

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER  
EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**EFICIENCIA TÉCNICA DE UN MÉTODO DE BOMBEO  
DE AGUA IMPULSADO POR ENERGÍA HIDRÁULICA  
EN EL MILAGRO, PROVINCIA DE UTCUBAMBA**

**Autor: Bach. Victor Manuel Arbañil Hernández**

**Asesor: Mg. Wildor Gosgot Angeles**

**Registro:(.....)**

**CHACHAPOYAS – PERÚ**

**2024**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por permitirme lograr cumplir mis metas en la vida, darme salud y una familia.

A mi madre María Arminda Hernández Vásquez por estar en todo el trayecto de mi existencia.

A mis hermanos y maestros quienes me han guiado, apoyado y alentado a seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi más sincero agradecimiento:

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, por la formación académica brindada.

A mis profesores, por su amplia colaboración y exigencia en el estudio durante la formación profesional.

A mi asesor el Mg. Wildor Gosgot Angeles por su orientación e identificación.

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que incluye este. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ  
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

**Ph.D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA**

Rector

**Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES**

Vicerrector Académico

**Dra. MARÍA NELLY LUJÁN ESPINOZA**

Vicerrectora de Investigación

**Ph.D. RICARDO EDMUNDO CAMPOS RAMOS**

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

## VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS



**UNTRM**

**REGLAMENTO GENERAL**  
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

### ANEXO 3-L

#### VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo ( ), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Eficiencia técnica de un método de bombeo de agua impulsado por energía hidráulica en el Milagro, provincia de Utcubamba; del egresado Victor Manuel Arbañal Hernández de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.



Chachapoyas, 03 de Junio de 2024

Firma y nombre completo del Asesor  
M<sup>o</sup>. Wildor Gaspól Angeles

## JURADO EVALUADOR DE LA TESIS



---

M.Sc. Jefferson Fiztgeral Reyes Farje

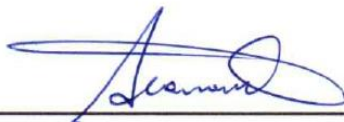
**Presidente**



---

M.Sc. Gino Alfredo Vergara Medina

**Secretario**



---

M.Sc. Ingrid Aracelli Cassana Huaman

**Vocal**

# CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



**UNTRM**

**REGLAMENTO GENERAL**  
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

## ANEXO 3-Q

### CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

Eficiencia Técnica de un método de bombeo de agua impulsado por energía Hidráulica en el milagro, provincia de utcubamba.

presentada por el estudiante ( )/egresado (X) Victor Manuel Arbañil Hernández

de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

con correo electrónico institucional 4729064841@untrm.edu.pe

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- La citada Tesis tiene 24 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (X) / igual ( ) al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- La citada Tesis tiene \_\_\_\_\_ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 11 de Junio del 2024

[Signature]  
SECRETARIO

[Signature]  
PRESIDENTE

[Signature]  
VOCAL

OBSERVACIONES:

.....  
.....

## REPORTE TURNITIN

### EFICIENCIA TÉCNICA DE UN MÉTODO DE BOMBEO DE AGUA IMPULSADO POR ENERGÍA HIDRÁULICA EN EL MILAGRO, PROVINCIA DE UTCUBAMBA

#### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>24%</b>	<b>23%</b>	<b>3%</b>	<b>8%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

#### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.untumbes.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>4%</b>
<b>2</b>	<b>Submitted to Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas</b> Trabajo del estudiante	<b>4%</b>
<b>3</b>	<b>revistas.untrm.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>4%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.uss.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>5</b>	<b>dspace.unl.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>tesis.unsm.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>docplayer.es</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>

M.Sc. Jefferson F. Reyno Farje Presidente



# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



## ANEXO 3-S

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 20 de JUNIO del año 2024, siendo las 11:00 horas, el aspirante: ARBANIL HERNÁNDEZ VICTOR MANUEL, asesorado por Mg. WILDOR GOSGOT ANGELES defiende en sesión pública presencial () / a distancia ( ) la Tesis titulada: EFICIENCIA TÉCNICA DE UN MÉTODO DE BOMBEO DE AGUA IMPULSADO POR ENERGÍA HIDRÁULICA EN EL MILAGRO, PROVINCIA DE UTCUBAMBA, para obtener el Título Profesional de INGENIERO AMBIENTAL, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: M.Sc. JEFFERSON FITZGERALD REYES FARJE  
Secretario: M.Sc. GINO ALFREDO VERGARA MEDINA  
Vocal: M.Sc. INGRID ARACELLI CASSANA HUAMAN



Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado () por Unanimidad () / Mayoría ( ) Desaprobado ( )

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 12:20 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

  
SECRETARIO

  
VOCAL

  
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....

## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>iii</b>
<b>AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS .....</b>	<b>iv</b>
<b>VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS .....</b>	<b>v</b>
<b>JURADO EVALUADOR DE LA TESIS.....</b>	<b>vi</b>
<b>CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS .....</b>	<b>vii</b>
<b>REPORTE TURNITIN .....</b>	<b>viii</b>
<b>ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS.....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xv</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>16</b>
<b>II. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>18</b>
2.1. Ubicación de la unidades de estudio .....	18
2.2. Diseño y construcción de la bomba de impulsión hidráulica.....	18
2.2.1 Soporte o base .....	19
2.2.2 Bomba de piston.....	20
2.2.3 Rueda hidráulica.....	21
2.2.4 Cálculo de alturas desde la succión y elevación del agua.....	22
2.2.5 Funcionamiento de la rueda hidráulica .....	25
2.3. Eficiencia de la bomba de impulsión hidráulica .....	25
2.4. Análisis estadísticos del caudal elevado de la bomba de impulsión hidráulica.....	27
<b>III. RESULTADOS .....</b>	<b>28</b>
3.1. Velocidad y caudal del canal por el metodo del flotador .....	28
3.2. Sistema de una bomba de impulsión hidráulica .....	28
3.3. Conducción de agua con el sistema de una bomba de impulsión hidráulica....	30
3.3.1 Caudal extraído por la bomba de impulsión hidráulica .....	30
3.4. Eficiencia de la bomba de impulsión hidráulica .....	31
3.4.1 Eficiencia de descarga de caudal en función a su altura.....	32

<b>IV.</b>	<b>DISCUSIÓN</b> .....	33
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	36
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	37
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	38
	<b>ANEXOS</b> .....	42
	<b>Anexo 1.</b> Caudal elevado por la bomba de impulsión hidráulica.....	42
	<b>Anexo 2.</b> Calculo de la eficiencia de las alturas de descarga de agua.....	43
	<b>Anexo 3.</b> Análisis estadístico con el Test Kruskal Wallis .....	44

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Resultados obtenidos de la rueda hidráulica.....	28
<b>Tabla 2</b> Caudal de descarga por elevación.....	30
<b>Tabla 3</b> Eficiencia de la bomba de impulsión hidráulica.....	31

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de ubicación de la unidad de estudio.....	18
<b>Figura 2.</b> Soporte o base. ....	19
<b>Figura 3.</b> Bomba de pistón.....	20
<b>Figura 4.</b> Rueda hidraulica.....	22
<b>Figura 5.</b> Medición del ancho del canal para el cálculo del caudal .....	22
<b>Figura 6.</b> Medición de la profundidad del canal para el cálculo del caudal .....	22
<b>Figura 7.</b> Medición del canal del punto A al B .....	23
<b>Figura 8.</b> Ubicación de la rueda hidráulica.....	24
<b>Figura 9.</b> Medición de alturas para cálculo de caudal de agua.....	25
<b>Figura 10.</b> Bomba de impulsión hidráulica funcionando a 1 metro de altura.....	29
<b>Figura 11.</b> Bomba de impulsión hidráulica funcionando a 3 metros de altura.....	29
<b>Figura 12.</b> Bomba de impulsión hidráulica funcionando a 5 metros de altura.....	29
<b>Figura 13.</b> Caudal elevado por la bomba de impulso hidráulico.....	30
<b>Figura 14.</b> Eficiencia de la bomba de impulsión por cada elevación .....	32

