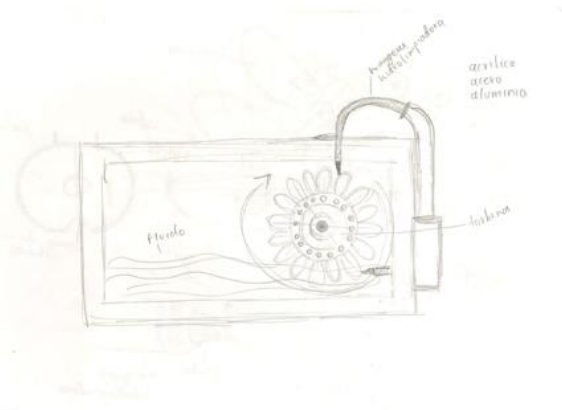
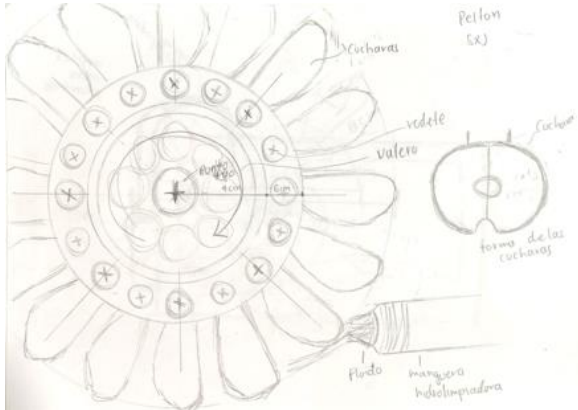
Resultando en unas pérdidas totales de:

$$HP = 0.08319m + 1.8110m = 1.88419m$$

7.2 PLANOS Y DISEÑOS DEL MÓDULO

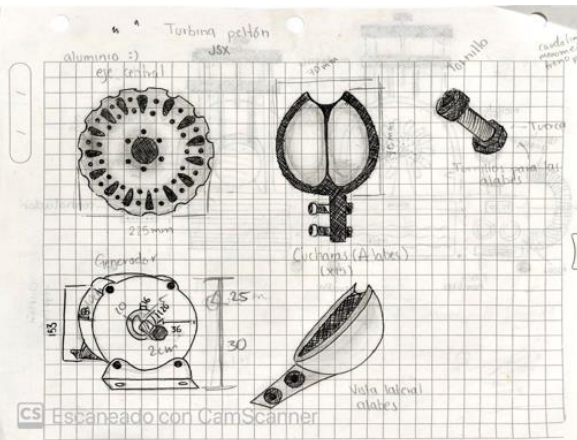
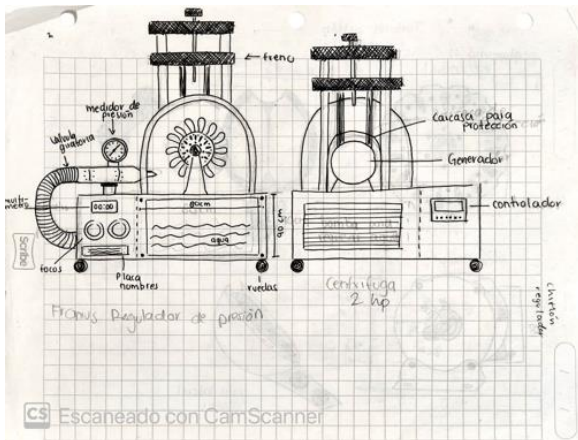
Anexo 4

Primer boceto de diseño del "módulo didáctico".



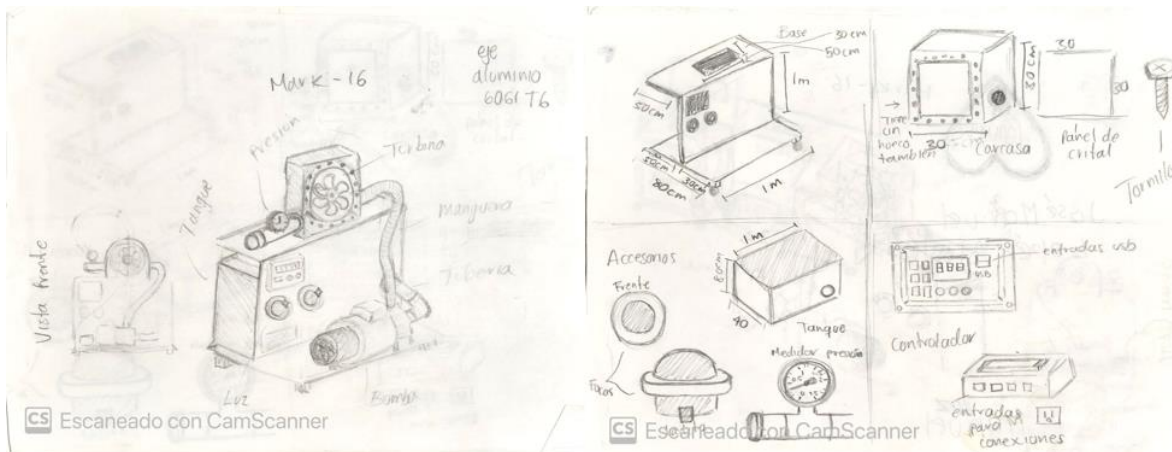
Anexo 5

Segundo boceto de diseño del "módulo didáctico".



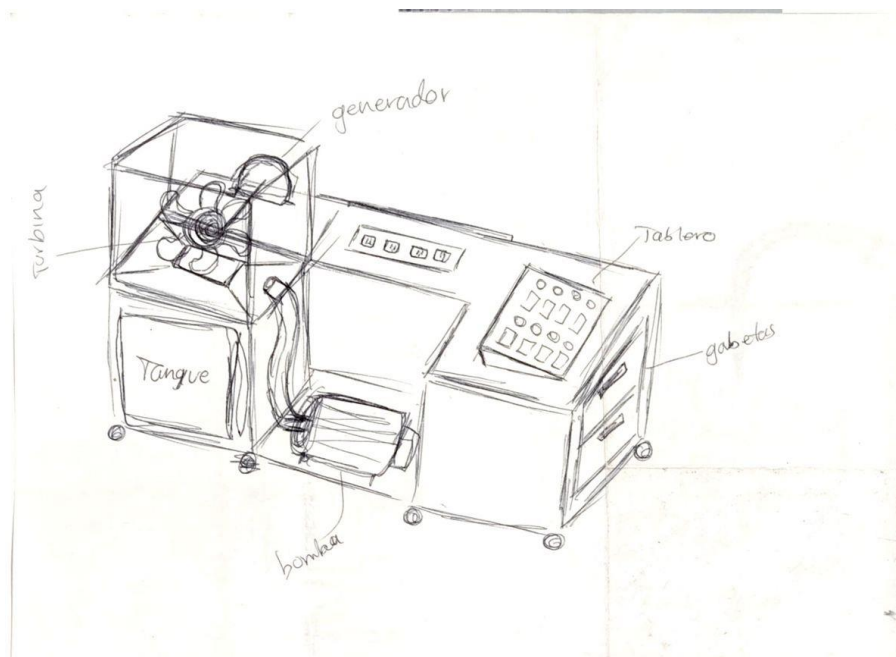
Anexo 6

Tercer boceto de diseño del "modulo didáctico".



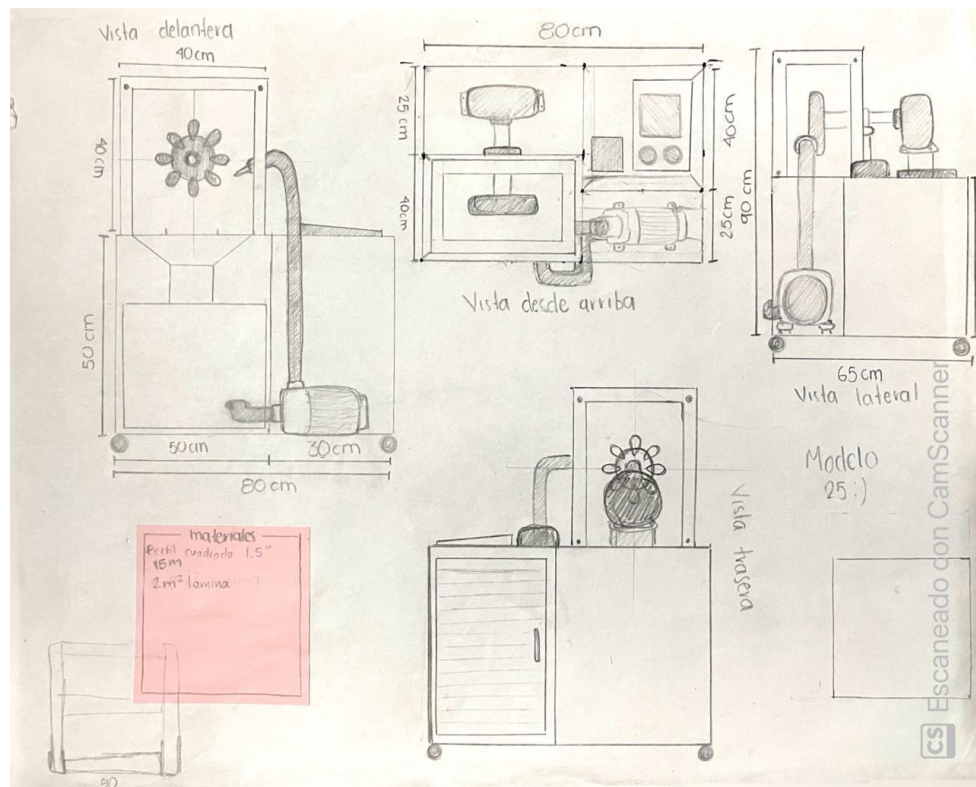
Anexo 7

Cuarto boceto de diseño del "módulo didáctico".



