

Caudal Optimization in a Hydraulic Generator: Key for more efficient electrical energy

Rolando Casahuamán Mayta¹; Jonathan Aimar Terán Vargas²; David Eloy Ordóñez Bringas³

^{1,2}Universidad Privada del Norte, Perú, N00258762@upn.edu.pe, N00284300@upn.edu.pe

³Universidad Privada del Norte, Perú david.ordonez@upn.edu.pe

Abstract– This research aims to evaluate the influence of water flow on the generation of electrical energy using a hydraulic generator. This is based on a common problem in remote, low-income towns that do not have electrical fluid networks, such as the Yaminchad hamlet in the province of San Pablo, in the department of Cajamarca, Peru, where the origin of the research was focused. This area has abundant water during the winter and a reduction in water flow in summer, which led to the study of this problem and how it influences the reduction of voltage. By reducing the water flow, its behavior has been analyzed based on different water level heights in a given time interval. The aim is to establish the relationship between the reduction in flow and the variation in the generated voltage. The methodology employed is a quantitative approach, using an experimental design based on the Pelton turbine generator design, carried out in the hydraulics laboratory of the Universidad Privada del Norte, for which flow measurements were taken at four-time intervals at different heights. Observation techniques, records in tables designed by the research team, and the use of instruments such as a camera and a stopwatch were used for data collection. The results obtained show that height variations directly influence the flow of water through the hydraulic system, affecting energy generation. In conclusion, the importance of generating energy depends on the optimization of water flow. In this case, it was determined that the voltage stability at its highest point obtained during the measurement depends on the height reached by the water at the instant it acts on the turbine. Likewise, the design and construction of the water inlet components would have to consider an optimization of measures regarding height to obtain maximum water flow and for the drop to positively influence the movement of the turbine. Therefore, an 8.15% improvement in energy generation was achieved, due to the optimization of the water fall flow rate by 30.14%.

Keywords-- Flow rate, Voltage, Reynolds number, Velocity, Hydraulic generator, Viscosity.

Optimización del Caudal en un Generador Hidráulico: Clave para una energía eléctrica más Eficiente

Rolando Casahuamán Mayta¹; Jonathan Aimar Terán Vargas²; David Eloy Ordóñez Bringas³

^{1,2}Universidad Privada del Norte, Perú, N00258762@upn.edu.pe, N00284300@upn.edu.pe

³Universidad Privada del Norte, Perú, david.ordonez@upn.edu.pe

Resumen– La presente investigación tiene como objetivo evaluar la influencia del caudal de agua en la generación de energía eléctrica mediante un generador hidráulico, esto en base a una problemática común en pueblos alejados de bajos recursos que no cuentan con redes de fluido eléctrico como es el caso del caserío Yaminchad de la provincia de san pablo en el departamento de Cajamarca en Perú, donde se centró el origen de la investigación, esta zona cuentan con abundante agua durante el invierno y una reducción del caudal de agua en verano lo que llevo a plantear el estudio de esta problemática y cómo influye en la reducción de voltaje. Al reducir el caudal de agua se ha analizando su comportamiento en función de diferentes alturas de nivel de agua en un intervalo de tiempo determinado. Se busca establecer la relación entre la reducción del caudal y la variación del voltaje generado. La metodología empleada es de enfoque cuantitativo, utilizando un diseño experimental basada en el diseño de generador con turbina Pelton, realizados en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del Norte, para el cual se realizaron mediciones del caudal en cuatro intervalos de tiempo a distintas alturas. Para la recolección de datos se emplearon técnicas de observación, registros en tablas diseñadas por el equipo de investigación y el uso de instrumentos como cámara fotográfica y cronómetro. Los resultados obtenidos evidencian que la variación de la altura influye directamente en el caudal del agua a través del sistema hidráulico, afectando la generación de energía. En conclusión, la importancia de generar energía depende de la optimización del caudal de agua, en este caso se determina que la estabilidad de voltaje en su punto más alto obtenido durante la medición depende de la altura alcanzada por el agua en el instante que actúa en la turbina, así mismo, en el diseño y construcción de los componentes de ingreso de agua se tendría que considerar una optimización de medidas en cuanto a la altura para obtener un máximo caudal de agua y que la caída influya positivamente en el movimiento de la turbina. Por lo tanto, se logró determinar una mejora del 8.15% de generación de energía, debido a la optimización del caudal de caída de agua en un 30.14%.