## RESUMEN

En la actualidad para extraer y bombear agua se usa distintos mecanismos de bombeo como electrobomba, motobomba, esta energía es producida por la combustión de petróleo, gas y electricidad, generando emanaciones de gases de efecto invernadero, por ello, el interés de impulsar sistemas de impulsión de agua, que utilicen energías renovables no convencionales. La investigación evaluó la eficiencia técnica de un método de bombeo por impulsión de una bomba hidráulica para extraer agua de un canal e impulsar a mayor altura. Este sistema se diseñó y construyó con componentes alcanzables para su fácil replicación. Los cálculos del rendimiento de la bomba de impulsión hidráulica se realizaron con alturas de 1, 3 y 5m, siendo los caudales de 3.14 l/min, 2.41 l/min y 1.32 l/min. Se realizó la prueba estadística no paramétrica de Kruskal Wallis para determinar si hay diferencias significativas entre los tratamientos. Los resultados indican que el primer tratamiento a altura de 1 metro es más eficiente con 43.55 %, a 3 metros de altura fue de 33.10 % y el menos eficiente fue el tratamiento tres a 5 metros de altura con 18.30 %, demostrando que existe diferencias significativas. En conclusión, la eficiencia de la bomba de impulsión hidráulica es influenciado por las revoluciones por minuto de la rueda y esta a su vez por la energía cinética del flujo del canal.

**PALABRAS CLAVE:** Rueda hidráulica, Bomba de pistón, eficiencia, caudal de descarga, Canal.

## **ABSTRACT**

Currently, different pumping mechanisms are used to extract and pump water, such as electric pumps and motor pumps. This energy is produced by the combustion of oil, gas and electricity, generating emissions of greenhouse gases. Therefore, the interest in promoting water systems is water drive, which use non-conventional renewable energies. The research evaluated the technical efficiency of an impulse pumping method of a hydraulic pump to extract water from a canal and propel it to greater heights. This system was designed and built with attainable components for easy replication. The performance calculations of the hydraulic drive pump were carried out with heights of 1, 3 and 5m, with flow rates of 3.14 l/min, 2.41 l/min and 1.32 l/min. The non-parametric Kruskal Wallis statistical test was performed to determine if there are significant differences between the treatments. The results indicate that the first treatment at a height of 1 meter is more efficient with 43.55%, at a height of 3 meters it was 33.10% and the least efficient was treatment three at a height of 5 meters with 18.30%, demonstrating that there are significant differences. In conclusion, the efficiency of the hydraulic drive pump is influenced by the revolutions per minute of the wheel and this in turn by the kinetic energy of the channel flow.

**KEYWORDS:** Hydraulic wheel, Piston pump, efficiency, discharge flow, Channel.

## I. INTRODUCCIÓN

La expansión de la agricultura requiere suelo y agua para la producción de acuerdo a la demanda que genera a las personas (Reyes Palomino, & Cano ,2022). Asimismo, el cambio climático aporta de forma importante al desequilibrio alimentario, especialmente por el impacto de la productividad agrícola y el abastecimiento de recursos fundamentales, como el agua para el riego (Franco Cresco, et al ,2024). Además de ello, se suma la extensión de los periodos de sequía o eventos extremos de lluvia que afecta la disponibilidad de las fuentes de agua, por lo que es necesario implementar sistemas de optimización de los recursos hídricos (Rodríguez, et al ,2023).

Por otro lado, existe tecnologías de riego o abastecimiento de agua que funcionan a base de energía fósil, lo que ocasiona emanaciones de gases de efecto invernadero y un elevado costo económico en las actividades productivas (García, 2020). Por ello, las energías renovables son una alternativa para impulsar la optimización de agua en la agricultura (Arias, et al ,2022). Una opción dentro del campo de las energías renovables es la energía hidráulica, que hace funcionar instrumentos mecánicos a través de la energía cinética del agua ocasionada por fuerza de gravedad (Sampath et al., 2015).

Bajo esta perspectiva Romero (2023), presenta un método que sirve para extraer agua utilizando energías renovables teniendo menos impacto ambiental, resaltando a la energía hidráulica, esta metodología se utiliza como unos de los recursos más valiosos porque el agua es la gran mayoría de los ríos, se utilizaba en épocas pasadas empleando en un sistema para la obtención de energía como lo es la rueda hidráulica, permitiendo que ahora se utilice grandes turbinas funcionando en las centrales hidroeléctricas.

Da Rocha (2014), a través de su mecanismo, existente diversos sistemas, uno de ellos es la rueda hidráulica, donde menciona que la rueda hidráulica está compuesta por palas y una espiral de tubería flexible fijada a la misma rueda quedando parcialmente sumergido en la corriente del agua. Al momento de girar, el extremo de la tubería se sumerge y recoge una cierta cantidad de agua y al momento de rotar cuando no está sumergida recoge también una cierta cantidad de aire. Este núcleo de agua primero atraviesa la espiral, luego el núcleo de aire y, a medida que la rueda continúa girando, un nuevo núcleo de agua ingresa al tubo con cada revolución. Mediante que la rueda gira, un grupo de núcleos de agua y aire alternados pasan por el interior de la hélice, donde finalmente se



dirigen hacia el eje de la rueda, donde tiene una junta giratoria sellada donde se conectará a un tubo estacionario que se alejará de la bomba.

También, Vaca (2014), construyó e implementó un método de bomba de impulsor hidráulico de entrada inferior para arrojar el agua a una escala de 92 m y reducir costos del bombeo. Primero se diseñó la rueda hidráulica para el sensor de salida del tanque de velocidad del agua, se determinó el caudal, el número y tamaño de paletas. Concluyeron que al alcanzar una escala de 92 m de altura y a 14l/min su caudal, reemplazando la electrobomba se redujo el costo de bombeo en \$35 mensuales, también mencionaron que se aprovechó el 68.5% (248.4W) del río. Rueda acabada De 1,8 m de diámetro y 0,81 m de ancho, de 9 álabes curvos, combinada con bomba de pistones de doble efecto tipo ZM 51, accionada por cadena de rodillos ASA 50. El método de bombeo depende del caudal directamente disponible en el canal y en normales condiciones, la eficiencia del método alcanza el 64,51%.

De acuerdo con lo anterior, la investigación se centró en evaluar técnicamente una rueda hidráulica con un método de bombeo de agua, por lo cual se diseñó y se construyó un sistema de bombeo de agua, donde se determinó el caudal de bombeo de agua respecto a la altura de elevación, donde se logró calcular el rendimiento del sistema de bombeo de agua para riego tecnificado.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Ubicación de la unidad de estudio

La unidad del estudio fue ubicada en la localidad de la aviación, distrito de El Milagro, provincia de Utcubamba, departamento de Amazonas, en las coordenadas UTM 766404 Este y 9379576 Norte y a una altitud de 376 msnm. Específicamente en el canal San Juan del Maraño, con un ancho 4.70 metros y una profundidad de 1 metro.