Anexo 8

Boceto de diseño final del "módulo didáctico".



7.3 PROCESO DE FABRICACIÓN Y ENSAMBLAJE

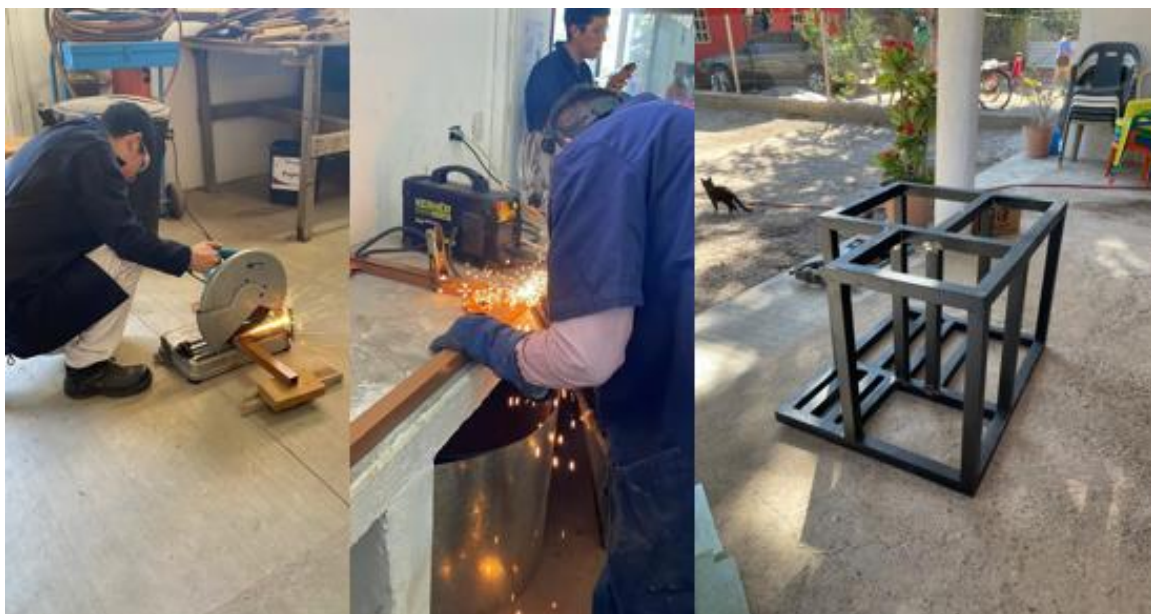
Anexo 9

Proceso de montaje de la carcasa de protección.



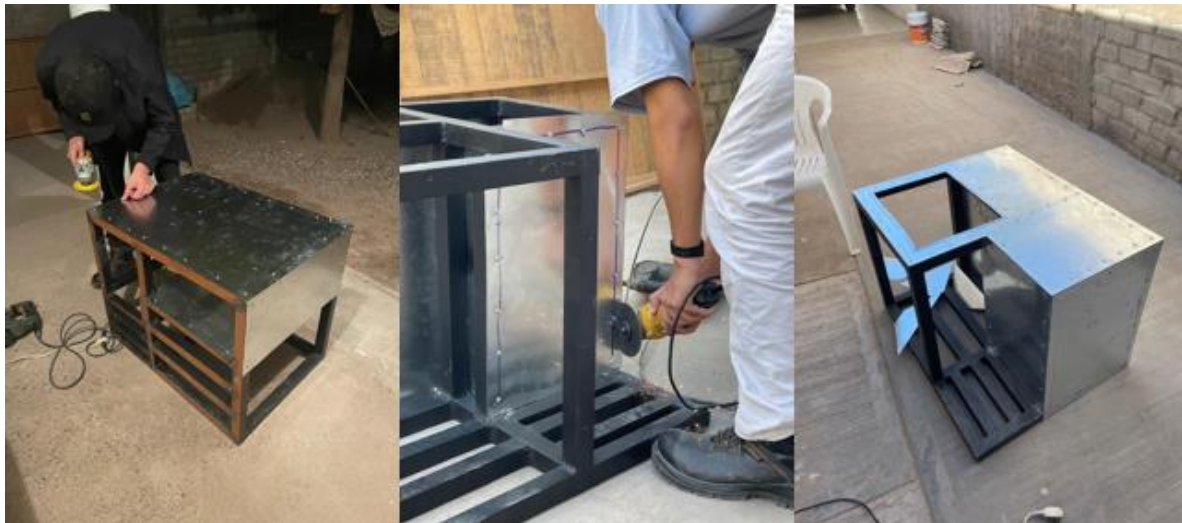
Anexo 10

Proceso de corte y soldadura de la estructura.



Anexo 11

Corte y unión de las láminas de acero a la estructura.



Anexo 12

Proceso de corte y ensamble de la caída de agua.



Anexo 13

Proceso de ensamblado de la turbina Pelton.



Anexo 14

Unión de la carcasa con la estructura del módulo.



Anexo 15

Nivelación del eje con el generador.



Anexo 16

Instalación del sistema hidráulico.



Anexo 17

Módulo terminado.



MANUAL DE PRÁCTICAS DIDÁCTICAS

MÓDULO: TURBINA PELTON



INTRODUCCIÓN

El presente manual de prácticas didácticas fue elaborado como complemento al módulo experimental de turbina Pelton desarrollado para el área de hidráulica y mecánica de fluidos. Su propósito es proporcionar a los estudiantes una herramienta que les permita reforzar los conocimientos teóricos adquiridos en el aula mediante la realización de prácticas experimentales, favoreciendo el aprendizaje significativo a través de la observación, medición y análisis de un sistema hidráulico real.

El manual está estructurado en una serie de prácticas progresivas, diseñadas para guiar al estudiante desde la identificación y comprensión del funcionamiento del módulo, hasta el análisis de variables hidráulicas fundamentales como el caudal, las pérdidas de carga, la potencia hidráulica, la eficiencia y el comportamiento del triángulo de velocidades en la turbina Pelton. Cada práctica incluye objetivos, fundamentos teóricos básicos, procedimiento experimental, tablas de registro de datos, cálculos, análisis de resultados y medidas de seguridad.

La aplicación de este manual busca fomentar el desarrollo de competencias técnicas, analíticas y experimentales, promoviendo la relación entre la teoría y la práctica en el estudio de las máquinas hidráulicas. Asimismo, se pretende que el módulo y las prácticas propuestas contribuyan a mejorar la comprensión de los principios de funcionamiento de las turbinas de acción y al fortalecimiento del proceso de enseñanza-aprendizaje en el ámbito de la ingeniería.

DESCRIPCIÓN DE LA MAQUINA

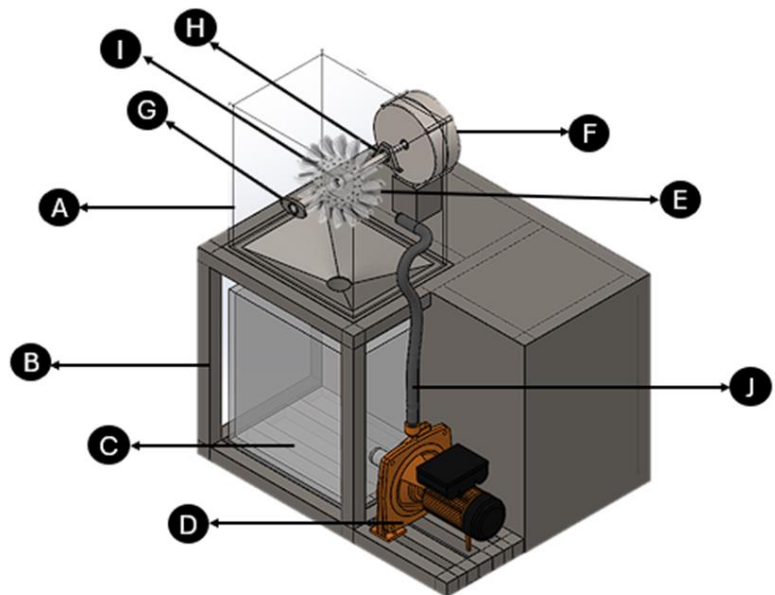
El módulo de turbina Pelton con generador de energía es una herramienta didáctica diseñada para el laboratorio de ingeniería mecánica del Instituto Tecnológico Superior de Guasave. Su propósito es reforzar los conocimientos en hidráulica, termodinámica y electricidad a través de una experiencia práctica.

El sistema simula la generación de energía renovable mediante el movimiento del agua, impulsada por una bomba periférica hacia la turbina Pelton, lo que activa un generador para producir electricidad. Además, incluye instrumentos de medición como un multímetro para el análisis de variables del proceso.

Este módulo recrea el funcionamiento de una pequeña central hidroeléctrica en un entorno controlado y seguro, permitiendo a los estudiantes aplicar conceptos teóricos en la práctica y prepararse para desafíos industriales en generación de energía, sistemas hidráulicos y diseño de maquinaria.

LISTA DE COMPONENTES: IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES

- A. Carcasa de protección
- B. Estructura soldada
- C. Tanque
- D. Bomba periférica
- E. Turbina tipo Pelton
- F. Generador
- G. Chumacera de pared
- H. Chumacera de piso
- I. Eje
- J. Conexiones hidráulicas



OBJETIVO GENERAL DEL MANUAL

Proporcionar a los estudiantes una guía práctica para el análisis experimental del funcionamiento de una turbina Pelton mediante un módulo didáctico, reforzando los conceptos fundamentales de la mecánica de fluidos.

ALCANCE DEL MANUAL

El presente manual está dirigido a estudiantes de ingeniería que cursan asignaturas relacionadas con hidráulica y mecánica de fluidos. Las prácticas aquí descritas están diseñadas para realizarse en laboratorio bajo supervisión docente.

NORMAS DE SEGURIDAD GENERALES

Antes de iniciar cualquier práctica, el estudiante deberá verificar el correcto estado del módulo, utilizar el equipo de protección personal y seguir las indicaciones del responsable del laboratorio.