Palabras clave – Caudal, Voltaje, Número de Reynolds, Velocidad, Generador hidráulico, viscosidad.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso fundamental para la vida y ha sido un factor determinante en el desarrollo humano a lo largo de la historia. Su uso es esencial en diversas actividades, como el consumo humano, la agricultura y los procesos productivos, además de desempeñar un papel clave en la generación de energía; la producción de electricidad a partir del flujo de agua en centrales y generadores hidráulicos, si bien representa una alternativa sostenible en comparación con fuentes convencionales, también genera ciertos impactos ambientales. Sin embargo, al enfocarse principalmente en infraestructuras

de regulación hídrica, estos sistemas han demostrado ser una solución eficiente y, en muchos casos, han sido percibidos de manera positiva en términos de sostenibilidad y aprovechamiento energético [1].

Las limitaciones en el acceso a la electricidad generan barreras sociales que obstaculizan el desarrollo de las comunidades rurales. En Perú, según datos de 2022, el 69,9% de la población rural carece de acceso adecuado a la energía eléctrica mediante red pública, para abordar esta problemática, es esencial implementar sistemas de generación eléctrica que aprovechen el caudal de los ríos, operando de forma autónoma y aislada, adecuados para consumos de baja potencia. Aunque existen diversas formas de generación eléctrica, muchas de ellas son perjudiciales para el medio ambiente debido a la emisión de gases de efecto invernadero y otros contaminantes; por ello, es imperativo proponer soluciones que, además de utilizar fuentes renovables, tengan un impacto ambiental nulo o mínimo. La energía hidroeléctrica a pequeña escala se presenta como una alternativa viable, ya que, al no requerir procesos de combustión, su impacto ambiental es significativamente menor en comparación con las fuentes convencionales [2].

Diversos estudios han explorado la aplicación del caudal en sistemas experimentales para la generación de energía hidroeléctrica, uno de estos casos es el desarrollo de un prototipo de generador hidroeléctrico diseñado para abastecer una granja y su sistema de riego mediante el aprovechamiento del caudal de una quebrada, este modelo busca evaluar la viabilidad técnica y operativa del sistema, con el objetivo de su implementación en zonas rurales del departamento de Santander; la propuesta pretende ofrecer una alternativa sostenible para la generación de energía en viviendas y explotaciones agropecuarias ubicadas en regiones aisladas, donde el acceso a la red eléctrica es limitado o presenta interrupciones frecuentes que afectan la continuidad y eficiencia de las actividades productivas [3].

Otra aplicación del caudal en la generación de energía eléctrica se desarrolla en el cantón Lago Agrio, donde se ha implementado un sistema hidráulico con una capacidad de hasta 1000 watts para el abastecimiento energético de una vivienda, el sistema se basa en la construcción de un mecanismo hidráulico que aprovecha el flujo del agua para accionar un impulsor mecánico del tipo rueda hidráulica, este dispositivo convierte la energía cinética del caudal en energía mecánica, que posteriormente es transformada en electricidad

mediante un generador, la instalación, ubicada en la propiedad del Ing. Víctor Gribaldo Cueva Cevallos en Lago Agrio, Sucumbíos, busca evaluar la eficiencia de este tipo de sistemas en entornos rurales y su viabilidad como una alternativa sostenible para el suministro eléctrico en zonas con acceso limitado a la red convencional [4].

El caudal también se emplea en el diseño y desarrollo de un mini generador hidráulico basado en el principio de conservación de la energía. Este sistema aprovecha la energía potencial y cinética del agua para transformarla en energía mecánica a través de un impulsor, que a su vez acciona un motor de corriente continua (DC). Dicho motor actúa como un generador, convirtiendo la energía mecánica en electricidad. Adicionalmente, el sistema incorpora una aplicación para teléfonos inteligentes, que permite monitorear en tiempo real el voltaje generado por el hidrogenerador, facilitando el análisis de su rendimiento y estabilidad operativa [5].

En el sector minero, el aprovechamiento del caudal se implementa mediante el diseño y control de un generador hidráulico destinado a la producción de energía en la mina subterránea El UVO, operada por la empresa Paz del Río S.A. Este sistema utiliza los caudales de agua generados durante la explotación del mineral de hierro para accionar una turbina Pelton, el generador está compuesto por una rueda Pelton, la cual es alimentada a través de una servo-válvula que regula el flujo del agua, garantizando una presión óptima y un caudal constante hacia los álabes de la turbina, este mecanismo permite la conversión eficiente de la energía hidráulica en energía mecánica, que posteriormente es transformada en energía eléctrica, asegurando un voltaje estable para su aplicación en las operaciones subterráneas de la mina [6].