**Figura 1.**

*Mapa de ubicación de la unidad de estudio.*



### 2.2. Diseño y construcción de la bomba de impulsión hidráulica

Se diseñó y también se construyó un prototipo de una bomba de río que consiste en los siguientes elementos: una rueda hidráulica que gira por la fuerza del agua cuando este choca con las aspas, una bomba de pistón accionada por un mecanismo de transmisión por cadena, una instalación hidráulica con tubería PVC y una manguera negra por donde circuló el agua bombeada que se hizo llegar a un depósito de almacenamiento. Herrera (2011)

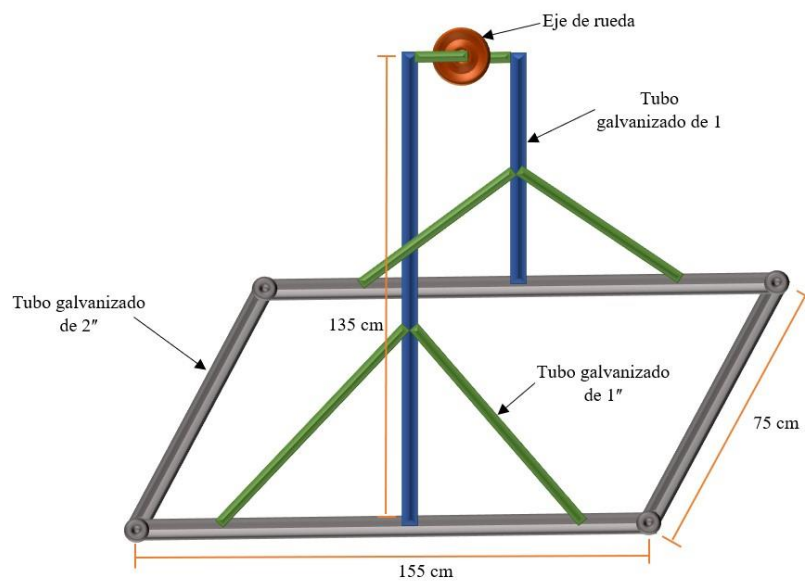
El mecanismo fue construido con materiales, tales como: fierro corrugado, tubos galvanizados (una, dos y tres pulgadas), madera(laurel), pernos y/o tuercas, válvulas antirretornos, niples de una pulgada, manguera transparente, chumaceras de una pulgada, electrodos y máquina de soldadura.

### 2.2.1. Soporte o base

La base se construyó para fijar el eje de la rueda hidráulica, se fabricó en tubos galvanizados. Para su construcción de la estructura en forma rectangular se empleó tubo galvanizado (de 2", 1", 1 ¼", fierro corrugado de 5/8"), soldado con electrodo punto azul, con la finalidad de obtener mejor resistencia y sirva como sostén a la rueda hidráulica, con una altura 1.35 metros por 0.75 metros de ancho.

**Figura 2.**

*Soporte o base.*

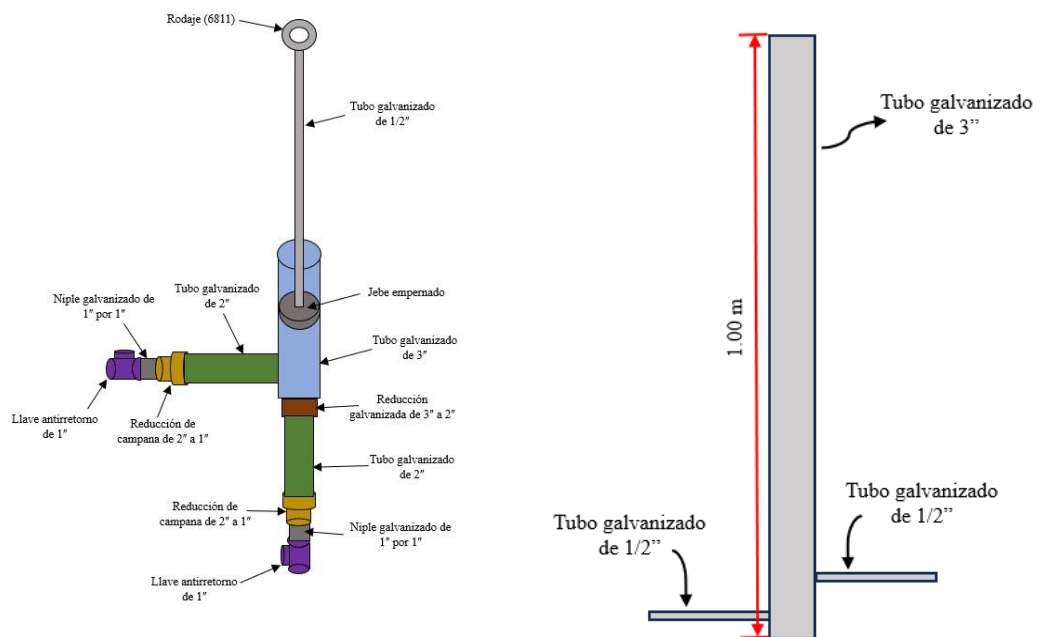


### 2.2.2. Bomba de pistón

La bomba de pistón se diseñó y construyó con la finalidad de optimizar el movimiento de rueda hidráulica para el impulso del agua. Por ello, la bomba está compuesta por un eje accionador la succión y compresión del fluido. La bomba de pistón se ha acoplado a la rueda hidráulica en la parte lateral derecha. Esta ama se construido por un tubo galvanizado de 3 pulgadas de 30 cm de longitud, dos (02) tubos galvanizados de 2 pulgadas de 30 cm cada uno, un eje de 60 cm de longitud, y un jebe de 3" de diámetro que va unido al eje. Adicional a la bomba se añadió una cámara de aire de forma vertical de tubo galvanizado (3", ½"), con la finalidad de obtener una cámara de aire resistente, con una altura de 1 metro, dos orificios de entrada y salida de 20 centímetros.

**Figura 3.**

*Bomba de pistón.*

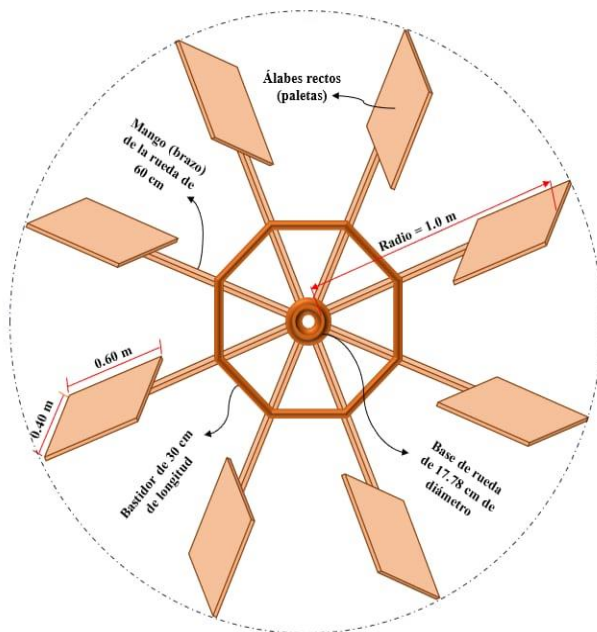


### 2.2.3. Rueda hidráulica

La rueda hidráulica se diseñó y construyó con un diámetro 2 metros con 8 ejes y 8 paletas, todo fue construido de madera laurel. Para ello perforábamos manualmente con un taladro y una broca de 5/8" la base de la rueda hidráulica, para que conecte el eje de la rueda hidráulica que tiene como función sujetar la base que unirán los mangos, bastidores y las paletas para que pueda hacer girar la rueda hidráulica. Para acoplar los mangos a rueda hidráulica, se procedió realizar un orificio de 2 cm de ancho, 9 cm de largo y 3 cm de profundidad. Los ocho mangos (08) tiene de 40 cm de longitud, 9 cm de ancho y 2 cm de espesor, a estos mangos se fijaron ocho (08) bastidores de madera de 30 cm de longitud, 8 cm de ancho y 2 cm de espesor, con la finalidad de dar resistencia y estabilidad a los brazos de la rueda hidráulica, la fijación de los mangos de madera y bastidores de madera se realizó con cola (pegamento) y clavos de 1 ¼ pulgada.

**Figura 4.**

Rueda hidráulica.



#### 2.2.4. Cálculo de alturas desde la succión y elevación del agua

Para realizar el cálculo se procedió de la siguiente manera:

##### A. Medición de caudal del canal de alimentación

Para medir el caudal del canal de alimentación se realizó por el método de flotación. Para eso se midió (longitud, ancho y profundidad) del canal. Se seleccionó un tramo de canal cuya característica sea de agua con flujo laminar.