	Manual de prácticas de módulo de turbina Pelton	Nombre de la práctica	Número de práctica
		Identificación y funcionamiento del módulo Turbina Pelton	1
División de carrera: Ing. Mecánica		Área/Departamento: Laboratorio de Mecánica	

Objetivo general

Identificar los componentes del módulo didáctico de turbina Pelton y comprender su principio de funcionamiento mediante la observación y operación controlada del sistema.

Alcance

Esta práctica está dirigida a estudiantes que inician el estudio de las máquinas hidráulicas y tiene como finalidad familiarizarlos con el módulo didáctico, sus componentes mecánicos, hidráulicos y eléctricos, así como con su funcionamiento general.

Seguridad

- Utilizar equipo de protección personal durante la práctica.
- Verificar que las conexiones hidráulicas y eléctricas se encuentren en buen estado.
- No manipular el sistema eléctrico con el módulo energizado.
- Operar el módulo bajo la supervisión del docente o responsable del laboratorio.

Reglas de operación

- No operar el módulo sin suministro de agua.
- Ajustar el caudal de manera gradual.
- No tocar componentes móviles durante la operación.
- Apagar el sistema antes de realizar cualquier ajuste.

- **Metodología**

La práctica se desarrolla mediante la observación directa del módulo, la identificación de sus componentes y la explicación guiada del funcionamiento de la turbina Pelton, relacionando los elementos del sistema con los conceptos teóricos revisados en clase.

Tabla 5 Componentes principales del módulo didáctico.

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	FUNCIÓN DENTRO DEL MÓDULO
Turbina Pelton		
Bomba hidráulica		
Chiflón		
Eje y Chumaceras		
Generador eléctrico		
Estructura de soporte		
Carcasa de protección		
Sistema eléctrico		

- **Evaluación**

¿Cuál es el principio de funcionamiento de una turbina Pelton y por qué se clasifica como una turbina de acción?

¿Qué papel desempeña el caudal en el funcionamiento de la turbina Pelton y cómo influye en el movimiento del rodete?

¿Por qué es necesario contar con chumaceras en el sistema y qué función cumplen dentro del módulo?

Desde su punto de vista, ¿cuál es la ventaja de utilizar un módulo didáctico experimental frente al análisis únicamente teórico de las turbinas hidráulicas?

¿Qué medidas de seguridad considera más importantes durante la operación del módulo y por qué?

Conclusiones

Observaciones

	Manual de prácticas de módulo de turbina Pelton	Nombre de la práctica	Número de práctica
		Análisis hidráulico del sistema: caudal, pérdidas y potencia	2
División de carrera: Ing. Mecánica		Área/Departamento: Laboratorio de Mecánica	

Objetivo general

Analizar experimentalmente el comportamiento hidráulico del módulo didáctico mediante la medición del caudal y el cálculo de las pérdidas de carga y la potencia hidráulica del sistema.

Alcance

Esta práctica permite al estudiante aplicar conceptos fundamentales de mecánica de fluidos a través de mediciones experimentales, comparando resultados teóricos y experimentales para evaluar el desempeño hidráulico del módulo.

Seguridad

- Verificar el correcto montaje del sistema antes de iniciar la práctica.
- No exceder las condiciones normales de operación del módulo.
- Mantener el área de trabajo seca y ordenada.
- Desconectar la alimentación eléctrica al finalizar la práctica.

Reglas de operación

- Medir el caudal siguiendo el procedimiento indicado.
- Registrar los datos de manera ordenada y precisa.
- No modificar el sistema durante la toma de datos.
- Detener el módulo ante cualquier funcionamiento anormal.

Metodología

La práctica se basa en la obtención de datos experimentales mediante mediciones directas de volumen y tiempo, así como en la aplicación de ecuaciones hidráulicas para el cálculo de pérdidas y potencia, permitiendo el análisis del comportamiento real del sistema.

Tabla 6 Datos del sistema hidráulico.

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Diámetro interno de la tubería	D		m
Longitud total de la tubería	L		m
Densidad del fluido	ρ		kg/m ³
Gravedad	g	9.81	m/s ²

Tabla 7 Cálculo de pérdidas en el sistema.

CONCEPTO	SÍMBOLO	VALOR
Velocidad del flujo	v	
Factor de fricción	f	
Pérdidas por fricción	hf	m
Pérdidas por accesorios	ha	m
Pérdidas totales	ht	m

Tabla 8 Cálculo de potencia hidráulica.

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Caudal promedio	Q		m ³ /s
Altura neta	H		m
Potencia hidráulica	Ph		W

- Evaluación

Explique cómo influyen las pérdidas por fricción y por accesorios en el desempeño hidráulico del sistema.

Compare los valores teóricos y experimentales del caudal obtenidos. ¿A qué factores atribuye las diferencias observadas?

¿De qué manera el caudal afecta la potencia hidráulica disponible en el sistema? Explique con base en los resultados obtenidos.

Desde el punto de vista experimental, ¿qué mejoras podrían implementarse para obtener mediciones más precisas del caudal y las pérdidas?

Conclusiones

Observaciones

	Manual de prácticas de módulo de turbina Pelton	Nombre de la práctica	Número de práctica
		Análisis del triángulo de velocidades y eficiencia de la turbina Pelton	3
División de carrera: Ing. Mecánica		Área/Departamento: Laboratorio de Mecánica	

Objetivo general

Evaluar el desempeño de la turbina Pelton mediante el análisis del triángulo de velocidades y el cálculo de la eficiencia hidráulica del módulo didáctico.

Alcance

Esta práctica está orientada al análisis avanzado del funcionamiento de la turbina Pelton, permitiendo al estudiante relacionar los parámetros hidráulicos medidos con el comportamiento dinámico del rodete y la eficiencia del sistema.

Seguridad

- Operar el módulo únicamente dentro de los rangos establecidos.
- No acercar manos u objetos al rodete en movimiento.
- Verificar la correcta sujeción de los componentes mecánicos.
- Apagar el sistema antes de realizar cualquier ajuste.

Reglas de operación

- Registrar correctamente los datos obtenidos durante la práctica.
- Realizar los cálculos con base en los valores medidos.
- No forzar el sistema a condiciones no previstas.
- Seguir las indicaciones del docente durante toda la práctica.

Metodología

La práctica se desarrolla a partir de los datos experimentales obtenidos en prácticas previas, los cuales se emplean para construir el triángulo de velocidades y calcular la eficiencia hidráulica, permitiendo evaluar el desempeño del módulo didáctico.

Tabla 9 Datos para el triángulo de velocidades.

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Velocidad del chorro	V_1		m/s
Velocidad periférica del rodete	U		m/s
Velocidad relativa de entrada	W_1		m/s
Velocidad relativa de salida	W_2		m/s
Ángulo de entrada del chorro	α		°
Ángulo de salida	β		°

Tabla 10 Resultados del triángulo de velocidades.

CONDICIÓN	V_1 (M/S)	U (M/S)	W_1 (M/S)	W_2 (M/S)
Caudal bajo				
Caudal medio				
Caudal alto				

Tabla 11 Cálculo de eficiencia hidráulica.

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Potencia hidráulica	Ph		W
Potencia útil	Pu		W
Eficiencia hidráulica	η		%

- **Evaluación**

Explique la importancia del triángulo de velocidades en el análisis del funcionamiento de una turbina Pelton.

¿Cómo afectan las pérdidas hidráulicas y mecánicas al desempeño real de la turbina Pelton?

Explique la relación entre el ángulo de entrada y salida del chorro y el aprovechamiento de la energía cinética del fluido.

¿Qué modificaciones al diseño del rodete o a las condiciones de operación podrían mejorar la eficiencia del módulo didáctico?

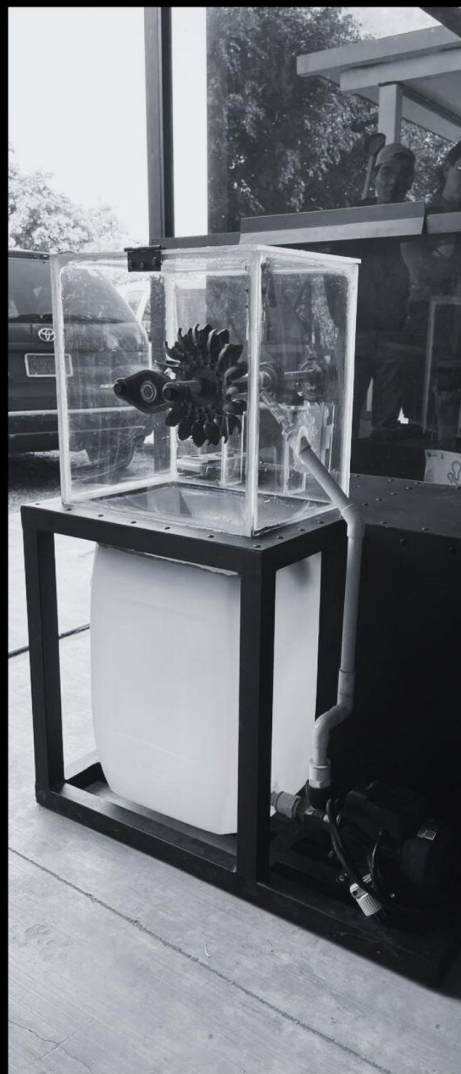
Desde su experiencia experimental, ¿qué ventajas ofrece el uso del módulo didáctico para la comprensión del comportamiento de las turbinas hidráulicas?