El análisis del caudal es un factor determinante en la eficiencia de un generador hidráulico de energía eléctrica, ya que influye directamente en la capacidad de generación, la cantidad de agua que fluye a través de la turbina es un parámetro crítico, pues afecta la conversión de la energía hidráulica en energía mecánica y, posteriormente, en electricidad, un caudal mayor, dentro de los límites de diseño del sistema, generalmente resulta en una mayor producción de energía; sin embargo, un flujo descontrolado o insuficiente puede reducir la eficiencia y generar pérdidas energéticas, por ello, comprender y regular el caudal es esencial para optimizar el rendimiento del generador hidráulico, garantizando un funcionamiento estable y eficiente.

En función de lo expuesto, la problemática central de esta investigación radica en el análisis del caudal en un generador hidráulico de energía eléctrica. Se evaluará la influencia del caudal en la generación de electricidad dentro de un intervalo de tiempo determinado, utilizando un generador hidráulico como modelo de estudio. Este análisis permitirá una comprensión más detallada de la relación entre el flujo de agua y la eficiencia del sistema, un aspecto fundamental en la ingeniería hidráulica. El objetivo principal es proporcionar una

base técnica sólida que sirva como referencia para futuras investigaciones y aplicaciones en el diseño y optimización de sistemas hidráulicos, contribuyendo al desarrollo de soluciones más eficientes y sostenibles en la generación de energía renovable.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Obtención de materiales

- 1) Dos rodamientos pequeños.
- 2) Eje de transmisión.
- 3) Polea.
- 4) Una bombilla.
- 5) Motor de 3 a 4 voltios.
- 6) Lijas.
- 7) Tiras de madera.
- 8) Tornillos y pernos.
- 9) Cables (conductor de corriente).
- 10) Voltímetro con sus respectivos cables.
- 11) Una turbina.
- 12) Dos discos.
- 13) Precintos.
- 14) Una base para el generador.

B. Descripción del proyecto

El proceso inicia aprovechando el caudal y la caída del agua desde alturas controladas sobre las aspas de una turbina la cual gira al costado de un eje fijo.

Este eje transmite el movimiento de la turbina, el eje está suspendido sobre dos rodajes a los extremos, los rodajes reducirán la fricción y harán que el giro se realice de una manera más eficiente. En el eje irán fijados una turbina para la caída de agua en un lado, y del otro lado irá fijado al eje una polea, la cual estará simulada y construida de 2 discos que servirán para transmitir el movimiento hasta la polea de un pequeño generador eléctrico.

Luego de que la energía hidráulica se ha transformado en energía mecánica, la cual en el último proceso ha llegado hasta la polea del generador, el giro se realiza a gran velocidad, es ahí donde empieza el último proceso el cual consiste en generar la electricidad.

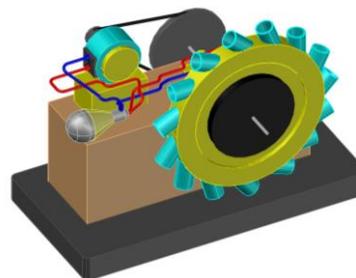


Fig. 1 Esquema del Generador Hidráulico De Energía Eléctrica.

C. Aplicación del caudal

Para aplicar la formula del caudal en un generador hidráulico, se realiza los siguientes pasos:

(1) *Determina el área (A):* Se mide o calcula el área de la sección transversal donde está depositada el agua, esto se realizó midiendo las dimensiones de la sección (ancho y alto) y multiplicando estas dimensiones para obtener el área en metros cuadrados del tanque (m²).

(2) *Cálculo de la altura:* Esto se realizó midiendo la altura en intervalos de tiempo de 10 segundos del descenso del agua dentro del depósito.

(3) *Cálculo del volumen:* Esto se realiza dependiendo del intervalo de altura en donde cambia el volumen del agua en un determinado tiempo.

(4) *Cálculo de la velocidad (V):* Esto se realiza para ver la velocidad del agua al momento de salir del tanque hacia el generador eléctrico [2].

Para calcular el caudal y la velocidad se utiliza las siguientes fórmulas:

Para calcular el caudal se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V}{t} \Rightarrow Q = v * A \quad (1)$$

Para calcular la velocidad se utiliza la siguiente ecuación:

$$v = Q/A \quad (2)$$

Q= Caudal.

