

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO PARA EL MONITOREO DE UNA TURBINA HIDRÁULICA

Vicente Paul Astudillo Cortez

paul.astudillo@ister.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4125-2349>

Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui

Pablo Cesar Catota Ocapana

pablo.catota@ister.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3179-4897>

Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui

Rommel Xavier Valencia Moya

rommel.valencia@ister.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6919-8284>

Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui

Recibido: 20/08/24

Aceptado: 15/10/24

Publicado: 01/01/25

RESUMEN

Este proyecto se enfoca en el diseño e implementación de un módulo didáctico para simular y analizar el funcionamiento de una turbina Pelton, con el fin de evaluar su desempeño bajo diferentes condiciones de caudal. El módulo incluye una bomba sumergible de 1.5 HP, un reservorio de 40 litros y una cámara que alberga los álabes de la turbina. Se integran sensores para medir corriente, voltaje y caudal, cuyos datos se visualizan en tiempo real mediante una interfaz gráfica interactiva. El sistema permite ajustar el caudal de agua entre 10 y 230 l/s a través de una válvula de paso, lo que posibilita un control preciso sobre la velocidad del flujo de agua. Este ajuste es crucial para observar cómo el caudal influye en el rendimiento de la turbina Pelton, que puede generar hasta 93.60 vatios de potencia. Este módulo ofrece a los estudiantes una experiencia educativa práctica, permitiéndoles analizar y comprender los principios fundamentales de la generación de energía hidráulica renovable. Además, facilita el estudio detallado de la relación entre caudal y rendimiento, proporcionando una herramienta valiosa para el aprendizaje y la evaluación de sistemas hidroeléctricos.

PALABRAS CLAVE: generación hidroeléctrica, turbina Pelton, adquisición de datos, módulo didáctico.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A MODULE FOR THE MONITORING OF A HYDRAULIC TURBINE

ABSTRACT

This project focuses on the design and implementation of a didactic module to simulate and analyze the operation of a Pelton turbine, aimed at evaluating its performance under different flow conditions. The module includes a 1.5 HP submersible pump, a 40-liter reservoir, and a chamber that houses the turbine blades. Sensors are integrated to measure current, voltage, and flow rate, with data displayed in real-time through an interactive graphical interface. The system allows the water flow to be adjusted between 10 and 230 l/s using a control valve, enabling precise regulation of the water flow velocity. This adjustment is crucial for observing how flow rate affects the performance of the Pelton turbine, which can generate up to 93.60 watts of power. This module provides students with a practical educational experience, allowing them to analyze and understand the fundamental principles of renewable hydraulic energy generation. Additionally, it facilitates the detailed study of the relationship between flow rate and performance, offering a valuable tool for learning and evaluating hydroelectric systems.

KEY WORDS: hydroelectric generation, Pelton turbine, data acquisition, didactic module.

1. INTRODUCCIÓN

Los módulos didácticos tienen un aspecto fundamental en el ámbito académico, ya que facilitan un proceso de enseñanza-aprendizaje organizado y estructurado, beneficiando tanto a docentes como a estudiantes. Estos módulos hacen más accesibles temas complejos al descomponerlos en unidades sencillas, facilitando la asimilación de información nueva y su posterior retención. Además, los docentes pueden adaptar y enriquecer los módulos para satisfacer las necesidades específicas de sus estudiantes y cumplir con los estándares educativos vigentes. Un diseño efectivo de módulos educativos incorpora elementos interactivos, como contenidos multimedia, actividades prácticas y ejemplos que simulan situaciones del mundo real, con el propósito de motivar a los estudiantes a aprender y profundizar en el tema.

La incorporación de módulos didácticos en las carreras tecnológicas es esencial para el proceso de aprendizaje, ya que permite a los estudiantes practicar y experimentar con las magnitudes físicas que afectan el funcionamiento de un generador hidráulico en situaciones reales. Estos elementos facilitan la comprensión profunda y aplicada de conceptos, lo que es crucial para la formación práctica en estas disciplinas. Es relevante mencionar que, en Ecuador, aproximadamente el 78% de la energía consumida a nivel nacional proviene de fuentes hidroeléctricas (Cenace, 2024). En este contexto, se han llevado a cabo diversos estudios, investigaciones y proyectos en el país, que contribuyen a enriquecer el aprendizaje de los estudiantes y mejorar su comprensión en el área de la energía hidroeléctrica (Guastay Cajo, 2020; Reyes Soledispa & Vélez Vera, 2022).