Conclusiones

Observaciones

XS

MÓDULO DIDÁCTICO



CON TURBINAS
TIPO PELTON

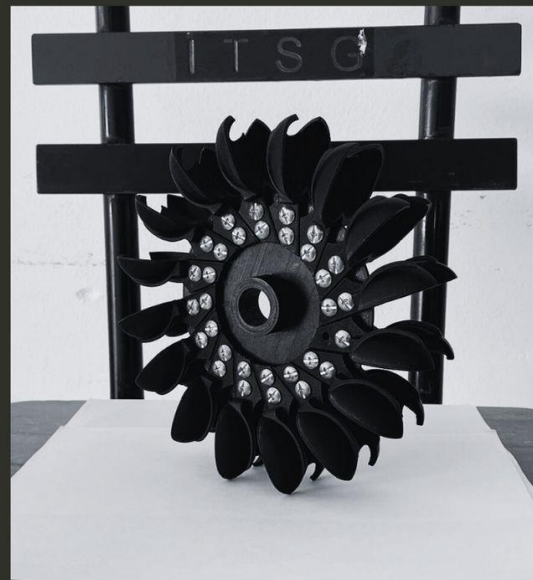
TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

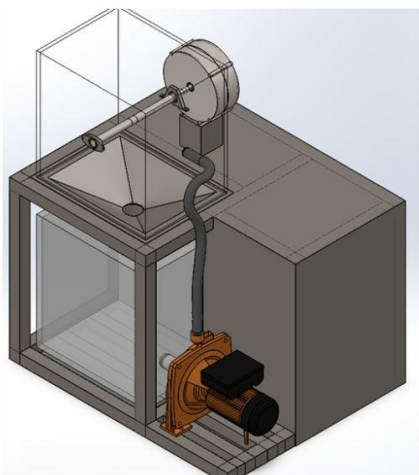
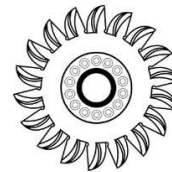
El presente manual de mantenimiento está diseñado para garantizar el correcto funcionamiento y la durabilidad del módulo didáctico con turbinas Pelton. Este módulo ha sido desarrollado como una herramienta educativa para la comprensión y análisis del funcionamiento de las turbinas hidráulicas, permitiendo a los usuarios realizar pruebas experimentales y mejorar su conocimiento sobre generación de energía hidroeléctrica.

El mantenimiento adecuado de los componentes mecánicos, eléctricos y estructurales es esencial para evitar fallos prematuros y asegurar la seguridad del equipo y los operarios. En este manual, se presentan las recomendaciones y procedimientos para la inspección, limpieza, lubricación y sustitución de piezas clave, con el fin de optimizar el rendimiento del sistema. Siguiendo las indicaciones aquí descritas, se prolongará la vida útil del módulo y se garantizará su operatividad para futuras prácticas académicas e investigativas.

- 03 DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA
- 04 ANÁLISIS DE COMPONENTES
- 05 ANÁLISIS Y GESTIÓN DE PROBLEMAS
- 08 PARAMETROS DE OPERACIÓN
- 10 OTROS ELEMENTOS UTILES
- 11 NOTAS



DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA



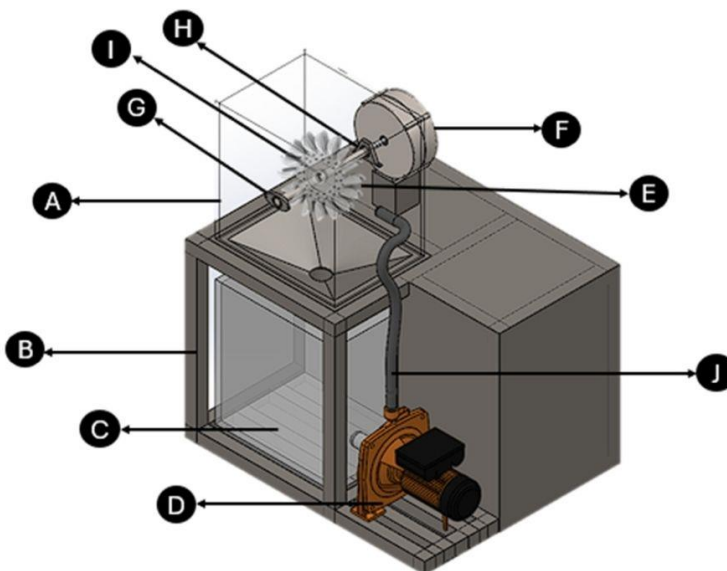
El módulo de turbina Pelton con generador de energía es una herramienta didáctica diseñada para el laboratorio de ingeniería mecánica del Instituto Tecnológico Superior de Guasave. Su propósito es reforzar los conocimientos en hidráulica, termodinámica y electricidad a través de una experiencia práctica.

El sistema simula la generación de energía renovable mediante el movimiento del agua, impulsada por una bomba periférica hacia la turbina Pelton, lo que activa un generador para producir electricidad. Además, incluye instrumentos de medición como un multímetro para el análisis de variables del proceso.

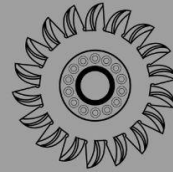
Este módulo recrea el funcionamiento de una pequeña central hidroeléctrica en un entorno controlado y seguro, permitiendo a los estudiantes aplicar conceptos teóricos en la práctica y prepararse para desafíos industriales en generación de energía, sistemas hidráulicos y diseño de maquinaria.

LISTA DE COMPONENTES: IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES

- A. Carcasa de protección
- B. Estructura soldada
- C. Tanque
- D. Bomba periférica
- E. Turbina tipo Pelton
- F. Generador
- G. Chumacera de pared
- H. Chumacera de piso
- I. Eje
- J. Conexiones hidráulicas



ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES



NOMBRE	IMAGEN	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
CARCAZA DE PROTECCIÓN		Protege la turbina de elementos exteriores que puedan dañar el sistema además de evitar las filtraciones de agua al exterior.	Acrílico
ESTRUCTURA SOLDADA		Brinda protección a distintos elementos, además de ser el soporte de los elementos clave del módulo.	Perfil cuadrado de 1.5 in de acero
TANQUE		Almacena el fluido de trabajo del módulo (agua).	Plástico
BOMBA PERIFÉRICA		Absorbe el fluido de trabajo del tanque donde este es impulsado hacia la turbina para generar revoluciones.	Hierro o acero inoxidable
TURBINA		Transforma la energía mecánica del agua en revoluciones.	PLA
GENERADOR		Transforma la energía mecánica del agua en energía eléctrica.	Plástico
CHUMACERA DE PARED		Ayuda a generar el movimiento del eje.	Acero o hierro fundido
CHUMACERA DE PISO		Ayuda a generar el movimiento del eje.	Acero o hierro fundido
EJE		Genera las revoluciones con movimiento relativo.	CPVC
CONEXIONES HIDRÁULICAS		Conducen el fluido de trabajo desde el tanque hacia la turbina.	CPVC

RELACIÓN DE LAS PIEZAS

ELEMENTOS DE SUJECCIÓN

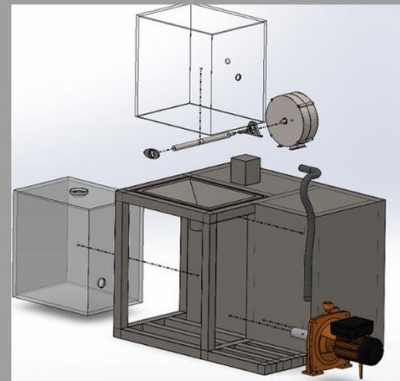
La carcasa de protección (A) alberga los elementos de sujeción dentro de esta se encuentra el eje (I), chumacera de pared (G), chumacera de piso(H) y la turbina tipo Pelton (E).

ELEMENTOS DE SOPORTE Y PROTECCIÓN

La estructura soldada (B), brinda soporte a distintos elementos tales como la bomba periférica (D), el tanque (C), la carcasa de protección con todos los elementos de sujeción (A), y el generador (F), manteniendo unidos todos los elementos.

ELEMENTOS HIDRÁULICOS

La bomba periférica (D), impulsa y absorbe el agua con ayuda de las conexiones hidráulicas (J), las cuales conducen el fluido de trabajo gracias a su conexión con el tanque (C).



Identificación de las piezas más críticas o con mayor desgaste (piezas móviles, conjuntos mecánicos)

1-Turbina (E): Es el elemento principal que genera el movimiento transformando el flujo del agua en energía mecánica, está siempre se encuentra girando y en contacto con el agua, está totalmente expuesta al desgaste.

2-Bomba periférica (D): Este elemento es el encargado de la impulsión y absorción del agua, se encuentra en constante contacto con el agua, conforme el paso del tiempo se puede generar oxido y desgaste si no se mantiene activa lo que puede hacerla menos eficiente.

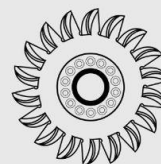
3-Chumacera de pared (G): Esta pieza es clave en la generación de las RPM, se encuentra en constante movimiento, es necesaria la lubricación constante en el área del balero, de igual manera esta se encuentra en total contacto con el agua lo que puede provocar oxidación.

4-Chumacera de piso (H): Esta pieza es clave en la generación de las RPM, se encuentra en constante movimiento, es necesaria la lubricación constante.

5-Eje (I): Se encuentra en constante movimiento lo que puede provocar desgaste.

6-Generador (F): Se encarga de la transformación de la energía mecánica del agua en energía eléctrica, al estar expuesto al exterior puede llenarse de polvo, desgastarse y dejar de funcionar correctamente.

ANÁLISIS Y GESTIÓN DE LOS PROBLEMAS



TIPOS DE FALLAS Y DIAGNOSTICO

Se abordan las diversas fallas que pueden presentarse en la máquina, las cuales pueden variar según su naturaleza y funcionamiento. Estas fallas pueden ser el resultado de distintos factores, como defectos en el diseño, el desgaste de componentes, fallos en el sistema eléctrico o mecánico, entre otros. Asimismo, se discute los métodos de diagnóstico más efectivos para su identificación y resolución. El análisis adecuado de las fallas es esencial para garantizar la operación continua y eficiente de las máquinas, minimizando tiempos de inactividad y evitando daños mayores.