V= Volumen.

v= Velocidad.

t= Tiempo.

D. Aplicación del número de Reynolds

El número de Reynolds (Re) también es relevante en un generador hidráulico de energía eléctrica, especialmente en el contexto de las tuberías o conductos que han sido utilizados para transportar agua hacia el generador. La aplicación importante del número de Reynolds en el generador hidráulico fue para determinar el tipo de flujo (laminar, transición o turbulento) que ocurre en la tubería instalada que transporta el agua hacia la turbina. Esto es fundamental para su diseño y funcionamiento, ya que un flujo turbulento puede causar mayores pérdidas por fricción y, en algunos casos, dañar la tubería [4].

La fórmula utilizada para determinar el número de Reynolds es:

$$Re = \frac{\rho * D * v}{\mu} = \frac{v * D}{V} \quad (3)$$

v=Velocidad.

D=Diámetro.

V= Viscosidad Cinemática.

ρ =Densidad del líquido.

μ =Viscosidad dinámica.

El tipo de flujo también se puede determinar con el número de Reynolds:

- Flujo laminar $Re < 2000$.
- Flujo transicional $2000 < Re < 4000$.
- Flujo turbulento $Re > 4000$.

Por otro lado, en la figura 2 se muestra las técnicas del proceso de ensayo realizado en laboratorio para la obtención de los resultados.



Fig. 2 Diagrama de flujo de técnicas aplicadas para la obtención de resultados en laboratorio.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en base a la parte experimental de la investigación.

1) Cálculo del caudal.

TABLA I
DATOS DEL TUBO DE SALIDA DEL AGUA

Medida	Longitud
Diámetro exterior(m)	19.10
Espesor del tubo (m)	13.00
Diámetro interior (m)	16.50

Area de sección (m ²)	0.0002138
-----------------------------------	-----------

TABLA II
DATOS PARA EL VOLUMEN DEL TANQUE

Medida	Longitud
Diametro (m)	28.80
Altura (m)	42.00
Área del tanque (m ²)	0.06514
Volumen del tanque (m ³)	0.02736

TABLA III
CÁLCULO DEL CAUDAL DE ACUERDO CON LA DISMINUCIÓN DEL VOLUMEN EN INTERVALOS DE APROXIMADAMENTE 10 SEGUNDOS

Intervalo	Tiempo (s)	Altura de disminución de agua (m)	Altura de cambio de volumen (m)	Volumen por cada intervalo (m ³)	Caudal (m ³ /s)
1	10.38	0.081	0.081	5.277E-03	5.083E-04
2	10.57	0.155	0.074	4.821E-03	4.561E-04
3	10.40	0.224	0.069	4.495E-03	4.322E-04
4	10.34	0.286	0.062	4.039E-03	3.906E-04

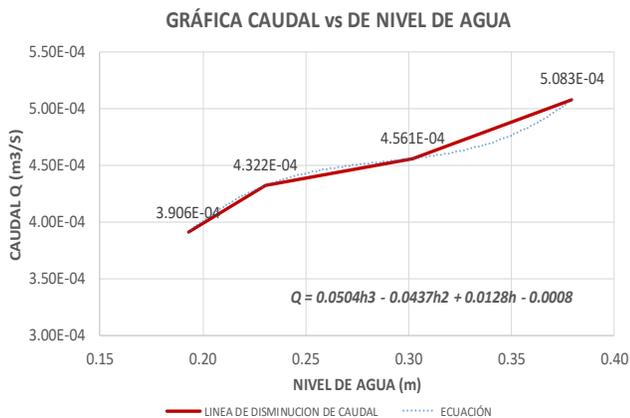


Fig. 3 Gráfico caudal vs nivel de agua. Fuente propia.