La energía hidráulica es una fuente renovable y sostenible que ha mostrado ser muy eficiente en la generación de energía eléctrica. Diversos estudios (Hurtado Paspuel & Castro Verdezoto, 2023; Romero et al., 2024) han evidenciado que la implementación de turbinas hidráulicas a pequeña escala permite no solo identificar posibles fallas, sino también determinar los valores máximos de caudal y presión que estas turbinas pueden soportar.

Al implementar turbinas hidroeléctricas a escala, es posible evaluar la efectividad de su diseño mecánico y constructivo, incluyendo el número de álabes necesarios para incrementar la producción de energía, así como su forma y tamaño óptimos (Cuichan-Paucar et al., 2024; Quishpe Cholango, 2021). Para lograr este objetivo, es esencial realizar estudios basados en la recolección de datos mediante sensores de magnitudes eléctricas y no eléctricas, lo que permitirá identificar el comportamiento de la turbina a diferentes caudales. Esto ayudará a determinar la tasa de generación de energía en función del caudal.

En este contexto, existen diversos tipos de turbinas hidroeléctricas, cada una diseñada para optimizar la generación de energía en diferentes condiciones hidráulicas. Las turbinas Kaplan y Francis son comúnmente utilizadas en proyectos que manejan grandes volúmenes de agua y bajas alturas de caída (Pareja et al., 2023), debido a su capacidad para operar de manera eficiente en estas circunstancias. Por otro lado, las turbinas Pelton están diseñadas específicamente

Astudillo Cortez, V., Catota Ocapana, P. y Valencia Moya, R. (2025). Diseño e implementación de un módulo para el monitoreo de una turbina hidráulica. *Revista Cotopaxi Tech*, 5(1), 18-28.

<http://ojs.isuc.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/155>

enero - junio (2025) ISSN 2806-5573

para aprovechar caudales más bajos y alturas de caída elevadas (David et al., 2021), lo que las hace ideales para proyectos en terrenos montañosos. A diferencia de las turbinas de flujo axial o mixto, la turbina Pelton convierte la energía cinética del agua en energía mecánica de manera más efectiva en situaciones donde la presión es alta y el caudal es limitado (De Uso et al., 2022; Erazo López, 2022). Debido a su eficiencia y adaptabilidad en estos escenarios, la turbina Pelton se presenta como la opción más factible para proyectos hidroeléctricos que buscan maximizar la generación de energía en condiciones específicas de alta presión y bajo caudal (Ibarra et al., 2024).

Consecuentemente, una turbina hidroeléctrica a escala permite a los estudiantes desarrollar habilidades y conocimientos mediante la experimentación y la evaluación del rendimiento de la turbina bajo diferentes condiciones de caudal (Ud Din & Harmain, 2020). Los resultados han demostrado que la implementación y uso de turbinas hidroeléctricas a escala fomentó un incremento circunstancial de la motivación, y aprendizaje significativo (Auyes Khan et al., 2024). En general, la investigación muestra que la construcción de una turbina hidroeléctrica a escala puede ser una herramienta eficaz para el aprendizaje de carreras técnicas. Tomando en consideración, se propone realizar un diseño e implementar una turbina de generación hidroeléctrica con monitoreo de variables eléctricas y parámetros de caudal mediante un HMI desarrollado en LabVIEW. A través de la presente propuesta, los estudiantes podrán realizar diferentes prácticas y experimentos para la evaluación del rendimiento de la turbina hidroeléctrica mediante la manipulación del caudal de agua.

2. METODOLOGÍA

Este trabajo se estructura en tres secciones principales. La primera abarca la investigación exploratoria, que se llevó a cabo para revisar la bibliografía existente, basándose en gran medida en trabajos previos y publicaciones en revistas científicas, con el objetivo obtener el diseño de la turbina. Posteriormente se tiene una segunda etapa compuesta por una investigación experimental, en la cual se planteó el diseño y la implementación de la turbina de generación. Posteriormente, se describe cómo se llevaron a cabo varias evaluaciones para validar su funcionamiento adecuado. Finalmente, se presenta un desglose detallado de las etapas clave en el desarrollo del proyecto.