##### Figura 5.

*Medición del ancho del canal para el cálculo del caudal.*



##### Figura 6.

*Medición de la profundidad del canal para el cálculo del caudal.*



Luego de la selección del tramo se pudo ubicar dos puntos, y son los siguientes: A (inicio) y B(llegada); donde su distancia fue de 22 metros, donde calculamos el tiempo que demoró el flotador de llegar de A hasta B.

**Figura 7.**

*Medición del canal del punto A al B.*



Para calcular el caudal se utilizó la siguiente fórmula (Ministerio De Agricultura, 2005):

$$Q = C \times A \times \frac{e}{t}$$

Donde:

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

C: Factor de corrección (0.85)

e: Espacio recorrido por el flotador (m)

t: Tiempo recorrido del espacio por el flotador (s)

A: Área de la sección transversal (m<sup>2</sup>)

**B. Implementación de la rueda hidráulico en el sitio de bombeo**

Para realizar las pruebas de funcionamiento de la rueda hidráulico se procedió a instalarlo en centro del canal. Luego se realizó conteo de numero de revoluciones por minuto que giraba la rueda, para ello, se fijó en una paleta una rafia de color blanco.

## Figura 8.

*Ubicación de la rueda hidráulica.*



Para determinar la velocidad tangencial de la rueda hidráulica de impulsión consideramos un movimiento circular uniforme (MCU), usando la fórmula establecido por la física – cinética ( $v=2\pi r/T$ ), para determinar el tiempo que se necesita para que la rueda hidráulica rote una vuelta completa de  $360^\circ$ , lo realizamos mediante la observación 10 tomas con un cronometro, para cada desnivel que se calculó que fueron 1, 3 y 5 m de altura., teniendo estos datos podemos obtener la velocidad tangencial de la rueda hidráulica, dando como resultado lo siguiente:

Donde:

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

v: Velocidad tangencial ( $\frac{m}{s}$ )

D: Diámetro (m)

r: Radio de la rueda (m)

Obteniendo la velocidad tangencial podremos obtener la velocidad angular de la bomba de impulsión hidráulica de la siguiente manera:

$$N = \frac{Vr}{Rr} \times \frac{60}{2\pi}$$

Donde

N: Revoluciones por minuto (RPM)

Vr: Velocidad de la rueda ( $\frac{m}{s}$ )

Rr: Radio de la rueda (m)



### 2.2.5. Funcionamiento de la rueda de impulsión hidráulica

Se realizó el traslado el prototipo al canal ya mencionado anteriormente. Para que la rueda de impulsión hidráulica empiece a funcionar, primero se introduce al canal, luego la misma velocidad del agua empezara a girar la rueda hidráulica, una vez ya estando girando la rueda, succionara el agua a través de la bomba de pistón, al cual se instaló una válvula anti retorno que al momento de succión evite que el agua regrese hacia el canal, el fluido ingreso por una manguera de  $\frac{3}{4}$ " de forma discontinua, hacia la cámara de aire. Una vez que el agua estuvo dentro de la cámara de aire por la presión ejercida del pistón movido por la rueda hidráulica, se cerró la válvula anti retorno y se abriera la válvula che de paso e hizo que el agua saliera por la línea descarga. Luego, se procedió a las mediciones del caudal en las tres medidas de descarga a 1m, 3m y 5m. para ello, se usó un cronómetro y balde de ocho litros graduado.

#### Figura 9.

*Medición de alturas para cálculo de caudal de agua.*



### 2.3. Eficiencia de la bomba de impulsión hidráulica

La eficiencia de una bomba de impulsión, partimos de cualquier máquina que viene dada por la expresión:

$$Eficiencia = \frac{W \text{ salida}}{W \text{ entrada}}$$

Donde W se refiere a trabajo.

El trabajo de salida se expresa mediante la ecuación.

$$W \text{ salida} = \rho \times V \times H$$

Donde:

$\rho$ : Densidad del agua. ( $\frac{1Kg}{l}$ )

V: Volumen de descarga en litros. (l)

H: Altura de descarga en metros. (m)

De manera que W salida nos queda en Kg – m, mediante la expresión:

$$W \text{ salida} = 1 \times V \times H$$

El trabajo de entrada se determina mediante la ecuación:

$$W \text{ entrada} = F \times \pi \times Rev \times D$$

Donde:

F: Fuerza aplicada a la rueda (kg)

Rev: Número de revoluciones que da la rueda en un tiempo en descargar un volumen V de agua.

D: Diámetro de la rueda. (m)

W entrada también nos quedaría en Kg - m.

La fuerza F nos sale mediante la ecuación:  $F = \rho \times Q \times \Delta v$

Conocemos además que:

$$\Delta v = v_2 - v_1$$

Para nuestro caso en particular conocemos que, si partiría del reposo, entonces  $V_1=0$ , entonces  $V_2$  sería el valor de  $V$ . Entonces:

$$F = \rho \times Q \times v$$

Para hallar  $v$  nos basamos en la fórmula:

$$v = \omega \times r$$

Donde:

$\omega$ : Velocidad angular de la rueda en (rpm)

$r$ : Radio distancia en metros desde el centro de la rueda al centro de la paleta que es el lugar medio donde se aplicaría la fuerza  $F$ . (m)

#### **2.4. Análisis estadístico del caudal elevado por la bomba de impulsión hidráulica.**

Con los datos recogidos en campo del caudal obtenido por la bomba de impulsión hidráulica de acuerdo a las alturas de descargas (uno, tres y cinco metros), se analizaron las diferencias de caudal según su elevación, al tener diferencias considerables entre las descargas se aplicó la prueba estadística de Kruskal – wallis siendo esta un parámetro estadístico no paramétrico.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Velocidad y caudal del canal por el método del flotador

Para calcular se realizaron 5 lanzamientos en una distancia de 22 metros, donde se obtuvo como promedio 20.2 segundos con el método del flotador. La velocidad obtenida fue de 1.08 m/s y un caudal 4.31 m<sup>3</sup>/s.

#### 3.2. Sistema de una bomba de impulsión hidráulica

En este sistema se consideró la velocidad de giro de la rueda hidráulica que estuvo determinada de acuerdo con las alturas de descarga (1m, 3m, 5m), los valores obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 1.**

*Resultados obtenidos de la rueda hidráulica.*

Altura de descarga (m)	n álabes	D Rueda (m)	Velocidad tangencial (m/s)	Periodo de giro a 360° (s)	Revoluciones por minuto - RMP
1	8	2	0.49	12.75	4.70
3	8	2	0.22	28.42	4.22
5	8	2	0.15	42.77	2.80

Para el funcionamiento completo desde la succión del agua de la bomba de impulsión hasta las alturas mencionadas que en este caso como referencia se utilizó una palmera para validar las alturas de 1m, 3m y 5m. La bomba de impulsión transporto el agua en una manguera transparente hacia la palmera, para cada elevación se calculó la medida en un balde graduado de 8 litros de caudal entregado.