TABLA IV
DATOS DEL TUBO DE SALIDA DEL AGUA

Intervalo	Promedio (m ³ /s)	Sección (m ²)	Velocidad (m/s)
1	0.000508	0.0002138	2.377
2	0.000456		2.133
3	0.000432		2.021
4	0.000391		1.827

TABLA V
CÁLCULO DEL TIPO DE RÉGIMEN O FLUJO TOMANDO LA TEMPERATURA
T= 18.6°C

Nº	Velocidad (m/s)	Diámetro (m)	Viscosidad cinemática (m ² /s)	Re	Régimen o flujo
1	2.377	0.0165	1.08E-06	36321.60	Transicional
2	2.133			32586.22	Transicional
3	2.021			30881.12	Transicional
4	1.827			27909.27	Transicional

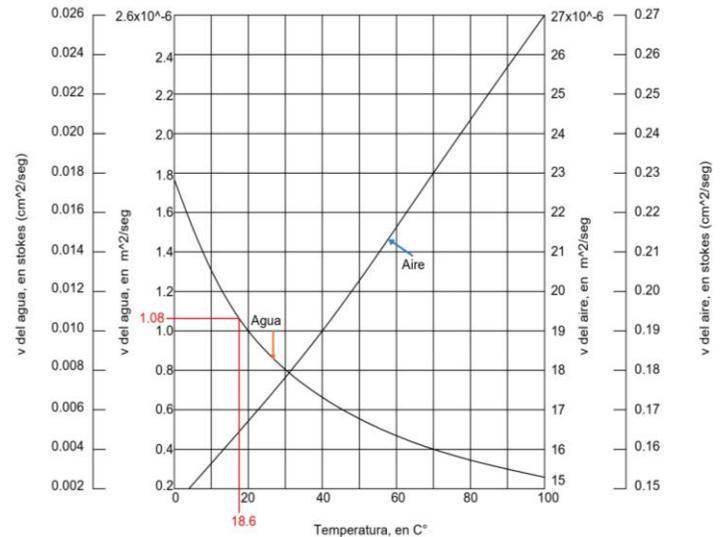


Fig. 4 Gráfico viscosidad cinemática del agua y del aire a la presión atmosférica del nivel del mar. Fuente G. Sotelo.

En la tabla Nº3, se obtuvo el cálculo del Caudal en referencia a la disminución del volumen, se realizó en 4 intervalos de tiempo en aproximadamente 10 segundos, para lo cual se presenta: para el intervalo Nº1 un caudal de 0.000508 m³/s a una altura de disminución de agua 0.081 m, en el intervalo Nº2 un caudal de 0,000456 m³/s a una altura de disminución de agua 0,155 m, en el intervalo Nº3 un caudal de 0,000432 m³/s a una altura de disminución de agua de 0,224m y en el intervalo Nº4 un caudal de 0,000391 m³/s a una altura de disminución de agua de 0,286 m. Se podría afirmar que la relación entre el caudal y la altura del nivel de agua en el contexto de generadores hidráulicos de energía eléctrica se rige por el principio de la ley de caudal, principio de Torricelli y la ecuación de Bernoulli, que son los fundamentos de la mecánica de fluidos una parte fundamental de la hidrodinámica y se utiliza para comprender cómo la variación de la altura de agua optimiza el caudal y la velocidad aplicada a un sistema como es el generador hidráulico de energía eléctrica en estudio.

Las maquinas hidráulicas constituyen una de las aplicaciones fundamentales de la mecánica de fluidos y se encuentran presentes en todo tipo de instalaciones y maquinaria industrial.

Su estudio parte del conocimiento de las ecuaciones generales de conservación de la mecánica de fluidos [7].

Al diseñar un sistema generador de electricidad, aprovecha el desplazamiento del caudal de agua desde una altura especificada como fuente de energía cinética. Para ello el empleo de una turbina hidro cinética, la cual adquiere un movimiento rotatorio al paso del fluido con la finalidad de convertir la energía cinética en mecánica. Asimismo, gracias al generador de imanes permanentes acoplado al eje de la turbina en movimiento se puede generar electricidad alterna. Luego, esta corriente es acondicionada para la carga de dispositivos electrónicos mediante un circuito rectificador y un regulador de tensión [2].

Asimismo, el caudal hallado a diferentes alturas se puede observar mediante los cálculos y la representación de los caudales en la figura N°5:

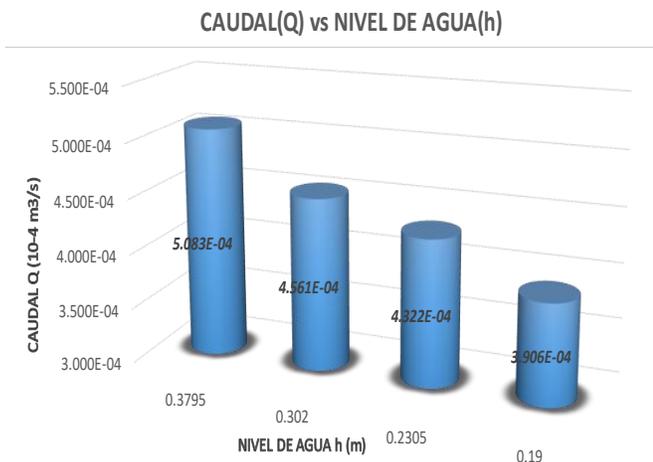


Fig. 5 Gráfico de barras Caudal vs Nivel de agua. Fuente propia.