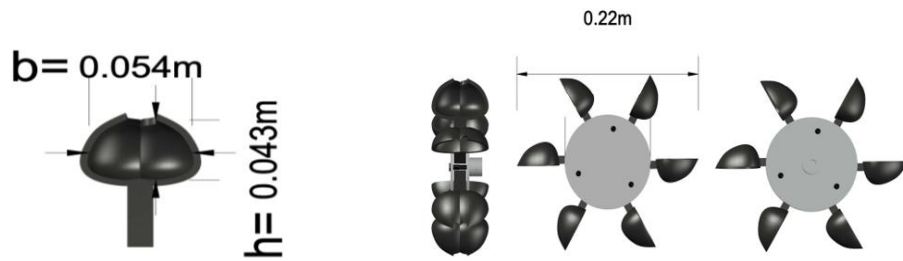
Diseño mecánico

El diseño de las partes del presente proyecto, como la turbina Pelton y la estructura, se diseñó utilizando AutoCAD 2023. La propuesta se basó en las necesidades observadas en un generador hidráulico comercial, y se elaboró con medidas a escala para asegurar un funcionamiento óptimo del proyecto. Esto facilitó la determinación precisa de las dimensiones de cada componente del módulo didáctico, especialmente el tamaño de los álabes.

Con base en el diseño planteado se pronostica producir una potencia máxima de 100 a 105 vatios. El material seleccionado para la construcción, por su resistencia mecánica es el acero, cuyas dimensiones pueden observarse en la Figura 1 y 2.

Figura 1

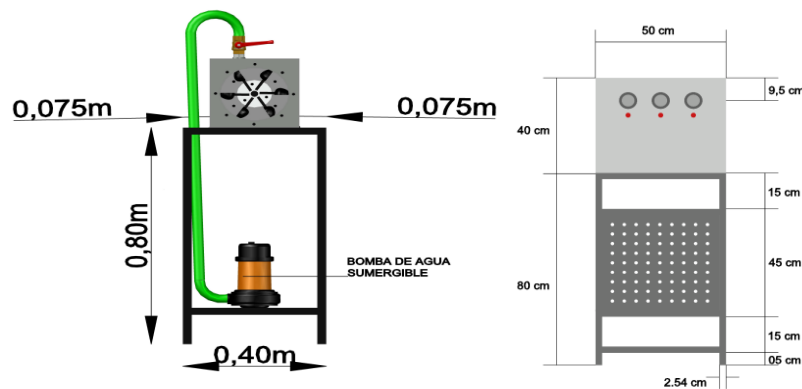
Diseño de la turbina Pelton.



Fuente: autoría propia.

Figura 2

Diseño de las estructuras.



Fuente: autoría propia.

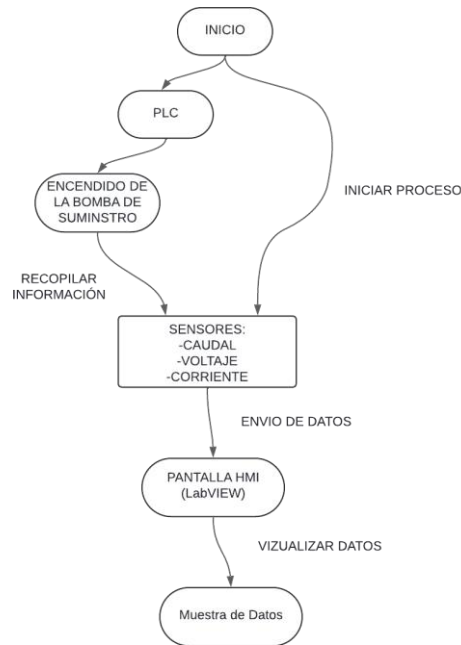
En la Figura 2 se presentan las dimensiones de las dos estructuras diseñadas para el almacenamiento de agua, que incluyen la bomba sumergible y el generador. La segunda estructura está destinada a alojar las cargas y el ordenador que ejecutará el HMI.

Adquisición de datos

La recolección de datos permite obtener la información de las magnitudes eléctricas y caudal mediante los sensores colocados estratégicamente en el módulo desarrollado. La información es enviada a un PLC S7-1200, que está programado para conectarse y transmitir los datos a LabVIEW, donde se realiza el procesamiento de los datos recibidos. La información resultante se presenta al usuario de forma clara y accesible mediante la interfaz de usuario. El diagrama de flujo de la adquisición de datos, procesamiento y visualización se muestra en la Figura 3.

Figura 3

Diagrama de flujo.



Fuente: autoría propia.