**Figura 10.**

*Bomba de impulsión hidráulica funcionando a 1 metro de altura.*



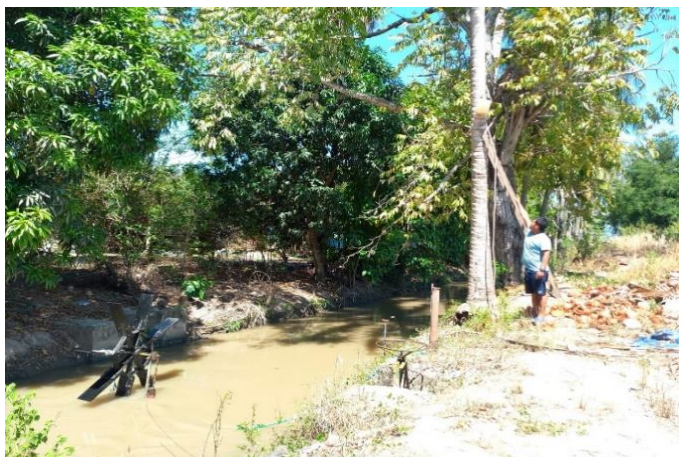
**Figura 11.**

*Bomba de impulsión hidráulica funcionando a 3 metros de altura.*



**Figura 12.**

*Bomba de impulsión hidráulica funcionando a 5 metros de altura.*



### 3.3. Conducción de agua con el sistema de una bomba de impulsión hidráulica

#### 3.3.1. Caudal extraído por la bomba de impulsión hidráulica

La medida de caudal de descarga correspondiente a la altura de cada toma echa a la bomba de impulsión hidráulica con alturas de uno, tres, cinco metros en el que se ha transportado agua con un caudal 3.14 l/min, 2.41 l/min y 1.32 l/min, respectivamente. Por ello se puede decir, que a mayores alturas se obtendrá menor caudal. Podemos decir que, con una altura de 1 metro en 64 minutos se puede obtener un llenado de un cilindro de  $0.2 \text{ m}^3$ , con una altura de 3 metros se puede obtener un llenado en 83 minutos y con 5 metros se puede obtener un llenado en 153 minutos.

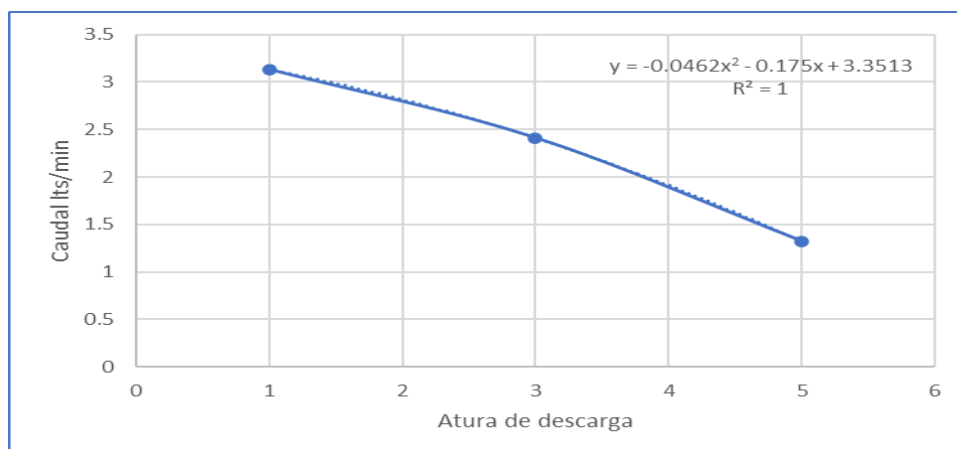
**Tabla 2.**

*Caudal de descarga por elevación.*

Altura de descarga (m)	Caudal (l/min)
1	3.14
3	2.41
5	1.32

**Figura 13.**

*Caudal elevado por la bomba de impulso hidráulico.*



Además, se definió si existe diferencias significativas para el caudal de descarga conforme a su altura de elevación, dando como resultado que  $H_0$  se Rechaza, por lo tanto, como  $H >$  valor calculado, Existe diferencia significativa entre las medianas (Caudal (L/MIN)), mediante la prueba estadística Chi cuadrado a un nivel de significancia del 5%.

### 3.4. Eficiencia de la bomba de impulsión hidráulica

Para ello se determinó la eficiencia de la bomba de impulsión hidráulica con las tres alturas de descarga (1,3 y 5 m). En primer lugar, se consideró el caudal de descarga de las tres alturas de aguas elevadas.

#### 3.4.1. Eficiencia de descarga de caudal en función a su altura

La eficiencia de la bomba de impulsión hidráulica de las alturas de descargas de un metro, tres metros, cinco metros, fueron 43.55 %, 33.10 %, 18.30 %, lo que significa que si va aumentando la altura disminuye la eficiencia y el caudal de descarga, de hecho, podemos observar en la tabla 3 y en la figura 13, donde los resultados encontrados permitieron determinar la ecuación cuadrática.

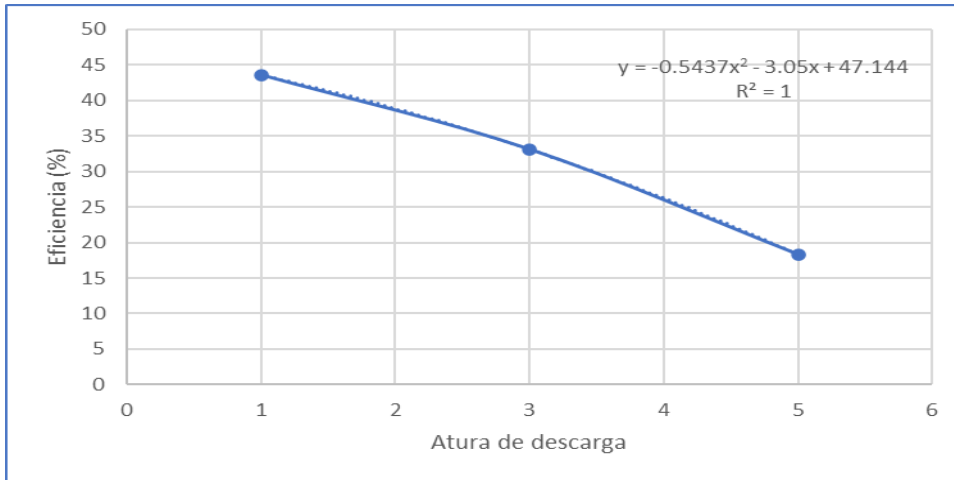
**Tabla 3.**

*Eficiencia de la bomba de impulsión hidráulica.*

Altura de descarga (m)	Caudal de descarga (Lt/min)	Trabajo de salida (KG-M)	Trabajo de entrada (KG-M)	Eficiencia (%)
1	3.14	3.14	7.21	43.55
3	2.41	7.23	21.84	33.10
5	1.32	6.60	36.06	18.30

**Figura 14.**

*Eficiencia de la bomba de impulsión por cada elevación.*





#### IV. DISCUSIÓN

Las bombas de impulsión hidráulica son sistemas simples de energía no convencional que permiten el desplazamiento del agua a una mayor altura haciendo uso de la energía cinética del mismo flujo. La bomba de pistón es un mecanismo fácil que, mediante un pistón, genera accionamiento de succión del flujo que permiten el bombeo del fluido. Su funcionamiento se basa en cuatro componentes: rueda hidráulica, bomba de pistón, cámara de aire y manguera de descarga. (Hernández, 2017)

La agricultura en nuestro país carece de métodos tecnológicos de irrigación es por ello que para mejorar esta deficiencia existe la bomba de ariete con ventajas y desventajas. (Peralta, 2015).

El agua que impulsa estos sistemas de bombas de ariete integra desde cuatro hasta seis veces en relación con la altura de alimentación (Diwan et al., 2020), en la investigación el rendimiento de la bomba de impulsión hidráulica no es indispensable un desnivel, solamente se tiene que tener en el área de estudio un caudal continuo para que la rueda hidráulica esté inmersa unos 10 a 15cm por debajo del espejo del agua para que así cumpla el movimiento rotatorio y a su vez genere succión e impulsión del agua, donde este sistema de bomba de pistón impulso la descarga de agua a una altura máxima de 5m.