El caudal va disminuyendo según la altura especificada, esto se puede mostrar en la figura N°5. Donde, la disminución en la altura del agua resulta una disminución del caudal de agua que pasa a través de la turbina. Es decir, Cuando menor sea la altura del agua, menor será la cantidad de agua disponible para generar energía, lo que puede disminuir la capacidad y eficiencia de la generación hidroeléctrica.

Por otro lado, el caudal también interviene en el voltaje de salida para generar luz eléctrica, como se puede observar en la figura N°6:

GRÁFICA VOLTAJE DE SALIDA vs CAUDAL

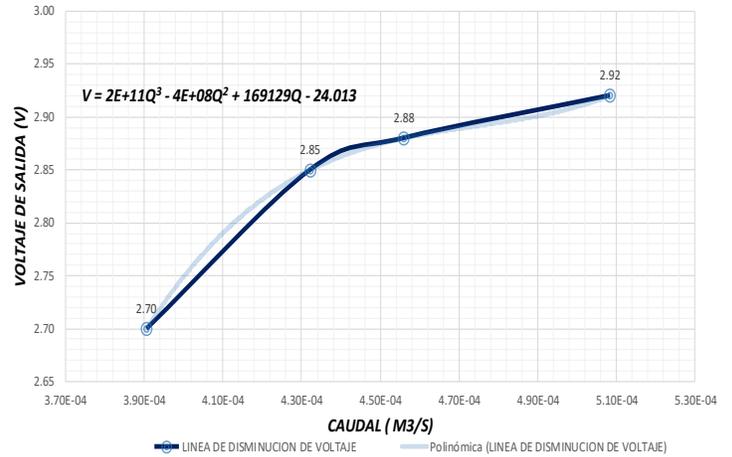


Fig. 6 Gráfico Voltaje vs Caudal. Fuente propia.

Mediante el gráfico N°6, se puede apreciar que a medida que disminuye el caudal a diferentes alturas también disminuye el voltaje. En un sistema hidroeléctrico, el aumento del caudal de agua que fluye a través de la turbina puede influir en la generación de voltaje de la siguiente manera: Mayor caudal, mayor potencia, un aumento en el caudal (Q) de agua que fluye a través de la turbina suele resultar en una mayor potencia generada dando como resultado un mayor voltaje obtenido.

TABLA VI
CÁLCULO EN PORCENTAJE DE CAUDAL Y VOLTAJE OBTENIDOS EN ENSAYOS REALIZADOS

INTERVALO	CAUDAL PROMEDIO POR INTERVALO (m³/s)	CAUDAL PROMEDIO EN PORCENTAJE (%)	VOLTAJE DE SALIDA (V)	VOLTAJE DE SALIDA EN PORCENTAJE (%)
1	5.083E-04	130.14%	2.920	108.15%
2	4.561E-04	116.76%	2.880	106.67%
3	4.322E-04	110.65%	2.850	105.56%
4	3.906E-04	100.00%	2.700	100.00%
AUMENTO DE CAUDAL ENTRE INTERVALOS=				30.14%
INCREMENTO DE VOLTAJE =				8.15%

De acuerdo a los resultados obtenidos, se a considerado como base el voltaje mínimo registrado en el voltímetro con el generador en funcionamiento, el cual nos dio un valor de 2.70 voltios generados en función a un caudal de agua de $5.083 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$. considerando para ambos como la base, y que al aumentar el caudal de agua en 30.14% proporciona un incremento de voltaje en 8.15%, por lo tanto podemos afirmar que se ha registrado una mejora en la cantidad de voltaje obtenido en base al aumento de caudal de agua que acciona el generador de energía eléctrica.