Se ilustra la adquisición de datos que inicia al activar el módulo didáctico a través del HMI, iniciando la recopilación de información. El sistema cuenta con varios sensores y actuadores, incluyendo un sensor de voltaje HDDA4U (0-20V), otro sensor de voltaje HDDA4U (0-100V), un sensor de corriente HD-T10I (0-10A) y un sensor de caudal YF-DN50 (230 l/m). Durante el ciclo principal, se miden y actualizan los valores de voltaje, corriente y caudal en la interfaz gráfica creada en LabVIEW. La interacción del usuario con la válvula de control del caudal reinicia el ciclo, permitiendo nuevas lecturas y actualizaciones. Este sistema proporciona una operación eficiente y en un ambiente controlado, permitiendo la visualización de los parámetros. En la Figura 4 se muestra la turbina Pelton.

Figura 4

Turbina Pelton.



Fuente: autoría propia.

La construcción está compuesta por un gabinete metálico con clasificación IP68, que alberga el PLC, los sensores de voltaje, corriente y un contactor para el encendido de la bomba. Este diseño incluye terminales específicos para conectar directamente el sensor de caudal, lo que mejora la comprensión integral del sistema. Además, se incorporó un NI-MyDAQ NI-6900 para medir el caudal, dado que el PLC tiene un número limitado de entradas.

La segunda estructura está destinada a alojar las cargas utilizadas en el sistema. En esta estructura, se puede observar la conexión desde la salida del generador hidráulico hacia las entradas del PLC y posteriormente, hacia las cargas, permitiendo su control desde el HMI. Además, una conexión OPC facilita la transmisión de datos del PLC a un ordenador, donde se ejecuta el HMI desarrollado en LabVIEW.

Figura 5

Sistema de control.



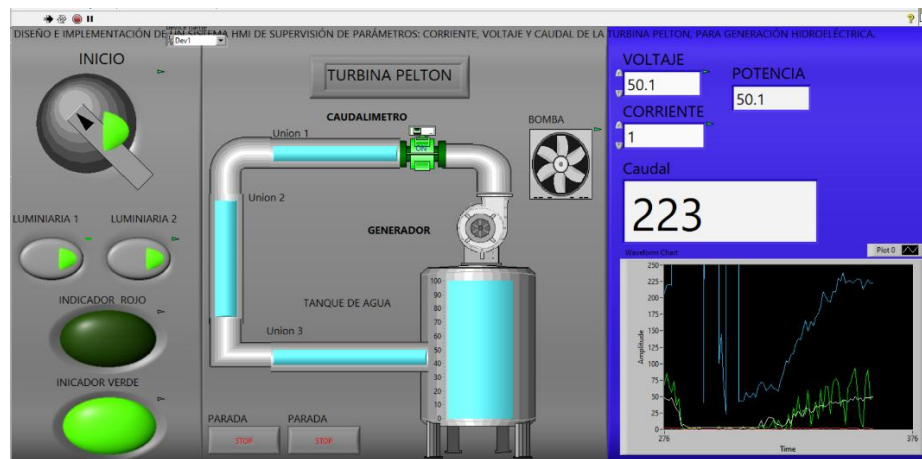
Fuente: autoría propia.

3. RESULTADOS

Mediante el HMI desarrollado, se visualizan los valores correspondientes al voltaje, corriente, potencia y caudal del flujo de agua, como se muestra en la Figura 6. El sistema implementado utiliza como cargas tres focos LED de 15 W cada uno, con un voltaje nominal de 110 V. Estos focos LED permiten evaluar el rendimiento del sistema bajo condiciones de carga específicas, facilitando el análisis y ajuste de los parámetros operativos.

Figura 6

Diseño HMI.



Fuente: autoría propia.

En la Tabla 1, se presenta los valores obtenidos de las variables eléctricas y no eléctricas y su relación en función de la variación de la cantidad de agua suministrada.

Tabla 1

Resultados.