TIPO DE FALLA	DEFINICIÓN
Fallas Mecánicas	Cualquier problema o mal funcionamiento que ocurre en los componentes o sistemas mecánicos de una máquina o dispositivo, lo cual impide que funcione correctamente o que realice su función de manera eficiente.
Fallas Eléctricas	Es cualquier interrupción o mal funcionamiento en los componentes eléctricos de un sistema o dispositivo que afecta su rendimiento o impide que opere correctamente.
Fallas Funcionales	Ocurre cuando el sistema o módulo no cumple con los requisitos operativos o las expectativas de desempeño, aunque sus partes mecánicas y eléctricas estén en buen estado.
Fallas Operativas	Ocurren durante la operación normal del equipo o sistema y pueden estar relacionadas tanto con problemas técnicos (mecánicos, eléctricos, funcionales) como con errores humanos o factores externos.

NOTA SOBRE LA IDENTIFICACIÓN DE CAUSAS DE FALLAS

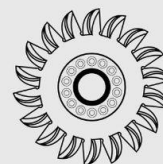
Las posibles causas de fallas descritas en este manual han sido recopiladas a partir de condiciones de operación frecuentes y experiencias previas con el módulo. No obstante, estas causas no representan un listado exhaustivo, ya que el comportamiento de los componentes puede variar según factores como el entorno, el uso, el mantenimiento previo, entre otros.

Por esta razón, es importante considerar que pueden existir otras causas no contempladas en este documento. El análisis debe complementarse con una inspección técnica adecuada, y si es necesario, apoyarse en criterios especializados para determinar con mayor precisión el origen del problema.

POSIBLES CAUSAS DE FALLAS

CAUSA	DESCRIPCIÓN
FUNCIONALES Y OPERATIVAS	
Flujo de agua	El rendimiento de la turbina Pelton puede verse afectado si el flujo de agua no es constante o adecuado. Un flujo demasiado bajo o irregular puede reducir la capacidad de generación de energía.
Fugas de agua	Las fugas en las tuberías o conductos pueden hacer que una cantidad menor de agua llegue a la turbina, lo que afecta su capacidad de generación de energía. Puede provocar pérdidas del recurso básico y un impacto negativo ambiental.
Falta de mantenimiento o limpieza	La acumulación de residuos o impurezas en las palas de la turbina o en las tuberías puede bloquear el flujo de agua.
Obstrucciones en las conducciones de agua	Pueden ocurrir bloqueos debido a la corrosión o al deterioro de las tuberías, que afectan el paso libre del agua.
MECÁNICAS	
Desalineación o montaje incorrecto de las piezas	Si la turbina no está correctamente alineada o mal montada, la transmisión de energía será ineficiente, lo que puede dañar los componentes del sistema. Además de propiciar elementos volátiles y vibración.
Desgaste de las palas o alabes	Con el tiempo, las palas de la turbina pueden sufrir desgaste debido al constante contacto con el agua y los impactos repetidos.
Daños en rodamientos o cojinetes	Puede ser causado por varias razones, como la falta de lubricación, sobrecarga, contaminación, desalineación del eje, vibraciones excesivas, temperaturas extremas, o el uso de rodamientos de baja calidad.
Sobrecarga en elementos	Cuando el sistema de la turbina Pelton opera con cargas mayores a las que los rodamientos fueron diseñados para soportar, estos pueden sufrir daño.
Falta de lubricación	La lubricación insuficiente o la ausencia de la misma puede generar fricción excesiva entre las superficies de los rodamientos, lo que provoca un calentamiento anormal y el desgaste prematuro de los componentes.
ELÉCTRICAS	
Generador o sistema eléctrico inadecuado	Si el generador que está conectado a la turbina no está dimensionado adecuadamente para la energía generada, o si presenta fallas eléctricas, el sistema no podrá convertir de manera eficiente la energía mecánica en energía eléctrica y puede terminar en corto circuito.
Protección insuficiente contra sobrecarga o cortocircuitos.	Si el sistema no tiene dispositivos adecuados como interruptores automáticos o fusibles que protejan contra estas situaciones, un aumento inesperado de corriente o un cortocircuito pueden dañar los componentes eléctricos.
Conexiones o cables eléctricos dañados	Pueden presentar fisuras, desgastes o mal aislamiento.
OTRAS	
Externas	Como la temperatura del agua, la calidad del agua (presencia de impurezas o partículas) o variaciones en el caudal pueden afectar el rendimiento de la turbina Pelton.
Educación o capacitación inadecuada	Si los usuarios del módulo didáctico no comprenden cómo operar correctamente la turbina Pelton, pueden cometer errores que afecten el rendimiento del sistema.

ANÁLISIS Y GESTIÓN DE LOS PROBLEMAS



MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO

Los métodos de diagnóstico son técnicas y procedimientos utilizados para identificar el estado, funcionamiento o fallas de un sistema, equipo o proceso. Su propósito es detectar anomalías, prever problemas y garantizar un rendimiento óptimo.

¿Para qué sirven?

- Identificación de fallas: Permiten detectar problemas en componentes mecánicos, eléctricos o electrónicos antes de que generen fallos mayores.
- Mantenimiento preventivo: Ayudan a planificar intervenciones antes de que ocurran averías, reduciendo costos y tiempos de inactividad.
- Optimización del rendimiento: Facilitan ajustes y mejoras en el sistema para garantizar su eficiencia y prolongar su vida útil.
- Seguridad: Previenen riesgos al detectar posibles fallos que podrían causar accidentes.

FALLA	MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO
Fallas funcionales y operativas	• Monitoreo del flujo con medidores de caudal y revisión de la presión en la entrada. • Inspección visual de tuberías y conductos. • Pruebas de presión. • Uso de cámaras térmicas. • Pruebas funcionales.
Fallas mecánicas	• Uso de medidores de alineación. • Inspección visual de velocidad y la energía generada. • Sensores de vibración y medición de temperatura. • Monitoreo de las cargas aplicadas con sensores de presión y torque. • Inspección de niveles de lubricante y uso de sensores de temperatura.
Fallas eléctricas	• Uso de multímetros y analizadores de calidad de energía. • Verificación de interruptores automáticos y fusibles, y pruebas de carga. • Inspección visual, pruebas de continuidad y termómetros infrarrojos.
Otras fallas	• Uso de sensores de caudal, y análisis del agua. • Auditorías, entrevistas y observación directa de los usuarios.

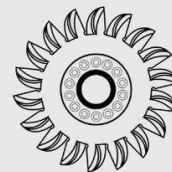
CORRECCIÓN DE FALLAS

Tipo de Falla	Métodos de Reparación	Herramientas Necesarias	Tiempo Estimado de Reparación
FALLAS FUNCIONALES Y OPERATIVAS			
Ajuste en el flujo de agua	Ajuste de válvulas para regular el flujo.	- Llaves ajustables, medidores de caudal, manómetros.	1-2 horas
Fugas de agua	Reemplazo de tuberías o juntas defectuosas.	- Llave inglesa, selladores, cámaras de presión.	2-4 horas
Falta de mantenimiento o limpieza	Limpieza de palas, tuberías o filtros.	- Cepillos, mangueras de alta presión, soluciones de limpieza.	1-3 horas
Obstrucciones en las conducciones de agua	Desbloqueo de las tuberías, reemplazo de componentes dañados.	- Herramientas de corte, mangueras, cámaras de inspección.	2-3 horas
MECÁNICAS			
Desalineación o montaje incorrecto de las piezas	Reajuste de piezas, alineación del sistema.	- Medidores de alineación, destornilladores, llaves.	1-2 horas
Desgaste de las palas o alabes	Reemplazo de las palas desgastadas.	- Llaves, destornilladores, piezas de repuesto.	3-5 horas
Daños en rodamientos o cojinetes	Reemplazo de rodamientos o cojinetes dañados.	- Herramientas para extracción de rodamientos, lubricantes.	3-4 horas
Sobrecarga en elementos	Reajuste de carga, verificación del sistema de protección.	- Medidores de presión, multímetros, testers de carga.	1-2 horas
Falta de lubricación	Aplicación de lubricante adecuado.	- Bombas de lubricación, aceites, grasa, medidores de temperatura.	1 hora
ELÉCTRICAS			
Generador o sistema eléctrico inadecuado	Reemplazo o reparación de generador.	- Multímetros, test de continuidad, destornilladores.	3-4 horas
Protección insuficiente contra sobrecarga o cortocircuitos.	Instalación de interruptores automáticos o fusibles adecuados.	- Multímetros, fusibles, interruptores.	1-2 horas
Conexiones o cables eléctricos dañados	Reemplazo de cables, reparaciones de conexiones.	- Pelacables, multímetro, soldador, cables de repuesto.	2-3 horas
OTRAS			
Temperatura o calidad del agua	Ajustes en el sistema de enfriamiento o filtración.	- Termómetros, sensores de caudal, filtros.	2-3 horas
Educación o capacitación inadecuada	Capacitación a los operadores.	- Material educativo, equipo de demostración.	1-2 horas (según el nivel de capacitación).

NOTA IMPORTANTE SOBRE LA CORRECCIÓN DE FALLAS

Los procedimientos y datos presentados en este manual para la identificación y corrección de fallas han sido elaborados con base en experiencias comunes y condiciones estándar de operación del módulo. Sin embargo, es importante considerar que **no abarcan la totalidad de posibles fallas o escenarios operativos**. Existen situaciones particulares que pueden requerir **diagnósticos adicionales y soluciones distintas a las aquí sugeridas**. Por lo tanto, se recomienda siempre realizar una evaluación técnica completa antes de aplicar cualquier medida correctiva, y considerar la posibilidad de consultar con personal especializado o el fabricante de los componentes involucrados en caso de presentarse una falla atípica.