Se desarrollo el diseño de un prototipo de bomba coaccionada por un caudal de agua para suministrar el recurso hídrico hacia la villa nueva Veracruz, el investigador recurrió a un sifón para obtener mayor fuerza en el bombeo del agua, en la investigación que se realizó no fue indispensable el uso del sifón ya que en el área de estudio no se tuvo dificultades, ya que la bomba de pistón ejecutaba el accionar de succión e impulsión. (Casas, 2012)

En esta investigación se plantea como criterio el uso alabes rectos que capture la energía cinética de la corriente del agua, produciendo la rotación de la misma y un torque debido a la fuerza, el cual es transmitido al eje de la bomba de pistón mediante un sistema de transmisión por cadena para realizar el bombeo de agua, con estas consideraciones se diseñó una rueda hidráulica de 1.00m de radio, con ocho alabes rectos de 0.60 m de largo por 0.40 m de ancho, la cual estarán por debajo del espejo del agua haciendo que la energía cinética del flujo gire la rueda y esta trasmita su fuerza al sistema de la bomba de pistón para impulsar el recurso hídrico a mayores alturas. (Vaca, 2014).

Cáceres (2015), el sistema de transmisión del eje de la rueda hidráulica tiene una capacidad de efecto que mejora en la impulsión de agua de un punto a otro, por lo cual en la investigación se llegó a tener una efectividad, por ello se realizó un sistema por medio de transmisión, por energía mecánica de la rueda hidráulica hacia la bomba de pistón con una funcionalidad simple y un mantenimiento del sistema de bombeo periódico y preventivo.

Dicho sistema de transmisión del eje de la rueda hidráulica hacia la bomba de pistón se consideró usar como sistema de transmisión de fuerza la rotación del eje y la presión y empuje del flujo que genera la bomba, incluyendo como mención a las investigaciones hechas por los autores de (Casas & Cáceres 2012).

Los sistemas mecánicos rudimentarios como las ruedas hidráulicas son de buena productividad, empleadas en fundos y pequeñas industrias que operan con una a ocho rpm de transmisión por correas (MacIntyre, 1983), la cual, para la presente investigación, la bomba de impulsión hidráulica llegó hasta 4.70 revoluciones por minuto, esto dependerá de diversos elementos como el caudal de agua, el flujo laminar, turbulento, y el diámetro de estudio de la rueda hidráulica.

Morgan (1979), menciona que para un desnivel de ocho metros accionada con dieciséis paletas se logra llenar 1,3 litros en cada revolución, en esta investigación se determinó que para una elevación de caudal promedio de tres metros se obtuvo un volumen promedio de agua impulsada de 2.29 litros con una velocidad promedio de 3.90 revoluciones por minuto, resultados obtenidos que nos permiten confirmar la ejecución de este mecanismo que a mayor número de paletas, también mayor número de diámetro de la rueda hidráulica el volumen de agua aumenta.

Tipismana (2012), indica que la bomba es utilizada para incrementar la presión de un fluido aumentando la energía al sistema hidráulico, para desplazar el flujo de una zona de menor presión a otra de mayor presión, por lo que el autor argumenta cumple con la bomba de impulsión hidráulica, ejecutada en esta investigación, que al principio del funcionamiento de la bomba, existe una menor presión que difiere con la presión final debido a su altura máxima de descarga de 5 metros.

Según Bosa et al. (2019), por lo general la bomba de ariete hidráulica impulsa el 10 % del agua que recibe y su eficiencia está condicionada al tamaño de la bomba; sin embargo, para Inthachot et al. (2015) depende de la altura de elevación y el diseño de la válvula, esto lo corrobora Radian et al. (2019) pero añade también al caudal de ingreso, y para Risco et al. (2021) tiene que ver la cantidad de válvulas. De acuerdo a Hussin et al. (2017) la eficiencia lograda fue de un 17 % pero se debe aumentar las dimensiones de la cámara de aire, en tanto la eficiencia con el método de impulsión con bomba de pistón hidráulica obtuvo resultados entre 18.30 % a 43.55 % de acuerdo a la altura de descarga, demostrando un mayor rendimiento, donde los resultados guardan relación con Svyatoslav (2011) quien argumentó que las ruedas hidráulicas tienen una eficiencia hidráulica de 30 - 40%.

Para comprobar si hay diferencias significativas entre los tratamientos como lo indica (Cruz, 2022), quien realizó tres tratamientos con 27 repeticiones y ANOVA, en esta investigación, por la distribución de los datos registrados se realizó el test de Kruskal - Wallis para tres tratamientos evaluados, dando como resultado el pvalue menor a 0.05, por lo que se aceptó la  $H_1$  que si hay diferencias significativas entre los grupos, donde se determinó que el tratamiento T1 tuvo mayor caudal elevado, el tratamiento T2 y T3 menores caudales elevados, encontrándose que hay diferencias entre los tratamientos sin ningún tipo de similitud.

El uso de estos sistemas mecánicos de impulsión de agua puede fortalecer y minimizar los impactos negativos que se dan en el medio ambiente, proponiendo una nueva forma de succionar e impulsar el agua sin la necesidad de utilizar energía eléctrica o combustibles fósiles (Januddi et al., 2018). Lo cual, se ha podido demostrar en el estudio de la investigación ejecutada, cuyo método será apto en cualquier zona rural o urbano teniendo en consideración la energía cinética del flujo de agua para el funcionamiento de la bomba de impulsión hidráulica.

## V. CONCLUSIONES

- El sistema de bomba de impulsión hidráulica se diseñó y construyó para succionar e impulsar agua a una altura máxima de 5 m. La rueda hidráulica está construida con 8 álabes rectos, un diámetro de 2 m desde el eje, y una bomba de pistón adaptadas con tuberías galvanizadas (1 pulg, 2 pulg y 3 pulg; válvula antirretorno; eje accionador de ½ pulg).
- Se determinó el caudal de descarga del sistema de bombeo a tres alturas de elevación sobre el nivel del espejo de agua del canal, para la altura de un metro impulsó 3.14 l/min, a una altura de tres metros impulsó 2.41 l/min y para cinco metros de altura impulso 1.32 l/min. Por lo que, a mayor altura, menor volumen de descarga, las cuales dependerán de la energía cinética del flujo de agua.
- El caudal de elevación y la eficiencia de la bomba de impulsión hidráulica estuvo relacionada a la altura de descarga de uno, tres y cinco metros. A un metro de altura de descarga se obtuvo 4.70 Rev/min y una eficiencia de 43.55 %. A tres metros de altura de descarga se logró 4.22 Rev/min y una eficiencia de 33.10 %, y con cinco metros de altura obteniendo 2.80 Rev/min y una eficiencia de 18.30 %. Los resultados obtenidos conforme se eleva la altura disminuye el caudal por tanto la eficiencia de la bomba de impulsión hidráulica, pero con el método de bombeo se logró succionar e impulsar agua sin el uso de combustibles fósiles.
- Las revoluciones por minuto de la rueda hidráulica dependen de la velocidad del caudal del canal, como también del tamaño de la rueda (la rueda hidráulica de menor tamaño se obtiene más revoluciones y más grande menos revoluciones, en consecuencia, de menor tamaño menor fuerza y mayor tamaño mayor fuerza).