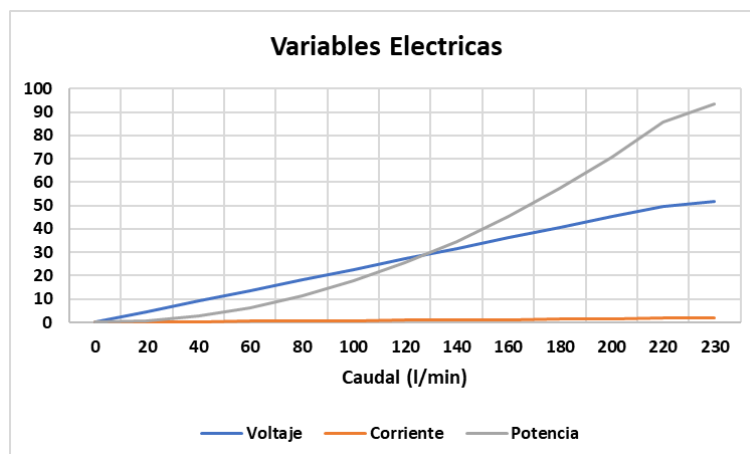
Apertura de la válvula de control de caudal	Voltaje CC	Corriente CC	Potencia	Caudal
0	0,00 V	0,00 A	0,00 W	0 l/min
20 %	10,01 V	0,30 A	3,03 W	40 l/min
40 %	20,20 V	0,67 A	13,50 W	90 l/min
50 %	24,50 V	0,78 A	19,11 W	114 l/min
60 %	31,2 V	1,08 A	33,70 W	136 l/min
70 %	36,4 V	1,26 A	45,86 W	160 l/min
100 %	52,00 V	1,80 A	93,60 W	230 l/min

Fuente: autoría propia.

En la Figura 7, se muestran las curvas obtenidas al realizar las pruebas con la turbina Pelton junto con los sensores.

Figura 7

Variables medidas.



Fuente: autoría propia.

4. DISCUSIÓN

Se observa la relación existente del voltaje, corriente, y la potencia generada por el generador hidráulico en base al caudal. Se identifica que a medida que el flujo de agua aumenta hacia la turbina Pelton, el voltaje como la corriente generada aumentan proporcionalmente, lo que conlleva un incremento notable en la potencia producida. La corriente muestra un incremento gradual, alcanzando su valor máximo al obtener una potencia máxima de 93.6 watios.

El caudal de agua que pasa a través del sistema, controlado manualmente por una válvula de paso, tiene un impacto circunstancial en la potencia generada. Se identifica ante el incremento del caudal de agua hacia la turbina, se produce un aumento considerable en la potencia generada, debido a que un mayor flujo permite que la turbina opere con mayor eficiencia, generando más energía eléctrica. Este efecto subraya la importancia de un control preciso y constante del caudal de agua para maximizar la eficiencia energética del sistema. Mantener un flujo de agua estable optimiza la producción de energía y permite contribuir a la estabilidad operativa del generador, evitando fluctuaciones indeseadas en el voltaje y la corriente, lo cual es vital para la confiabilidad del suministro de energía.

La energía producida por el generador hidráulico no solo depende del caudal de agua y de la eficiencia de la turbina Pelton, sino también de las características de las cargas conectadas al sistema. A medida que el flujo de agua incrementa y se genera más potencia, el generador debe ser capaz de suministrar energía a las cargas conectadas, las cuales pueden variar en resistencia y demanda energética. El comportamiento del voltaje y la corriente, y por ende la potencia generada, se ve influenciado por estas cargas. Si las cargas conectadas al generador son de alta resistencia o tienen una alta demanda de energía, esto puede ocasionar una mayor corriente en el sistema, lo que exige que el generador mantenga una estabilidad operativa para evitar caídas de voltaje o sobrecargas.

En consecuencia, la capacidad del generador para adaptarse a las variaciones en las cargas es crucial para asegurar una producción de energía continua y estable.

5. CONCLUSIONES / CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados de las pruebas de la turbina Pelton proporciona información altamente relevante para el análisis del rendimiento del generador hidráulico y permite implementar mejoras en la inclinación de los alabes. Además, al realizar la comparación entre los diseños comerciales existentes y los resultados finales de las pruebas, confirma que el módulo educativo de generación hidráulica cumple con los objetivos previstos. Los test realizados evidencian la capacidad del sistema para monitorear y analizar de manera efectiva las variables eléctricas en función de la variación del flujo de agua hacia la turbina, lo que valida la correcta implementación del módulo. Este cumplimiento no solo demuestra que el cumplimiento de los objetivos propuestos, sino que también destaca la utilidad del sistema como una herramienta educativa efectiva para el estudio de la generación hidráulica y su interacción con los parámetros eléctricos.

La adquisición de datos mediante el HMI facilita la supervisión de variables eléctricas y de caudal, apoyada por la programación desarrollada en LabVIEW y en colaboración con el PLC permite la correcta adquisición de las señales desde los sensores. Los resultados de las pruebas confirman una tasa de efectividad y precisión sumamente alta, corroborando el buen funcionamiento del módulo educativo.