ANÁLISIS Y GESTIÓN DE LOS PROBLEMAS



INSTALACIÓN

Para llevar a cabo prácticas efectivas con una turbina Pelton en un módulo didáctico, es esencial contar con instalaciones adecuadas que garanticen tanto la seguridad como el buen desempeño de las actividades. A continuación, se describen los aspectos más a tener en cuenta para realizar la instalación:

1. Área de trabajo y disposición de la turbina: El módulo debe contar con un espacio amplio y bien ventilado donde se pueda instalar la turbina Pelton de manera segura. Esto incluye una estructura sólida para soportar el peso de la turbina y sus componentes, así como el acceso adecuado para que los estudiantes puedan realizar las prácticas sin restricciones. El espacio debe permitir un fácil acceso para el montaje, desmontaje y mantenimiento de las piezas.

2. Procedimiento claro para reinstalar partes desmontadas o realizar un montaje inicial: Esto incluye la disposición de las piezas, herramientas y repuestos necesarios en un lugar accesible, así como un diagrama de montaje para facilitar el trabajo. El procedimiento debe estar basado en las especificaciones del fabricante y permitir a los estudiantes entender las fases del proceso, desde la alineación inicial hasta la verificación de la integridad de las piezas tras el montaje.

3. Verificación de alineación, ajustes y conexiones: Una vez realizada la reparación o el montaje de la turbina Pelton, es crucial verificar la correcta alineación de los componentes, como el rotor, las palas y el sistema de transmisión. También se deben revisar los ajustes de las conexiones eléctricas para asegurar que no haya fugas, vibraciones o fallos en el sistema.

4. Uso de manuales técnicos o especificaciones del fabricante: Para garantizar la precisión y la seguridad en todas las actividades relacionadas con la turbina Pelton, es fundamental contar con los manuales técnicos y las especificaciones del fabricante de cada uno de sus componentes.

5. Equipos de medición y diagnóstico: Es importante disponer de equipos de medición y diagnóstico que permitan monitorizar el rendimiento de la turbina, tanto antes como después de realizar cualquier reparación.

6. Tiempo estimado para la reparación y mantenimiento: Esto implica asignar tiempos adecuados para el diagnóstico, desmontaje, reparación y pruebas de la turbina y demás elementos.

ACCIONES CORRECTIVAS

Protocolos para disminuir la probabilidad de fallas en el futuro

- Inspecciones periódicas: Realizar revisiones regulares de las piezas clave, como palas, rodamientos, conexiones eléctricas y tuberías, para detectar desgastes, fugas o daños.
- Mantenimiento preventivo: Establecer un calendario para la limpieza de las conducciones de agua, verificación de lubricante y revisión de componentes eléctricos y mecánicos.
- Control de calidad del agua: Monitorear variables como temperatura, caudal y presencia de impurezas para evitar obstrucciones y daños en la turbina.
- Monitoreo de condiciones operativas: Usar sensores para controlar parámetros clave como flujo de agua, vibraciones y temperatura, y actuar si hay anomalías.
- Protocolos de reparación rápidos: Definir procedimientos claros para identificar y corregir fallas operativas o mecánicas de manera rápida.

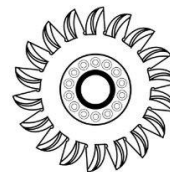
Actividades específicas como recalibraciones o ajustes periódicos

- Recalibración del sistema de control de flujo de agua: Ajustar válvulas y verificar el flujo para mantener el rango óptimo de operación de la turbina.
- Ajuste de la alineación de la turbina: Realizar ajustes periódicos para evitar desalineaciones y desgastes prematuros.
- Reajuste de rodamientos y cojinetes: Comprobar y reajustar la tensión de los rodamientos, y reemplazar los desgastados.
- Revisión y ajuste de la parte eléctrica: Verificar el sistema eléctrico y calibrar dispositivos de protección, como fusibles e interruptores.
- Pruebas de rendimiento del generador: Realizar pruebas periódicas para garantizar que el generador esté correctamente dimensionado y operando adecuadamente.
- Verificación de lubricación: Ajustar y verificar los niveles de lubricante en rodamientos y componentes móviles.

Capacitación recomendada para el personal encargado del mantenimiento

- Formación básica sobre la turbina Pelton: Capacitar al personal en el funcionamiento, componentes y características de la turbina.
- Procedimientos de mantenimiento preventivo: Enseñar protocolos de mantenimiento, incluyendo inspecciones y limpieza de componentes.
- Técnicas de diagnóstico y reparación: Instruir en la identificación y reparación de fallas comunes en sistemas mecánicos, hidráulicos y eléctricos.
- Uso de herramientas y equipos de medición: Capacitar en el uso adecuado de herramientas como calibradores, medidores de torque y sensores de temperatura.
- Seguridad laboral y manejo de equipos: Instruir sobre seguridad laboral, uso de equipo de protección personal (EPP) y manejo adecuado de herramientas.
- Capacitación en gestión de calidad del agua: Enseñar cómo controlar la calidad del agua, incluyendo caudal, temperatura y presencia de impurezas.
- Capacitación continua: Establecer un programa para mantener al personal actualizado sobre nuevas tecnologías y mejores prácticas en el mantenimiento de turbinas Pelton.

PARAMETROS DE OPERACIÓN



PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO

MANTENIMIENTO		ACTIVIDADES
FRECUENCIA		
CORRECTIVO	Según fallas	Bomba: Cambio de sellos o rodamientos si hay ruido o fugas.
		Inversor: Sustitución de componentes dañados por sobrecarga.
PREVENTIVO	Semanal o mensual	Chumaceras: Cambio de rodamientos desgastados o desalineados.
		Turbina: Reparación o reemplazo de álabes dañados.
PREDICTIVO	Trimestral	Estructura: Reforzamiento de soldaduras si hay fatiga del material.
		Bomba periférica: Revisión de fugas, limpieza del filtro, inspección del sello mecánico.
		Inversor de 400 W: Verificación de conexiones eléctricas, limpieza de ventilación.
		Chumaceras: Lubricación si son con grasas, revisión de juego y desgaste.
		Turbina Pelton: Limpieza de álabes, revisión de boquillas y ajuste de tornillería.
		Estructura y carcasa: Inspección de soldaduras, limpieza de acrílico para evitar rayaduras.
		Bomba: Medición de presión y caudal para detectar pérdida de eficiencia.
		Inversor: Monitoreo de temperatura y consumo eléctrico.
		Chumaceras: Análisis de vibraciones para detectar desgaste en rodamientos.
		Turbina: Inspección con luz estroboscópica para ver desgaste en los álabes.

El mantenimiento es una parte fundamental para garantizar el funcionamiento óptimo, seguro y prolongado del módulo didáctico. En este manual se describen tres tipos principales de mantenimiento: correctivo, preventivo y predictivo, los cuales permiten anticiparse a fallos, corregir problemas existentes y optimizar el rendimiento de los componentes.

Cada tipo de mantenimiento se aplica según el estado y las necesidades específicas del equipo, considerando factores como la frecuencia de uso, las condiciones operativas y los niveles de desgaste. Esta clasificación facilita una gestión eficiente de los recursos técnicos y humanos, minimizando tiempos de inactividad y asegurando que el módulo esté siempre disponible para su propósito educativo.

TIPOS DE LUBRICANTES Y COMBUSTIBLES

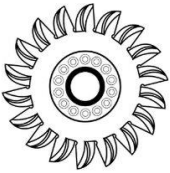
NOTA IMPORTANTE SOBRE LUBRICANTES Y COMBUSTIBLES:

Los lubricantes mencionados en este manual son recomendaciones generales basadas en las características típicas de los componentes utilizados, como chumaceras y rodamientos. La selección final debe ajustarse a las condiciones específicas de uso y disponibilidad local.

En cuanto a los combustibles, estos solo aplican en caso de que se realicen modificaciones al módulo, como la incorporación de un generador de combustión interna u otros sistemas auxiliares que requieran una fuente de energía externa. Actualmente, el módulo no utiliza combustibles directamente en su funcionamiento estándar.

		VISCOSIDAD	COMPOSICIONES QUÍMICAS	COMPATIBILIDAD
LUBRICANTES	Grasa multipropósito con litio	Depende del grado NLGI (Ejemplo: NLGI 2 = 150-220 cSt a 40°C)	Base de aceite mineral espesante de litio + aditivos anticorrosivos.	Ideal para chumaceras y rodamientos, resistente al agua y altas temperaturas.
	Aceite hidráulico ISO 46	46 cSt a 40°C	Aceite base mineral + aditivos anti desgaste y antioxidantes.	Se usa en bombas hidráulicas y sistemas con alta presión. Puede ser útil si la bomba periférica requiere lubricación con aceite hidráulico.
	Aceite sintético para rodamientos (PAO - Polialfaolefina)	Variable (Ejemplo: ISO 68 = 68 cSt a 40°C)	Base sintética de polialfaolefinas con aditivos antifricción.	Mayor estabilidad térmica que los aceites minerales, ideal para aplicaciones con variaciones de temperatura.
COMBUSTIBLES	Diésel B5	2-4 cSt a 40°C	95% diésel fósil + 5% biodiésel.	Puede ser usado si el módulo tiene algún generador diésel para alimentar el inversor.
	Gasolina de 95 octanos	~0.5 cSt a 40°C	Mezcla de hidrocarburos con aditivos detergentes.	Se usa en motores pequeños de combustión interna (si el módulo tiene alguno auxiliar).
	Etanol (E85 - 85% Etanol, 15% Gasolina)	~1.2 cSt a 40°C	Alcohol etílico con hidrocarburos.	Puede ser usado en motores diseñados para combustibles flexibles.

PARAMETROS DE OPERACIÓN



PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO

IMPORTANCIA DE LOS PARÁMETROS CLAVE EN LA PREVENCIÓN DE FALLAS

La velocidad, carga, presión y temperatura son parámetros fundamentales en el funcionamiento del módulo didáctico. Alteraciones en cualquiera de ellos pueden ser indicio de un funcionamiento anómalo o una falla inminente.

Es por ello que el monitoreo constante y la correcta interpretación de estos valores resultan esenciales para un mantenimiento preventivo efectivo.