Podemos afirmar que el aumento de voltaje tendrá un significativo aporte a la potencia eléctrica generada, ya que la potencia es la cantidad de energía eléctrica producida por unidad de tiempo y se mide en vatios (W). Cuanto mayor sea el caudal, más energía cinética se convierte en energía

eléctrica, lo que se traduce en una mayor generación de voltaje. Para el prototipo realizado, al momento de emplear un caudal máximo genera una mayor energía, ya que se mantiene un flujo constante en los primeros segundos mientras el agua tiene un nivel máximo pero en nuestro caso reduce el nivel debido a que se está usando como fuente de energía mecánica la caída del agua proveniente de un tanque lo que hace variar el caudal con el paso del tiempo, por lo que un tanque no tiene un caudal constante como puede ser en un sistema de agua **continuo o en todo caso la manera como fluye en un río** en condiciones naturales.

El número de Reynolds y el caudal son parámetros interconectados que juegan un papel importante en el funcionamiento, eficiencia y mantenimiento de un generador hidráulico de energía eléctrica. Controlar y comprender esta relación es esencial para maximizar la producción de energía y garantizar la operación segura y eficiente de la instalación. Según los resultados obtenidos en la tabla N° 5, el tipo de régimen o flujo obtenidos según las alturas e intervalos de tiempo realizados es transicional o inestable.

Mediante el diseño y fabricación exitoso de un sistema de generación de electricidad mediante el caudal de un chorro de agua de flujo laminar, tuvo como finalidad desarrollar destrezas y capacidades en el laboratorio de fluidos cuando se realicen prácticas de variación de caudal para obtener diferentes alturas, alcances y observar como viajan las partículas de agua en un flujo laminar, fenómeno que se produce gracias a la iluminación de todo el chorro con la tecnología de la fibra óptica y un potenciador led RGB. Los resultados obtenidos permiten ver cuanto voltaje genera el flujo laminar para producir energía eléctrica [10].

Para el desarrollo de futuros prototipos, se sugiere diseñar un sistema de salida de agua que mantenga un flujo lo más constante posible. Esto se puede lograr aumentando el volumen del tanque de almacenamiento, lo que permitirá reducir la disminución de la altura del agua en períodos cortos de tiempo. Mantener un nivel más estable contribuirá a obtener mediciones de caudal más precisas y a mejorar la eficiencia del generador hidráulico.

Se recomienda evaluar el comportamiento hidrodinámico del sistema, considerando factores como la turbulencia, la velocidad del flujo y las pérdidas de carga en el conducto de salida. Esto permitirá un mejor control de las condiciones operativas y una mayor eficiencia en la conversión de energía.

Para mejorar la precisión y reducir la incertidumbre en la medición del caudal y del tiempo, se recomienda la integración de sensores de nivel y caudalímetros digitales. Estos dispositivos permitirán un monitoreo en tiempo real y una recopilación de datos más confiable para el análisis del desempeño del generador hidráulico.

Al realizarse la investigación, la construcción del modelo en escala y medir sus datos se llega a la conclusión de que puede

ser favorable su instalación; recordemos que el prototipo se realizó a una escala 1:4, es decir reducir 4 veces el tamaño real, entonces, si se logra un voltaje máximo de 4.5 y una corriente de 0,06 amperios con el primer motor a una presión de 11,4 litros por minuto [7].

En el trabajo de investigación antes citado, se ha realizado con un generador a escala con turbina Kaplan y haciendo conversión de unidades se obtuvo una salida de 4.5 voltios a un caudal de $1.9 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, con la diferencia que en este tipo de turbinas al tener un sistema encapsulado en el que actúan además de estos parámetros, la presión y un sistema mecánico para las paletas móviles de ingreso del agua, si bien es un sistema muy interesante y con un porcentaje más eficiente, las desventajas frente a un sistema con turbina Pelton son mayores en cuanto a costos de construcción, instalación y mantenimientos tomando en consideración que la aplicación será en zonas de bajos recursos.



Fig.7 Prototipo Generador con turbina tipo Pelton. Fuente propia.

IV. CONCLUSIONES

En conclusión, la finalidad de la investigación es dar conocer como el caudal influye en la generación de energía eléctrica. De acuerdo a los resultados obtenidos podemos afirmar que la estabilidad del caudal de agua es la base fundamental para generar energía eléctrica más eficiente y que para lograrlo es necesario tomar algunos criterios en los que se considere una mejora en el diseño de estructuras hidráulicas que permitan concentrar el agua, tomando en consideración una optimización de la altura y el área adecuada. No obstante, dependerá de la zona en la que se lleva a cabo el proyecto y de la disponibilidad del recurso hídrico que garantice un óptimo funcionamiento debido a que se requiere un constante flujo de agua. Como se pudo observar, mediante las pruebas experimentales realizadas en laboratorio en un tanque donde ha variado la altura del nivel de agua, dando como resultado una reducción gradual del caudal, que va relacionado también con la reducción del voltaje, por esto que es importante mantener el caudal estable en su punto más alto. Por lo que en

base a los resultados se obtuvo una mejora del voltaje obtenido en un 8.15% al optimizar el caudal de agua en 30.14%, en efecto mejora la cantidad de energía obtenida.