## VI. RECOMENDACIONES

- Capacitar a técnicos, comisiones de regantes y agricultores en el diseño y proceso constructivo para el impulso del agua a alturas promedio entre 3 - 5 m; almacenándole en pequeños estanques y utilizarla convenientemente en pequeñas granjas, huertos o jardines.
- Identificar y/o adaptar tramos de fuentes de agua con flujos de velocidad constante que generen una mayor energía cinética hacia un sistema de bombeo instalado, y obtener mayores revoluciones por minuto en mayores alturas de descarga de agua.
- Implementar nuevos mecanismos de succión e expulsión de agua para obtener mayor caudal a diferentes alturas sin la necesidad del uso de energías convencionales.
- La utilización y eficiencia de la bomba de impulsión hidráulica tiene características e instalación sencillas, por lo que el modelo de la bomba hidráulica utiliza piezas fáciles de adquirir como materiales reutilizables como tubos galvanizados, entre otros materiales que se pueden adquirir en los establecimientos de reciclaje.
- Proponer el uso de sistemas sostenibles económicamente y ambiental para la conducción del agua en zonas geográficas donde las bombas convencionales tienen un alto costo monetario, y donde haya una deficiencia de energía eléctrica.
- Se recomienda el uso de los equipos de protección personal sea de uso obligatorio en todo el proceso constructivo de la investigación de los proyectos que se realicen los futuros tesisistas.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, D., Gavela, P., & Riofrio, J. (2022). *Estado del arte: incentivos y estrategias para la penetración de energía renovable*. *Revista Técnica energía*, 18(2), 91-103. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v18.n2.2022.494>
- Bosa, I. R., Monaco, P. A. V. Lo, Haddade, I. R., Barth, H. T., Roldi, V., Vieira, G. H. S., & Neto, A. C. (2019). *Efficiency of Hydraulic Ram Pumps Made with Alternative Materials*. *Journal of Experimental Agriculture International*, February, 1–7. <https://doi.org/10.9734/jeai/2019/v31i430076>
- Brekke, H. (2001). *Hydraulic turbines*. Desing, erection, and operation.
- Castro Seminario, W. E., & Martinez Oviedo, J. Y. (2017). *Construcción de una bomba de espiral para impulsar el agua de riego del canal margen izquierda del Rio Tumbes 2017*.
- Casas, R. (2012). *Diseño de un prototipo de bomba accionada con energía hidráulica para uso agropecuario en Villa Nueva Veracruz*. Tesis (Ingeniero Mecánico Electricista). Xalapa: Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, pp 88. <https://doi.org/10.25127/ucni.v5i1.887>
- Cáceres, A. (2015). *Diseño y construcción de una rueda hidráulica para impulsar agua desde una vertiente con mediano caudal hacia una vivienda a 300 m de distancia en puerto quito recinto la magdalena*. Tesis (Ingeniero Mecánico). Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2015, 120 pp. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/9244>
- Chow, V. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*, Colombia: McGraw Hill.
- Cruz, U.B. (2022). *Rendimiento de una bomba hidráulica prototipo a diferente diámetro de tubería y singularidades*. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 5(2), 37-41.
- Da Rocha, J. (2014). *Bomba de espiral. Una bomba de agua de baja velocidad. Proyecto para dar de beber a una manada pastoreo de ganado usando una bomba de autosuficiencia energética* (tesis de pregrado). Instituto Superior de Ingeniería de Porto, Porto – Brasil.

- Diwan, P., Patel, A., & Sahu, L. (2020). *Design and Fabrication of Hydraulic Ram with Methods of Improving Efficiency*. Technical Research Organisation India, 11(6), 83–89.
- Franco-Crespo, C., Sánchez, X. I., Villamarín, A., & Jordán, I. (2024). *Evaluación de las percepciones de los agricultores sobre el cambio climático: una comparación con los escenarios RCP mediante datos de pequeños agricultores de Tungurahua, Ecuador*. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 25(1).
- García, S. D. *Facultad de Ciencias Económicas Contabilidad y Finanzas Trabajo de Diploma* (2020).
- Gutiérrez Camargo, D. E., & Tafur Naquiche, J. A. (2019). *Diseño de una bomba tipo espiral para irrigación de cultivos del centro poblado la crialambayequé*.
- Herrera, V. (2011). *Diseño y construcción de una riobomba para riego de las quintas del área agropecuaria y de recursos naturales renovables*. Tesis (Ingeniero Electromecánico). Ecuador: Universidad Nacional de Loja, Área De La Energía, Las Industrias Y Los Recursos Naturales No Renovables. 2011, 180 pp.
- Hernandez Solis, V. M. (Noviembre de 2017). *Diseño De Bomba Hidráulica De Pistones Accionada*. Guatemala.
- Hussin, N. S. M., Gamil, S. A., Amin, N. A. M., Safar, M. J. A., Majid, M. S. A., Kazim, M. N. F. M., & Nasir, N. F. M. (2017). *Design and analysis of hydraulic ram water pumping system*. *Journal of Physics: Conference Series*, 908(1). <https://doi.org/10.1088/17426596/908/1/012052>
- Inthachot, M., Saehaeng, S., Max, J. F. J., Müller, J., & Spreer, W. (2015). *Hydraulic ram pumps for irrigation in Northern Thailand*. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 5, 107– 114. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.08.015>.

- Januddi, F. S., Huzni, M. M., Effendy, M. S., Bakri, A., Mohammad, Z., & Ismail, Z. (2018). *Development and Testing of Hydraulic Ram Pump (Hydram): Experiments and Simulations*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 440(1), 012032. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/440/1/012032>
- Macintyre, A. J. (1983). *Máquinas motrizes hidráulicas*. Rio de Janeiro: Guanabara.
- Medina Gamonal, A. R. (2022). *Diseño de una bomba barsha para irrigación de cultivos de las tierras ubicadas próximas al canal Taymidistrito De Pátapo*.
- Patil, N. R., Gaikwad, S. R., Navale, R. A., & Sonawane, D. S. (2014). *Design, Manufacturing and Performance Analysis of Spiral Coil Pump*. In *Applied Mechanics and Materials*, 446(447), 549 - 552. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.446-447.549>
- Peralta, H. (2015). *Aplicacion del golpe de ariete hidráulico para el aprovechamiento del agua de manantial en quequerana moho*.
- Pérez, A. y Díaz, F. (1991). *Manual de Aforos*, México DF: IMTA, 1991.
- Praveen, D. & Harshal, R. (2016). *Spiral Tube Water Wheel Pump*. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication (IJRITCC)*, 4(4), 137 – 139.
- Radiyan, M. F., Wibowo, B. S., & Sakti, F. T. (2019). *The Performance and Efficiency Rating Evaluation of a Hydraulic Ram Pump Prototype With Height Variations*. *FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)*, 7(1), 47–53. <https://doi.org/10.33019/fropil.v7i1.1403>
- Reyes-Palomino, S. E., & Cano Ccoa, D. M. (2022). *Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad*. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(1), 53-64.
- Risco Moreno, E., Muelas-Hurtado, R. D., & Acosta-Porras, E. A. (2021). *Analysis of two hydraulic ram pumps in parallel operating with single-vertical supply*.



*Journal of Physics: Conference Series*, 2022(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2022/1/012028>

- Romero, W. J. Z. (2023). *Sistema de producción de energía hidroeléctrica mediante una rueda hidráulica en el río Chone, Ecuador*. Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional, 8(3), 2675-2697.
- Rodríguez, J. Q., Montañez, T. C. P., Quezada, U. R. Q., & Barrera, I. A. (2023). *Potencial de riego de aguas de microcuenca en áreas productivas en Andes Centrales de Perú*. Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria, 7(19), 209-217.
- Sampath, S. S., Shetty, S., Pendanathu, A. M., Javaid, W., & Chithirai Pon Selvan, M. (2015). *Estimation of Power and Efficiency of Hydraulic Ram Pump with Re-circulation System*. International Journal of Computer-Aided Mechanical Design and Implementation, 1(1), 7–18. <https://doi.org/10.21742/ijcmdi.2015.1.1.02>
- Vaca, R. (2014). *Diseño y construcción de un sistema de bombeo mediante una rueda hidráulica de alimentación inferior, para la granja de pollos Avícola Serrano*. Tesis (Ingeniero Electromecánico). Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, Área De La Energía, Las Industrias Y Los Recursos Naturales No Renovables. 2014, 182 pp.
- Vaca, R. (2014). *Diseño y construcción de un sistema de bombeo mediante una rueda hidráulica de alimentación inferior, para la granja de pollos Avícola Serrano*. Tesis (Ingeniero Electromecánico). Ecuador: Universidad Politecnica Salesiana, Área de la Energía, Las Industrias Y Los Recursos Naturales, No renovables. pp182.