Es importante señalar que los valores y métodos correctivos sugeridos en este manual son guías generales basadas en condiciones de operación típicas. En ciertos casos, puede ser necesario aplicar soluciones diferentes o realizar ajustes específicos según la magnitud y origen del desvío.

A continuación, se detallan los parámetros clave y los métodos comunes para corregir desviaciones:

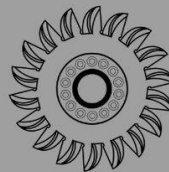


CONCEJOS PARA EL PERSONAL EN CASO DE EMERGENCIA

- Siempre mantener un registro detallado de las inspecciones y eventos anormales para identificar patrones que puedan ayudar a prevenir problemas futuros.
- Realizar inspecciones periódicas de todos los componentes, especialmente los de alto desgaste, como las chumaceras y los sellos de la bomba.
- Si no se está seguro de la causa del fallo o la anomalía, detener el sistema y realizar una inspección profunda antes de reanudar la operación.

PARAMETROS CLAVE		
	VALORES MÁXIMOS ANTES DEL FALLO	MÉTODOS DE CONTROL
VELOCIDAD	La velocidad máxima de operación dependerá de la turbina Pelton, típicamente una turbina Pelton tiene una velocidad máxima que no debe superar las 3000 RPM para evitar daños mecánicos. Algunas turbinas de pequeña escala operan a velocidades menores, como 1500 RPM.	Se puede usar un controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo) para mantener la velocidad dentro de un rango seguro. Monitoreo de RPM: Utiliza un sensor de velocidad para monitorear la velocidad en tiempo real y activar alarmas si se excede el límite máximo.
CARGA (POTENCIA)	La carga máxima que la turbina puede manejar dependerá de su potencia nominal y la eficiencia de la bomba periférica. Para una pequeña turbina Pelton, este valor puede oscilar entre 500 W y 5 kW, dependiendo de la capacidad de la bomba y el diseño.	Control de caudal de agua: Ajusta el caudal de agua para evitar que la turbina reciba más energía de la que puede manejar.
PRESIÓN	En un sistema con turbinas Pelton, la presión de trabajo puede variar dependiendo del diseño, pero generalmente no debe superar los 10 a 15 bar en sistemas pequeños. Los sistemas más grandes pueden trabajar hasta 30 bar o más.	Control PID para presión: Implementa un sistema PID para ajustar la válvula o la bomba y mantener la presión estable.
TEMPERATURA	La temperatura máxima de funcionamiento depende de los materiales específicos de tu turbina y componentes asociados, pero en general: • Para aceites y lubricantes: No debe superar los 80-90°C para aceites minerales o sintéticos. • Para componentes mecánicos (como chumaceras): Las temperaturas superiores a 100°C pueden causar fallo en los rodamientos o desgaste acelerado.	Sensores de temperatura: Instala sensores de temperatura en los cojinetes, bomba y turbina para monitorear en tiempo real.

OTROS ELEMENTOS UTILES



PROCEDIMIENTO DE SEGURIDAD PARA MANIPULAR COMPONENTES CRÍTICOS O TRABAJAR EN CONDICIONES RIESGOSAS

1. Uso de Equipos de Protección Personal (EPP):

- Guantes de seguridad: Para evitar lesiones al manipular componentes afilados o calientes.
- Casco de seguridad: Para proteger la cabeza de posibles caídas de objetos.
- Gafas de seguridad o protector facial: Para proteger los ojos de partículas voladoras, salpicaduras o daños por herramientas eléctricas.
- Zapatos de seguridad con punta de acero: Para prevenir lesiones en los pies por caídas o impactos.
- Ropa de trabajo adecuada: Ropa ajustada y sin partes sueltas para evitar que se enreden en las máquinas.

2. Desconexión de energía:

- Antes de realizar cualquier trabajo en componentes eléctricos o mecánicos, asegúrese de desconectar el sistema de energía para evitar accidentes eléctricos o movimientos inesperados de las piezas.

3. Revisión y bloqueo de válvulas:

- En el caso de componentes hidráulicos o conductos de agua, es importante cerrar y bloquear las válvulas para evitar fugas o presiones no controladas.

4. Uso de herramientas adecuadas:

- Utilice herramientas específicas para cada tarea y asegúrese de que estén en buen estado. No utilice herramientas defectuosas o inadecuadas que puedan generar accidentes.

5. Procedimiento de levantamiento y manipulación de piezas pesadas:

- Siempre utilice equipos de levantamiento adecuados (como grúas o poleas) para manipular componentes pesados, y asegúrese de que estén bien asegurados antes de levantarlos.

6. Monitoreo de condiciones ambientales:

- Asegúrese de que el área de trabajo esté bien ventilada si se están utilizando productos químicos o si hay riesgo de acumulación de gases peligrosos.
- Mantenga un ambiente limpio y libre de obstáculos para evitar accidentes por resbalones o caídas.

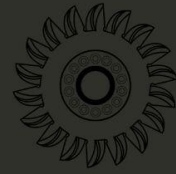
7. Entrenamiento continuo en seguridad:

- Realice capacitaciones periódicas sobre procedimientos de seguridad, el uso de EPP y la correcta manipulación de componentes críticos.

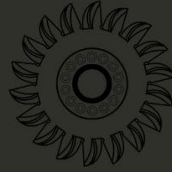
INSPECCIONES ADICIONALES EN CONDICIONES ESPECIFICAS

EN CASO DE SOBRECALENTAMIENTO (TEMPERATURA ELEVADA)	
ACCIONES DE EMERGENCIA	INSPECCIONES ADICIONALES
• Desconectar la turbina inmediatamente para evitar daños por sobrecalentamiento en los componentes. • Verificar el aceite o lubricante: Asegúrate de que el aceite esté dentro de los parámetros recomendados de viscosidad. Si el aceite está demasiado delgado o ha perdido propiedades, cámbialo de inmediato.	• Sensor de temperatura: Inspecciona los sensores de temperatura para asegurarte de que no están fallando y proporcionando lecturas incorrectas.
EN CASO DE PÉRDIDA DE PRESIÓN (FUGAS O PRESIÓN BAJA)	
ACCIONES DE EMERGENCIA	INSPECCIONES ADICIONALES
• Desconectar el sistema hidráulico si notas que la presión baja por debajo de los límites operativos seguros. Esto evitará que la turbina funcione de manera ineficiente. • Revisar las válvulas y mangueras para detectar posibles fugas. Las fugas pueden hacer que el sistema pierda presión rápidamente.	• Verificación de conexiones y sellos: Inspecciona todas las conexiones de tuberías y los sellos para detectar posibles fugas.
EN CASO DE SOBRECARGA (CARGA EXCESIVA EN EL SISTEMA)	
ACCIONES DE EMERGENCIA	INSPECCIONES ADICIONALES
• Reducir la carga, si la carga está por encima de los niveles máximos recomendados para el sistema (más de lo que el inversor o la bomba pueden manejar), reduce inmediatamente la carga para evitar daños. • Desconectar el inversor si está siendo sobrecargado.	• Comprobar la eficiencia de la bomba periférica: Si la bomba no está proporcionando el caudal correcto, podría estar forzando el sistema.
EN CASO DE FALLO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO (FALLOS EN INVERSORES O CONEXIONES ELÉCTRICAS)	
ACCIONES DE EMERGENCIA	INSPECCIONES ADICIONALES
• Desconectar la alimentación eléctrica del sistema para evitar daños al inversor o a otros componentes sensibles. • Revisar el inversor: Si el inversor muestra señales de fallo (ruidos extraños, sobrecalentamiento), inspecciona su estado y verifica los cables de conexión.	• Inspección visual de cables y conexiones: Asegúrate de que no haya cables sueltos, cortocircuitos o señales de desgaste. • Comprobación de protecciones eléctricas: Verifica que todos los sistemas de protección estén funcionando y no hayan disparado.
EN CASO DE VIBRACIONES INUSUALES (DESBALANCE O MAL FUNCIONAMIENTO DE LA TURBINA)	
ACCIONES DE EMERGENCIA	INSPECCIONES ADICIONALES
• Detener el sistema si detectas vibraciones excesivas, detén la turbina inmediatamente. Las vibraciones pueden ser indicativas de desbalance, fallos en los rodamientos o daños en las palas. • Revisar las chumaceras: Verifica si las chumaceras (de pared y de piso) están dañadas o desgastadas. Un mal funcionamiento de estas podría causar un desbalance.	• Revisión de los alabes de la turbina: Asegúrate de que los alabes de la turbina no estén dañados ni obstruidos, ya que esto puede afectar su rendimiento y causar vibraciones. • Revisar la alineación de ejes y rodamientos: Verifica que el eje de la turbina esté correctamente alineado con los rodamientos para evitar vibraciones.
EN CASO DE CAMBIOS INESPERADOS EN EL RENDIMIENTO (VARIACIÓN EN LA SALIDA DE ENERGÍA)	
ACCIONES DE EMERGENCIA	INSPECCIONES ADICIONALES
• Ajustar el caudal de agua: Si el rendimiento de la turbina disminuye debido a un cambio en el caudal de agua, ajusta la entrada de agua para asegurar una operación óptima.	• Verificar el flujo de agua: Asegúrate de que no haya obstrucciones en las tuberías que estén limitando el flujo de agua hacia la turbina. • Revisar el sistema de control: Asegúrate de que el sistema de control esté funcionando correctamente y responda bien a los cambios en las condiciones de operación.