El desarrollo de la turbina de generación hidráulica y el proceso de obtención de datos representa un aspecto importante para la verificación y monitoreo de sistemas de generación renovable para el ámbito educativo. Finalmente, los resultados confirman que el proyecto es aplicable, tomando en consideración que permite mejorar la comprensión y el aprendizaje sobre fuentes generación de energía renovable en ámbito de aprendizaje tecnológico.

6. REFERENCIAS

- Auyes Khan, U., Lee, T., Park, Y., Kim, D., Kim, N., Kim, C. S., & Kim, D. H. (2024). Design study for performance improvement of a hybrid pico pelton turbine and its additive manufacturing using a laser powder bed fusion method. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 18(1), 107-117. <https://doi.org/10.1007/S12008-023-01396-4/METRICS>
- Cenace. (2024). *Informe Anual 2022*. Operador Nacional de Electricidad CENACE. <https://www.cenace.gob.ec/informe-anual-2022/>
- Cuichan-Paucar, S. H., Vera-Santi, L. E., Heras-Heras, M. C., Quevedo-Amay, D. V., Cuichan-Paucar, S. H., Vera-Santi, L. E., Heras-Heras, M. C., & Quevedo-Amay, D. V. (2024). Microcentrales hidroeléctricas con tecnología turbulent hydro para la generación de electricidad en comunidades aisladas. *Ingenium et Potentia. Revista Electrónica Multidisciplinaria de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura*, 6(10), 4-22. <https://doi.org/10.35381/I.P.V6I10.3586>
- Astudillo Cortez, V., Catota Ocapana, P. y Valencia Moya, R. (2025). Diseño e implementación de un módulo para el monitoreo de una turbina hidráulica. *Revista Cotopaxi Tech*, 5(1), 18-28. <http://ojs.isuc.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/155>
enero - junio (2025) ISSN 2806-5573

- David, E., Maya, Á., Jhonny, M., & Barzola Iza, J. (2021). *Implementación de un emulador de caudal con sistema Scada para pico generación hidroeléctrica*. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11557>
- Erazo López, J. L. (2022). *Desarrollo de un modelo paramétrico para predecir el comportamiento de turbinas hidráulicas tipo Pelton en pequeñas centrales hidroeléctricas*. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/24519>
- Guastay Cajo, W. E. (2020). *El uso de la energía hidráulica para la generación de energía eléctrica como estrategia para el desarrollo industrial en el Ecuador*. <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/4066>
- Hurtado Paspuel, J., & Castro Verdezoto, P. L. (2023). Estudio de factibilidad de una pequeña central hidroeléctrica en un afluente del Río Guayas - Ecuador. *Polo Del Conocimiento: Revista Científico - Profesional*, ISSN-e 2550-682X, Vol. 8, No. 12, 1226-1238, 8(12), 1226-1238. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i12>
- Minda, C., & Alex, J. (2022). *Modelo tridimensional de una turbina hidroeléctrica para capacitación*. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13221>
- Pareja, G., Fabián, M., Ramos, M., & Alex, R. (2023). *Diseñar un banco de pruebas para turbinas de micro centrales hidroeléctricas constituido por una turbina Pelton de dos inyectores y una turbina Kaplan para la generación de 1 kW*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/671146>
- Quishpe Cholango, L. M. (2021). *Diseño de alabes directores de turbinas tipo Francis para minimizar la erosión producida por el impacto del flujo bifásico líquido-sólido*. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21960>
- Reyes Soledispa, S. L., & Vélez Vera, E. D. (2022). *Diseño de un sistema aislado de energía fotovoltaica para los módulos didácticos del LTI-ESFOT*. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22064>
- Romero, J. A., Del, M., Loján, C., Basantes, E., Romero, A. Y., & Elías González, J. (2024). Factibilidad de la implementación hidroeléctrica para la Universidad Estatal Amazónica en el Puyo, Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(1), 10377-10391. https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V8I1.10343
- Ud Din, M. Z., & Harmain, G. A. (2020). Assessment of erosive wear of Pelton turbine injector: Nozzle and spear combination – A study of Chenani hydro-power plant. *Engineering Failure Analysis*, 116, 104695. <https://doi.org/10.1016/J.ENGFAILANAL.2020.104695>