En cuanto, al tipo de régimen de la salida de agua del tanque se logró obtener en los tres casos un régimen o flujo transicional. Esto, debido a que la velocidad mediante la disminución del caudal también descendía. Según los cálculos, esto influyó en que el número de Reynolds descienda con menor diferencia, ya que en los 4 intervalos de tiempo se ha obtenido el mismo tipo de flujo.

Mediante el desarrollo del prototipo generador hidráulico de energía eléctrica, se consideró desarrollar el tipo Pelton lo cual se pudo observar que es de gran ayuda en zonas alejadas a ríos o canales que cuenten con un flujo constante de agua como es el caso del caserío Yaminchad en San Pablo del departamento de Cajamarca en Perú el cual no cuenta con acceso a una red de servicio eléctrico en algunas zonas.

Se concluyó que, en el caso de no tener un flujo constante de agua, se debe ubicar el sistema generador hidráulico a un nivel inferior a la salida del fluido, con la finalidad de aprovechar la caída del agua lo cual produce energía cinética, es decir el sistema desarrollado transformará esa energía mecánica en eléctrica con una mejor eficiencia.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

Primero agradecer a Dios sobre todas las cosas, porque con él todo es posible. Agradezco al Ingeniero Eloy Ordoñez Bringas docente del curso de mecánica de fluidos de la Universidad Privada del Norte por su orientación y conocimientos impartidos en la realización de este proyecto.

También, este proyecto está dedicado completamente a nuestra familia, porque ellos son la principal motivación para seguir adelante; a nuestros padres que son el ejemplo de lucha y perseverancia para conseguir nuestros objetivos; y a nuestros hermanos, las voces de aliento que necesitamos para creer en nosotros. Por último, dedicamos este proyecto a las personas que han creído en nosotros y nos brindaron su confianza, lo cual me sirvió para enfrentar los desafíos académicos y alcanzar nuestras metas.

REFERENCIAS

- [1] Soria, E. (2007). *Energía Hidráulica*. Comunidad de Madrid.
- [2] Mendoza Yupanqui, P. Y. (2017). *Diseño de generador hidroeléctrico portable para zonas rurales*. [Tesis de título]. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- [3] López, E., & Mera, J. (2019). *Prototipo de generador hidroeléctrico con Molino de agua para una granja y su Sistema de riego en zona veredal del departamento de Santander*. [Tesis de título]. Unidades Tecnológicas de Santander.
- [4] Mera Cueva, C. R. (2016). *Generación de energía eléctrica hasta 1000 watts con el empleo de un sistema hidráulico para utilizar en una Vivienda del canton Lago Agrio*. [Tesis de título]. Universidad Politécnica de Salesiana Sede Quito.
- [5] Bahena Salgado, A., González Castañeda, D., Martínez Calderón, J., Mejía Sanchez, J. M., Valdez Martínez, J.S., Villanueva Tavira, J.(2021).

- Hidrogenerador eléctrico de bajo costo para la cosecha de energía cinética traslacional en ríos. Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del Estado de Morelos.
- [6] Higuera, F., Romero, E., España, J., Niño, J., Salamanca, J. (2013). *Diseño y construcción de un prototipo de generador hidráulico para estudio y desarrollo de estrategias de control para la generación eléctrica en minas subterráneas*. Dialnet, 2(1), 22-27.
- [7] Sánchez Barragán, J. (2019). *Generación de energía eléctrica mediante fluidos hidráulicos* [Tesis para la obtención de Grado, Institución universitaria Politécnica Grancolombiano]. Repositorio Institucional-Alejandro.
- [8] Sánchez Domínguez, U. (2013). *Máquinas hidráulicas*. Editorial Club Universitario.
- [9] Sotelo Ávila, G. (1997). *Hidráulica general*. (1a ed., Vol. 1). Limusa Noriega Editores.
- [10] Ulloa, N., Allauca J., Andrade, G., Condor R., Tacle, P. (2015). *Diseño de un sistema de generación de chorro de agua de flujo laminar iluminado*. Redalyc, 18(3), 181-187.