NOTAS



NOTAS



XS



CONTACTANOS

673 147 8864 | Sharonaguilar2311@gmail.com

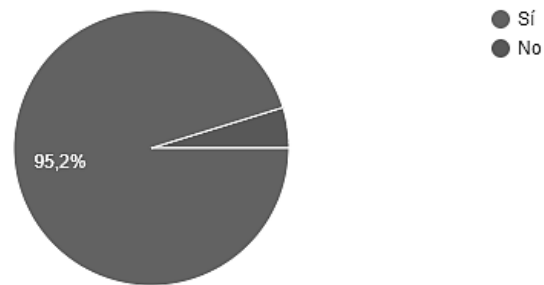
663 211 3083 | Xiomaraheredia80@gmail.com

ó Hable directamente con nuestro asesor M.I. Malcom
Irving Villanueva Portugal

7.6 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

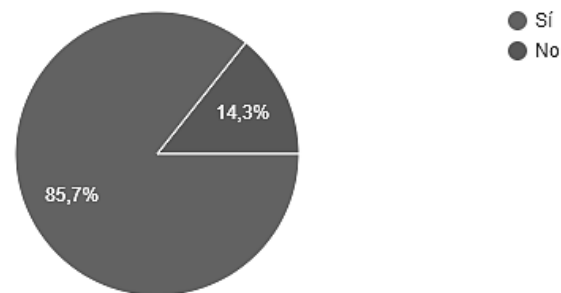
1. ¿Considera usted que la implementación de un módulo didáctico de turbinas Pelton sería beneficioso para el entendimiento práctico de las máquinas de fluidos incompresibles?

21 respuestas



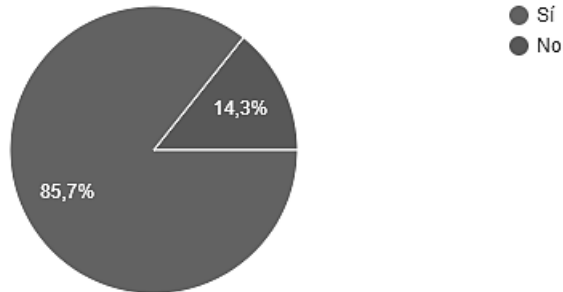
2. ¿Cree que la falta de material práctico como un módulo de turbinas Pelton afecta su aprendizaje en la materia de máquinas de fluidos incompresibles?

21 respuestas



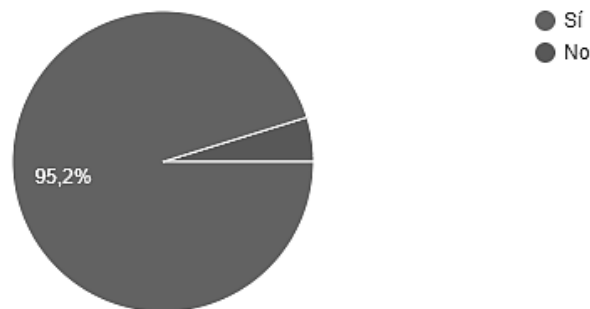
3. ¿Piensa que la experiencia directa con un módulo de turbinas Pelton ayudaría a consolidar los conocimientos teóricos adquiridos en clase?

21 respuestas



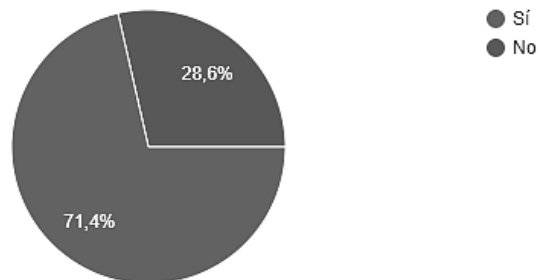
4. ¿Está de acuerdo con que la inversión en un módulo de turbinas Pelton es justificable por los beneficios educativos que aportaría?

21 respuestas

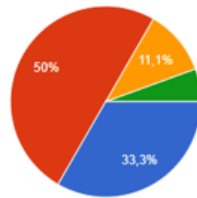


5. ¿Le gustaría participar en el diseño y fabricación de un módulo didáctico de turbinas Pelton como parte de su formación académica?

21 respuestas

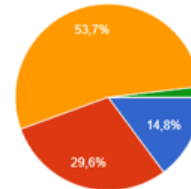


Semestre
54 respuestas



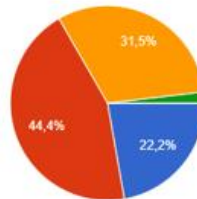
¿Cómo calificas tu conocimiento en el área de hidráulica?
54 respuestas

• Primero
• Tercero
• Quinto
• Séptimo
• Noveno



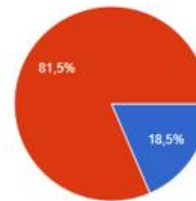
• Muy bajo
• Bajo
• Medio
• Alto
• Muy alto

¿Qué nivel de conocimiento tienes sobre turbinas hidráulicas en general?
54 respuestas



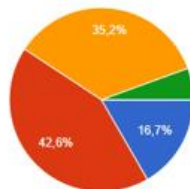
• Muy bajo
• Bajo
• Medio
• Alto
• Muy alto

¿Conoces el principio de funcionamiento de una turbina Pelton?
54 respuestas



• Sí
• No

¿Qué nivel de conocimiento tienes sobre los instrumentos de medición utilizados en hidráulica?
54 respuestas



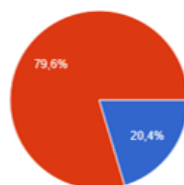
• Muy bajo
• Bajo
• Medio
• Alto
• Muy alto

¿Conoces la importancia de medir el caudal y la presión en sistemas hidráulicos?
54 respuestas



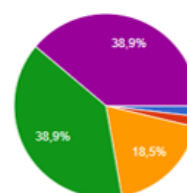
• Sí
• No
• Solo en teoría

¿Has trabajado anteriormente con bombas hidráulicas en prácticas o proyectos?
54 respuestas



• Sí
• No

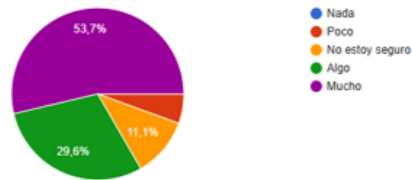
¿Crees que el módulo de prácticas es más interactivo en comparación con las clases teóricas tradicionales?
54 respuestas



• Totalmente en desacuerdo
• En desacuerdo
• Neutral
• De acuerdo
• Totalmente de acuerdo

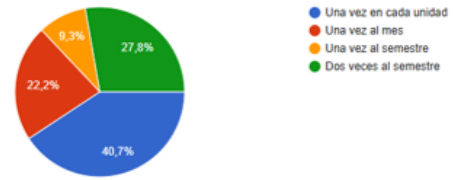
¿Crees que el módulo de prácticas aumentará tu interés por el área de la hidráulica?

54 respuestas



¿Con qué frecuencia consideras que deberías tener acceso al módulo de práctica para reforzar el conocimiento teórico?

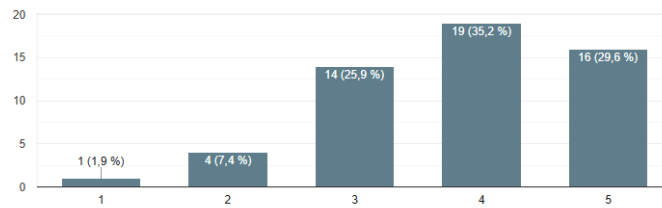
54 respuestas



¿Consideras que comprender el proceso de conversión de energía hidráulica a energía eléctrica en turbinas es importante para tu formación profesional?

[Copiar gráfico](#)

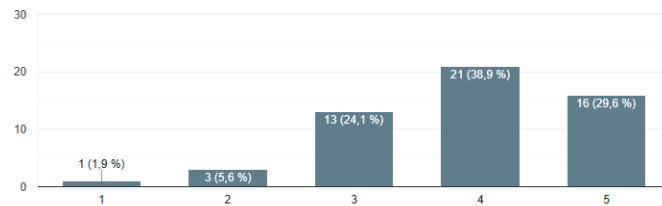
54 respuestas



¿Qué tan importante consideras que es la implementación de este tipo de módulos didácticos en el aprovechamiento de recursos renovables a nivel local?

[Copiar gráfico](#)

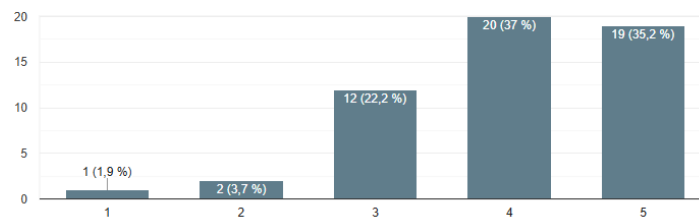
54 respuestas



¿Cuánto consideras que una práctica en el módulo de turbina Pelton mejorará tu comprensión del tema?

[Copiar gráfico](#)

54 respuestas



7.7 EVIDENCIA DE PRUEBAS

Anexo 21

Demostración de funcionamiento a alumnos del área de ciencias mecánicas.



Anexo 22

Pruebas de funcionamiento con alumnos.



ANÁLISIS DE COSTOS

[illegible]

WWW.CAPLITERVUE.ONLINE

MARIEL AL EJANDRA URÍAS CONTRERAS

PLASTICOS Y RESINAS DEL NOROESTE
OBREGON Y GUERRERO 220 OTE
GUASAVE, SIN.
Tel.(687)8722566 R.F.C. PRN-790901-IP9

=====

FECHA: 05/12/2024 OPERACION:FA-1905576
TURNO 2: ILSE RUBIO (CAJERO 2)

=====

PUBLICO EN GENERAL

Ticket: FA09019055765

=====

CODIGO	CANTIDAD	DESCRIP.	IMPORTE
0716-1	1.00		
ENVASE 50 LTS TIPO C3 TAPON NE			
PU.	349.00		349.00

SUB-TOTAL:\$ 349.00

I.V.A.: 0.00

TOTAL:\$ 349.00

Efectivo-01-

INCLUYE IEPS POR: - 0.00
TRESCIENTOS CUARENTA Y NUEVE PESOS
00/100 M.N.

Solicite su Factura dentro del Mes de
Compra, no se expediran Facturas de
Meses Anteriores, Gracias por su Visita.