## ANEXOS

### Anexo 1. Caudal elevado por la bomba de impulsión hidráulica.

<b>Bomba de impulsión hidráulica</b>				
<b>Altura elevada</b>	<b>Volumen (L)</b>	<b>Tiempo (T)</b>	<b>Caudal (L/MIN)</b>	<b>Promedio de caudal</b>
1 m	8	2.52	3.17	3.14
1 m	8	2.57	3.11	
1 m	8	2.58	3.10	
1 m	8	2.55	3.14	
1 m	8	2.51	3.19	
1 m	8	2.56	3.13	
1 m	8	2.58	3.10	
1 m	8	2.57	3.11	
1 m	8	2.51	3.19	
1 m	8	2.56	3.13	
3 m	8	3.27	2.45	2.41
3 m	8	3.34	2.40	
3 m	8	3.31	2.42	
3 m	8	3.35	2.39	
3 m	8	3.29	2.43	
3 m	8	3.31	2.42	
3 m	8	3.34	2.40	
3 m	8	3.36	2.38	
3 m	8	3.28	2.44	
3 m	8	3.33	2.40	
5 m	8	6.07	1.32	1.32
5 m	8	6.02	1.33	
5 m	8	6.04	1.32	
5 m	8	6.01	1.33	
5 m	8	6.08	1.32	
5 m	8	6.11	1.31	
5 m	8	6.07	1.32	
5 m	8	6.11	1.31	
5 m	8	6.03	1.33	
5 m	8	6.09	1.31	

**Anexo 2.** Cálculo de la eficiencia de las alturas de descarga de agua.

**Para 1 m de altura a 1 min**

$$W \text{ salida} = \rho \times V \times H$$

$$W \text{ salida} = 1 \frac{\text{Kg}}{\text{l}} \times 3.14 \text{ l} \times 1 \text{ m}$$

$$W \text{ salida} = 3.14 \text{ kg} - \text{m}$$

$$W \text{ entrada} = F \times \pi \times \text{Rev} \times D$$

$$F = \rho \times Q \times v$$

$$F = 1 \frac{\text{Kg}}{\text{l}} \times 0.052 \frac{\text{l}}{\text{s}} \times v$$

$$v = \omega \times r$$

$$v = 4.70 \text{ rpm} \times 1 \text{ m}$$

$$v = 4.70 \text{ m/s}$$

$$F = 1 \frac{\text{Kg}}{\text{l}} \times 0.052 \frac{\text{l}}{\text{s}} \times 4.70 \text{ m/s}$$

$$F = 0.2444 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W \text{ entrada} = 0.2444 \times 3.1416 \times 4.70 \times 2$$

$$W \text{ entrada} = 7.21 \text{ kg} - \text{m}$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{W \text{ salida}}{W \text{ entrada}} \times 100$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{3.14}{7.21} \times 100$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{3.14}{7.21} \times 100$$

$$\text{Eficiencia} = 43.55 \%$$

**Anexo 3.** Análisis estadístico con el Test Kruskal Wallis

**Hipótesis Nula:** No existe diferencia significativa entre las medianas (Caudal (L/MIN))

$$H_0 : U_1 = U_2 = U_3$$

**Hipótesis Alternativa:** Existe diferencia significativa entre las medianas (Caudal (L/MIN))

$$H_1 : U_1 \neq U_2 \neq U_3$$

**NIVEL DE SIGNIFICANCIA:**  $\alpha = 0.05$

**ESTADÍSTICA DE PRUEBA:** Prueba No paramétrica (kruskal Wallis)

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \left( \frac{R_1^2}{n_1} + \frac{R_2^2}{n_2} + \frac{R_3^2}{n_3} \right) - 3(n+1)$$

$$R_1^2 = 255^2$$

$$R_2^2 = 155^2$$

$$R_3^2 = 55^2$$

$$n_1 = 10$$

$$n_2 = 10$$

$$n_3 = 10$$

$$n = n_1 + n_2 + n_3 = 10 + 10 + 10 = 30$$

$$1 - \frac{\sum T}{n^3 - n}$$

$$T = t^3 - t$$

$$t = n^\circ: \text{\_rangos\_empatados\_por\_grupo}$$

$$t = 8 \text{\_grupos\_empatados}$$

Ti	Rangos	Ti	Número
3	2	T1	24
4	5.5	T2	60
3	9	T3	24
3	14	T4	24
2	16.5	T5	6
2	21.5	T6	6
2	25.5	T7	6
2	29.5	T8	6
		<b>Total</b>	<b>156</b>

$$T_1 = t^3 - t = 3*3*3 - 3 = 24 \quad T_2 = t^3 - t = 4*4*4 - 4 = 60$$

$$T_3 = t^3 - t = 3*3*3 - 3 = 24 \quad T_4 = t^3 - t = 3*3*3 - 3 = 24$$

$$T_5 = t^3 - t = 2*2*2 - 2 = 6 \quad T_6 = t^3 - t = 2*2*2 - 2 = 6$$

$$T_7 = t^3 - t = 2*2*2 - 2 = 6 \quad T_8 = t^3 - t = 2*2*2 - 2 = 6$$

Por lo tanto, es  $T = 24 + 60 + 24 + 24 + 6 + 6 + 6 + 6 = 156$

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \left( \frac{R_1^2}{n_1} + \frac{R_2^2}{n_2} + \frac{R_3^2}{n_3} \right) - 3(n+1) \quad 1 - \frac{\sum T}{n^3 - n} = 26.96$$

	<b>Caudal (L/MIN)</b>	<b>Orden de menor a mayor</b>	<b>Rangos</b>
<b>1</b>	<b>3.17</b>	<b>28</b>	<b>28</b>
<b>2</b>	<b>3.11</b>	<b>23</b>	<b>23.5</b>
<b>3</b>	<b>3.10</b>	<b>21</b>	<b>21.5</b>
<b>4</b>	<b>3.14</b>	<b>27</b>	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>3.19</b>	<b>29</b>	<b>29.5</b>
<b>6</b>	<b>3.13</b>	<b>25</b>	<b>25.5</b>
<b>7</b>	<b>3.10</b>	<b>22</b>	<b>21.5</b>
<b>8</b>	<b>3.11</b>	<b>24</b>	<b>23.5</b>
<b>9</b>	<b>3.19</b>	<b>30</b>	<b>29.5</b>
<b>10</b>	<b>3.13</b>	<b>26</b>	<b>25.5</b>
<b>11</b>	<b>2.45</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
<b>12</b>	<b>2.40</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
<b>13</b>	<b>2.42</b>	<b>16</b>	<b>16.5</b>
<b>14</b>	<b>2.39</b>	<b>12</b>	<b>12</b>
<b>15</b>	<b>2.43</b>	<b>18</b>	<b>18</b>
<b>16</b>	<b>2.42</b>	<b>17</b>	<b>16.5</b>
<b>17</b>	<b>2.40</b>	<b>14</b>	<b>14</b>
<b>18</b>	<b>2.38</b>	<b>11</b>	<b>11</b>
<b>19</b>	<b>2.44</b>	<b>19</b>	<b>19</b>
<b>20</b>	<b>2.40</b>	<b>15</b>	<b>14</b>
<b>21</b>	<b>1.32</b>	<b>5</b>	<b>5.5</b>
<b>22</b>	<b>1.33</b>	<b>9</b>	<b>9</b>
<b>23</b>	<b>1.32</b>	<b>7</b>	<b>5.5</b>
<b>24</b>	<b>1.33</b>	<b>10</b>	<b>9</b>
<b>25</b>	<b>1.32</b>	<b>4</b>	<b>5.5</b>
<b>26</b>	<b>1.31</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

27	1.32	6	5.5
28	1.31	2	2
29	1.33	8	9
30	1.31	3	2

**REGIONES:**

